

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY

ISSN 1512-3979 (print)
EISSN 1512-2174 (online)
DOI.org/10.36073/1512-3979

შ რ ო მ ე ბ ი
მართვის ავტომატიზებული სისტემები
TRANSACTIONS
AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

N 1 (35)

ემდგენება საქართველოს
ტექნიკური
უნივერსიტეტის
დაარსების 101
წლისთავს
(1922 - 2023)



DEDICATED
TO THE 101th FOUNDATION
ANNIVERSARY OF THE
GEORGIAN TECHNICAL
UNIVERSITY
(1922 - 2023)

გაბოივება 2006 წლიდან

პერიოდულობა:
2 ნომერი წელიწადში

თბილისი-TBILISI-TBILJICH

2023

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY
ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ISSN 1512-3979 (print)
EISSN 1512-2174 (online)
DOI.org/10.36073/1512-3979

შ რ ო მ ე ბ ო

მართვის ავტომატიზებული სისტემები

TRANSACTIONS

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Т Р У Д Ы

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

N 1(35)

ედვება
საქართველოს
ტექნიკური
უნივერსიტეტის
დაარსების 101-ე
წლისთავს
(1922-2023)



DEDICATED
TO THE 100th
FOUNDATION
ANNIVERSARY OF THE
GEORGIAN TECHNICAL
UNIVERSITY
(1922-2023)

გამოცემა 2006 წლიდან

პერიოდულობა:
2 ნომერი წელიწადში

თბილისი-TBILISI-ТБИЛИСИ
2023

სარედაქციო კოლეგია:

- აზმაიფარაშვილი ზ., ახობაძე მ., ბუაჩიძე ზ., გასიტაშვილი ზ., გიგინეიშვილი ა., გიორგაშვილი ლ., გოგიჩაიშვილი გ., გოცირიძე ი., თევდორაძე მ., იმნაიშვილი ლ., კაიშაური თ., კაპანაძე დ., კოტრიკაძე ქ., ლომინაძე ნ., ლომინაძე თ., ნატროშვილი დ., ობგაძე თ., ოთხოზორია ნ., პეტრიაშვილი ლ., სურგულაძე გ., ფრანგიშვილი ა. (თავმჯდომარე), ქართველიშვილი ი., ღურჯკაია ზ., ჩხაიძე მ.
- ბოსიკაშვილი ზ., თურქია ე., კაკუბავა რ., კვარაცხელია ვ., კიკნაძე მ., მელაძე ჰ., ყვანია თ., სამხარაძე რ., სესაძე ვ., ხუციშვილი ს., შანშიაშვილი ბ., შერმაზანაშვილი ლ., შონია ო., ძიძიგური გ.
- გერმანია: ბოტჰე კ., რეისიგ ვ., მაიერ-ვეგენერი კ., რეისიგ ვ.
- აშშ: ტრივედი კ. (დუკის უნივერსიტეტი), ჩიხრადე ბ. (კორპორაცია Apple)
- კანადა: კაჩიბაია ვ. (IT Industry)
- უნგრეთი: შტრიკ ი. (დებრეცენის უნივერსიტეტი)
- რუსეთი: ბაბაიანი რ. (მპი), ვასინი ა.(მსუ), შჩუკინი ბ.(მიფი), ფომინი ბ. (პეტერბურგის ტუ)

pasuxismgebeli redaqtori: g. surgulaZe. statiebi: <http://www.gtu.ge/Journals/mas/>

EDITORIAL BOARD:

- Akhobadze M., Azmaiparashvili Z., Buachidze Z., Chkhaidze M., Gasitashvili Z., Gigineishvili A., Giorgashvili L., Gogichaishvili G., Goziridze I., Ghurtskaia Z., Imnaishvili L., Kaishauri T., Kapanadze D., Kotrikadze K., Lominadze N., Lominadze T., Natroshvili D., Obgadze T., Prangishvili A. (Chairman), Surguladze G., Tevdoradze M.
- Bosikashvili Z., Dzidziguri G., Kakubava R., Kiknadze M., Kvaratskhelia V., Meladze G., Samkharadze R., Shermazanashvili L., Sesadze V., Shanshiashvili B., Shonia O., Tsveraidze Z., Tsintsadze A., Zhvania T.
- *Germany*: Bothe K.(Humboldt univ. Berlin), Meyer-Wegener K. (Erlangen univ.), Reisig W. (Humboldt univ.Berlin), Wedekind H.(Erlangen univ.)
- *USA*: Trivedi K. (Duke University), Chikhradze B. (Apple Co.)
- *Canada*: Kachibaia V. (IT Industry)
- *Hungary*: Sztrik J. (University of Debrecen)
- *Russia*: Babaian R.(IPU), Tshukin B.(Mephi), Vasin A.(MSU), Fomin B.(St-Petersburg,Techn.Univ.)

Executive Editor: G. Surguladze.

References: <http://www.gtu.ge/Journals/mas/>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- აზმაიპარაშვილი ზ., ახობაძე მ., ბუაჩიძე ზ., გასიტაშვილი ზ., გიგინეიშვილი ა., გიორგაშვილი ლ., გოგიჩაიშვილი გ., გოცირიძე ი., გურჯკაია ე., იმნაიშვილი ლ., კაიშაური თ., კარველიშვილი ი., კაპანაძე დ., კიკნაძე მ., კოტრიკაძე კ., ლომინაძე ნ., ლომინაძე თ., ნატროშვილი დ., ობგაძე თ., პრანგიშვილი ა. (პრეზიდენტი), სურგულაძე გ., ტევედორაძე მ., ტყეშელაშვილი მ.
- ბოსიკაშვილი ზ., ძიძიგური გ., კაკუბავა რ., კიკნაძე მ., კვარაცხელია ვ., მელაძე გ., სამხარაძე რ., სესაძე ვ., თურქია ე., შანშიაშვილი ბ., შერმაზანაშვილი ლ., შონია ო., ცვერაიძე ვ., ცინცაძე ა.
- *Германия*: Ботэ К., Рейсиг В. (Гумболдт унив. Берлин), Ведекинდ Х., Меиер-Вегенер К. (Ерланген унив.)
- *США*: Триведи К. (Университет Дукэ), Чихрадзе Б. (Apple корпорация)
- *Канада*: Качибая В. (IT Industry)
- Венгрия: Штрик Я. (Университет Дебрецена)
- *Россия*: Бабаян Р. (ИПУ), Васин А. (МГУ), Щукин Б. (МИФИ), Фомин Б. (ЛЭТИ.С-т Петербург)

Ответственный редактор: Г. Сургуладзе.

Статьи: <http://www.gtu.ge/Journals/mas/>

ISSN 1512-3979, DOI.org/10.36073/1512-3979

© გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2023
Publishing House `Technical University`, 2023
Издательство `Технический Университет`, 2023

შინაარსი - CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

➤ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის UNESCO-ს კათედრის ისტორიული როლი საინფორმაციო საზოგადოების ფორმირების პროცესში. გია სურგულაძე // THE HISTORICAL ROLE OF UNESCO CHAIR OF GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY FOR THE FORMATION PROCESS OF INFORMATION SOCIETY. Surguladze Gia // Историческая роль кафедры ЮНЕСКО ГТУ в процессе формирования информационного общества. Сургуладзе Г.	5
<u>გამოყენებითი ინფორმატიკა – APPLIED INFORMATICS – ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА</u>	
➤ წნევის მართვის მოწყობილობა სამედიცინო დაწესებულების შენობაში მტვრის კონტროლითი ზაალ აზმაიპარაშვილი, ზვიად ღურჭკაია, ნიკოლოზ ინვია, მარინე მესხია // PRESSURE CONTROL DEVICE WITH DUST CONTROL IN A MEDICAL FACILITY BUILDING. Azmaiparashvili Zaal, Ghurtskaia Zviad, Invia Nikoloz, Meskhia Marine // УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ В ПОМЕЩЕНИЯХ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ С КОНТРОЛЕМ ЗАПЫЛЕННОСТЬЮ. Азмайпарашвили З., Гурцкая З., Инвия Н., Месхия М.	11
➤ ფილტვის აუსკულტაციის გაციფრულება: ფილტვის ბგერების ავტომატური კლასიფიკაციის გაუმჯობესება მონაცემთა ახალი ნაკრებით. ირინე გოცირიძე, მიხეილ კიტაევიჩი // DIGITIZING LUNG AUSCULTATION: IMPROVING AUTOMATIC CLASSIFICATION OF PULMONARY SOUNDS WITH NEW DATASET. Irine Gotsiridze, Kitaevich Mikheil // ОЦИФРОВКА АУСКУЛЬТАЦИИ ЛЕГКИХ: УЛУЧШЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕГОЧНЫХ ШУМОВ С ПОМОЩЬЮ НОВОГО НАБОРА ДАННЫХ. Гоциридзе И., Китаевич М.	17
➤ ფილტვების დისტანციური აუსკულტაცია ციფრულ ეპოქაში: რესურსები, შეზღუდვები და შესაძლებლობები. მიხეილ კიტაევიჩი // REMOTE LUNG AUSCULTATION IN THE DIGITAL AGE: RESOURCES, LIMITATIONS AND OPPORTUNITIES. Kitaevich Mikheil // ДИСТАНЦИОННАЯ АУСКУЛЬТАЦИЯ ЛЕГКИХ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ: РЕСУРСЫ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ. Китаевич М.	31
➤ ბადურის ფსკერის გამოსახულებების მონაცემთა ბაზის შექმნა დიაბეტური რეტინოპათიის კლასიფიცირებისათვის. ზვიად ღურჭკაია, ალექსანდრე ლაბაძე // ASSEMBLING DATABASE OF RETINAL FUNDUS IMAGES INTENDED FOR THE CLASSIFICATION OF DIABETIC RETINOPATHY. Ghurtskaia Zviad, Labadze Aleksandre // КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕПЕНЕЙ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ. Гурцкая З., Лабაдзе А.	40
➤ დიაბეტური რეტინოპათიის სტადიების კლასიფიცირება ღრმა სწავლების მეთოდების კომბინირებული ალგორითმების გამოყენებით. ალექსანდრე ლაბაძე // CLASSIFYING DIABETIC RETINOPATHY GRADES USING COMBINATION OF DIFFERENT ALGORITHMS OF DEEP LEARNING METHODS. Labadze Aleksandre // КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕПЕНЕЙ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ. Лабაдзе А.	47
➤ ხელოვნური ინტელექტით აღჭურვილი სისტემა საშვილოსნოს ყელის სიმსივნის დიაგნოსტიკისათვის. პაატა ლეჟავა // AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE-EQUIPPED SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF CERVICAL CANCER. Paata Iezhava // СИСТЕМА С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАКА ШЕЙКИ МАТКИ. Лежава П.	57
➤ კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლების მიმდებარე სივრცის ოპტიმალურად დაგეგმარებისათვის. გოგი კვიციანაშვილი, მერაბ ახობაძე // OPTIMAL SPACE PLANNING AROUND CULTURAL HERITAGE SITES. Kvitsinashvili Gogi, Akhobadze Merab // ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА ВОКРУГ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ. Квицинაშвили Г., Ахобадзе М.	61
➤ საინჟინრო სწავლების ინტერაქტიული ციფრული სილაბუსები პანდემიის და პოსტპანდემიის პერიოდში. ზაურ ადამია, ზურაბ წვერაიძე // INTERACTIVE DIGITAL SYLLABUSES FOR ENGINEERING EDUCATION DURING THE PANDEMIC AND POST-PANDEMIC PERIOD. Adamia Zaur, Tsveraidze Zurab // ИНТЕРАКТИВНЫЕ ЦИФРОВЫЕ СИЛАБУСЫ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ И ПОСТПАНДЕМИИ. Адамия З., Цвераидзе З.	66
➤ მზის ფოტოელექტრული სადგურების პროექტების განვითარების პერსპექტივები. პაატა ჯოხაძე, ნიკა ბერიძე // PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANT PROJECTS. Jokhadze Paata, Beridze Nika // ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТОВ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ. Джохадзе П., Беридзе Н.	73
➤ მიკრო ჰიდროელექტროსადგურების როლი გლობალური დათბობის ზრდის ტემპების შემცირებაში. პაატა ჯოხაძე, დავით გოქაძე // THE ROLE OF MICRO-HYDROELECTRIC PLANTS IN	79

REDUCING THE GROWTH RATES OF GLOBAL WARMING. Jokhadze Paata, Gokadze Davit // РОЛЬ МИКРО-ГЭС В СНИЖЕНИИ ТЕМПОВ РОСТА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ. Джохадзе П., Гокадзе Д.

- ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მიკროჰესების მართვის პრინციპები. დავით გოქაძე // 84
PRINCIPLES OF MANAGEMENT FOR AUTONOMOUS MICRO HYDRO-POWER PLANTS. Gokadze Davit // ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРО – ГЭС, РАБОТАЮЩИМИ В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ. Гокадзе Д.
- ნეიროქსელური ალგორითმების შემუშავება სამთო საქმესა და გეოლოგიაში. ვალიდა სესაძე, 89
გელა ჭიკაძე // DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK ALGORITHMS IN MINING AND GEOLOGY. Sesadze Valida, Chikadze Gela // РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ В ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ. Сесаძე В., Чикаძე Г.

თეორიული / პრაქტიკული ინფორმატიკა – COMPUTER SCIENCE / PRACTICAL INFORMATICS –
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ / ПРАКТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

- IPsec VPN ქსელის უსაფრთხოების სერვისები, კონფიდენციალურობა, შიფრაცია და მისი 95
ალგორითმების ანალიზი. მიხეილ დარჩაშვილი // IPsec VPN NETWORK SECURITY SERVICES, PRIVACY, ENCRYPTION AND ANALYSIS OF ITS ALGORITHMS. Darchashvili Mikheil // СЛУЖБЫ СЕТЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ IPsec VPN, КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ, ШИФРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЕГО АЛГОРИТМОВ. Дарчашвили М.
- სამხედრო ქსელებში კიბერუსაფრთხოების რისკების ანალიზის მათემატიკური მოდელი. 103
ავთანდილ მიგინეიშვილი // MATHEMATICAL MODEL OF CYBERSECURITY RISK ANALYSIS OF MILITARY NETWORKS. Migineishvili Avtandil // МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА РИСКОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ВОЕННЫХ СЕТЯХ. Мигинеишвили А.
- მანქანური დასწავლის მეთოდების გამოყენება კომპიუტერულ ქსელში ანომალიების 108
გამოსავლენად. ბესიკ ბერიძე, მიხეილ დონაძე // USING MACHINE LEARNING METHODS TO DETECT ANOMALIES IN A COMPUTER NETWORK. Beridze Besik, Donadze Mikheil // ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ. Беридзе Б., Донадзе М.
- ორგანიზაციული მართვის სისტემების პროცესების ავტომატიზაცია და რობოტების 116
კლასიფიკაცია. ბერძენიშვილი ირმა // CLASSIFICATION OF ALL KINDS OF ROBOTS. Berdzenishvili Irma // АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ РОБОТОВ. Бердзенишвили И.
- სწავლების ახალი მეთოდების ანალიზი COVID-19-ის პირობებში. თალიკო ჟვანია, ანა კობია- 120
შვილი // ANALYSIS OF NEW TEACHING METHODS UNDER COVID-19. Zhvania Taliko, Kobiashvili Ana // АНАЛИЗ НОВЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ COVID-19. Жвания Т., Кобиашвили А.
- ციფრული ენის ლოგიკო-ლინგვისტიკური თავისებურებანი. ნატალი სიდამონიძე, ლევან 128
ჯიქიძე, შოია კიკნაძე // LOGICAL-LINGUISTIC FEATURES OF DIGITAL LANGUAGE. Sidamonidze Natali, Jikidze Levan, Kiknadze Mzia // ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОГО ЯЗЫКА. Сидамонидзе Н., Джикидзе Л., Кикнадзе М.
- თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიები ტურიზმის ინდუსტრიაში. გულბაათ 132
ნარეშელაშვილი, გოჩა ჩუგუაშვილი // MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE TOURISM INDUSTRY. Gulbaat Nareshelashvili, Gocha Chuguashvili // СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНДУСТРИИ ТУРИЗМА. Нарешелашвили Г., Чугуашвили Г.
- ვერტიკალური ჰიდროპონიკური დანადგარის ტემპერატურის და ტენიანობის რეგულირება 136
(DHT11) სენსორის, არდუინოს, ვენტიალტორის და წყლის გამაცხელებელი ტენის საშუალებით. ვახტანგ ჩანთაძე, ირაკლი ჩანთაძე // VERTICAL HYDROPONICS EQUIPMENT AND HUMIDITY STRUCTURE (DHT11) WITH SENSOR, ARDUINO, FAN AND WATER HEATER HUMIDIFIER. Chantadze Vakhtang, Chantadze Irakli // ВЕРТИКАЛЬНОЕ ГИДРОПОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ С ДАТЧИКОМ (DHT11), ARDUINO, ВЕНТИЛЯТОРОМ И ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕМ. Чантадзе В., Чантадзе И.
- LED განათების საჭიროება, შედარება და უპირატესობა სხვა განათებასთან შედარებით 139
ვერტიკალურ ჰიდროპონიკურ დანადგარში. ვახტანგ ჩანთაძე // LED LIGHTING NEEDS, COMPARISONS AND ADVANTAGES OVER OTHER LIGHTING IN VERTICAL HYDROPONICS. Chantadze Vakhtang // ПОТРЕБНОСТИ В СВЕТОДИОДНОМ ОСВЕЩЕНИИ, СРАВНЕНИЕ И ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕД ДРУГИМ ОСВЕЩЕНИЕМ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГИДРОПОНИКЕ. Чантадзе В.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის UNESCO-ს კათედრის ისტორიული როლი საინფორმაციო საზოგადოების ფორმირების პროცესში

გია სურგულაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

g.surguladze@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია 21-ე საუკუნის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მოვლენის, ინფორმაციული საზოგადოების ფორმირების პროცესის განვითარება მსოფლიოში (მათ შორის საქართველოშიც). წარმოდგენილია სტუ-ის UNESCO-ს „საინფორმაციო საზოგადოების“ კათედრის 20-წლიანი (2003-2022) ისტორიული როლი განათლების პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის თანამედროვე ციფრული ტექნოლოგიების ბაზაზე. უნივერსიტეტის ხელმძღვანელობის ინოვაციურ გადაწყვეტილებათა ფონზე ამ პერიოდში, გაანალიზებულია: - აკადემიური და სამეცნიერო პერსონალის, აგრეთვე სტუდენტებისა და დოქტორანტების თეორიულ-პრაქტიკული ღირებულების ინტერდისციპლინური კვლევის შედეგები (განსაკუთრებით, პანდემიის ეტაპზე); - ამ პროცესებში „მართვის ავტომატიზებული სისტემების (პროგრამული ინჟინერიის)“ დეპარტამენტის წვლილი, როგორც იუნესკოს კათედრის მიერ საერთაშორისო სტანდარტების საგანმანათლებლო კონცეფციების პრაქტიკული რეალიზაციის ექსპერიმენტული პლაცდარმისა.

საკვანძო სიტყვები: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. იუნესკოს კათედრა. საინფორმაციო საზოგადოება. განათლების მენეჯმენტი. ინფორმატიკის დიდაქტიკა. ციფრული ტექნოლოგია. საგამომცემლო მარკეტინგი. პროცესების რობოტიზაცია.

1. შესავალი

17 მაისი – „საინფორმაციო საზოგადოების“ საერთაშორისო დღე - UNESCO-ს ინიციატივით და გაეროს გენერალური ასამბლეის რეზოლუციით გამოცხადებული (2006) [1].

შვეიცარიის ქალაქ ჟენევაში ყოველწლიურად იმართება სამიტის *WSIS* ფორუმები (*World Summit on the Information Society*), სადაც განიხილება ინფორმაციული საზოგადოების მდგრადი განვითარების აქტუალური საკითხები ინფორმაციულ ტექნოლოგიებსა და კომუნიკაციებში (ITC) [2].

სტუ-ში UNESCO-ს კათედრა „საინფორმაციო საზოგადოება“ დაარსდა აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვადის ინიციატივით, საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტსა და UNESCO-ს (პარიზი) შორის შეთანხმების საფუძველზე (მისი გენერალური დირექტორის კოიჩირო მაცუურას მხარდაჭერით) *2003 წლის 30 ივნისს*.

**2023 წელს სტუ-ის UNESCO-ს კათედრა 20 წლის
იუბილარია !**



აკად. გოჩა ჩოგოვაძე (1941-2022)

პირველი კათედრის გამგე, საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსი *გოჩა ჩოგოვაძე* 20 წლის განმავლობაში (გარდაცვალებამდე, 12.06.2022) განაგებდა მის ფუნქციონირებას, იუნესკოსთან შეთანხმებული სამუშაო გეგმით [3,4].

აკად. გ. ჩოგოვაძე 1981-1988 წლებში იყო პარიზში UNESCO-ს განათლებისა და კულტურის დეპარტამენტის უფროსი, 1994 წლიდან საქართველოს სრულფუნქციონირებელი ელჩი საფრანგეთსა და ესპანეთის სამეფოში. მისი ინიციატივით ამ პერიოდში სტუ-ში გაიხსნა ფრანგულ-ქართული ინსტიტუტი ინფორმაციული ტექნოლოგიების მიმართულებით (ფრანგულენოვანი სტუდენტებისთვის). ოფიციალურად, პროფ. ვ. დიდმანიძე დაინიშნა მის კოორდინატორად, ხოლო იუნესკოს „საინფორმაციო საზოგადოების“ კათედრაზე (გ. ჩოგოვაძის არყოფნის დროს საქართველოში) იგი ასრულებდა მოადგილის მოვალეობას (საზოგადოებრივ საწყისებზე).

2004 წლიდან (დიპლომატიური სამსახურის დასრულების შემდეგ) გ. ჩოგოვაძე უბრუნდება UNESCO-ს ოფისს და ხდება მისი გენერალური დირექტორის მრჩეველი განათლებისა და კულტურის საკითხებში. 2018 წლამდე ბატონი გოჩა ცხოვრობდა პარიზში და პერიოდულად ახერხებდა იუნესკოს კათედრის და მართვის ავტომატიზებული სისტემების დეპარტამენტის საერთაშორისო ღონისძიებებში აქტიურ მონაწილეობას (თანათავმჯდომარის სტატუსით). მისი ინიციატივით 2008 წლიდან სტუ-ის „საინფორმაციო საზოგადოების“ კათედრა გახდა ORBICOM-ის წევრი (ORBICOM – იუნესკოს კათედრების საერთაშორისო ქსელია კომუნიკაციების სფეროში) [5]. კათედრის ძირითადი მიზანი იყო საერთაშორისო პარტნიორობის გაფართოება, განსაკუთრებით UNESCO-ს სხვა კათედრებთან ინფორმაციისა და კომუნიკაციის ტექნოლოგიებში (ICT).

2. ძირითადი ნაწილი

სტუ-ს იუნესკოს კათედრამ, თავისი 20-წლიანი არსებობის მანძილზე, განახორციელა მნიშვნელოვანი საგანმანათლებლო-მეთოდური და სამეცნიერო სამუშაოები: დღიდან დაარსებისა წლების განმავლობაში იმართებოდა მუდმივმოქმედი სამეცნიერო-პრაქტიკული სემინარები, რომელთა მიზანიც თანამედროვე საზოგადოებაში (განათლების თითქმის ყველა საფეხურისთვის) კომპიუტინგისა და ინფორმატიკის დიდაქტიკის დანერგვა და განვითარება იყო. საგანმანათლებლო დაწესებულებებისთვის (სკოლა და უნივერსიტეტი) შემუშავდა სპეციალური პროგრამები, ლექციათა კურსები, ლაბორატორიები და სახელმძღვანელოების ბიბლიოთეკა. გ. ჩოგოვაძემ ამ მიმართულებით გამოსცა პოპულარული მონოგრაფიები „ინფორმაცია“ (ქართულად, ინგლისურად და რუსულად), „გლობალანსი“, „ბიოსფერია“ (ქართულად და რუსულად) და „ფიქრები მომავალზე“, რომლებმაც ფართო საზოგადოების დიდი ინტერესი გამოიწვია [6-9].

აკად. გ. ჩოგოვაძის მიერ 1971 წ. შექმნილი „მართვის ავტომატიზებული სისტემების (პროგრამული ინჟინერიის“) დეპარტამენტი და 2003 წელს შექმნილი სტუ-ის იუნესკოს კათედრა ერთობლივი ძალისხმევით ატარებენ 2006, 2011 და 2016 წლებში საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციებს „მართვის ავტომატიზებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები“, მაღალი რანგის ევროპელი მეცნიერების მონაწილეობით. 2018 და 2021 წლებში ჩატარდა I და II საერთაშორისო კონფერენციები თემატიკით „საინფორმაციო საზოგადოება და განათლების ინტენსიფიკაციის ტექნოლოგიები“ (<http://conf-unesco.gtu.ge/>).

ბოლო 5 წლის განმავლობაში სტუდენტების, მაგისტრანტებისა და დოქტორანტების ფართო წრისათვის ქართულ ენაზე დამუშავდა და გამოიცა 1000 გვერდიანი მონოგრაფია „საინფორმაციო სისტემების დაპროგრამების ჰიბრიდული ტექნოლოგიები და მონაცემთა მენეჯმენტი“, „ინფორმაციული საზოგადოება და ინტერდისციპლინური სწავლება ციფრული ტექნოლოგიების ბაზაზე“ (სკოლებისა და უნივერსიტეტებისთვის), „პროგრამული აპლიკაციების ხარისხის მართვა: ტესტირება და ოპტიმიზაცია“ და სხვ. [10-12]. უშუალოდ სტუდენტთა აქტიური მონაწილეობით საკურსო და კვლევით პროექტებში, და მათი თანაავტორობით დაისტამბა პროგრამული ინჟინერიის კონცენტრაციის შესაბამისად რამდენიმე წიგნი [13].

2006 წლიდან გამოიცემა პერიოდული საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“ (Print და Online ISSN ინდექსებით, DOI იდენტიფიკატორით) [14].

ინფორმაციული საზოგადოების ჩამოყალიბების კონცეფციის რეალიზაცია მჭიდრო კავშირშია ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და კომუნიკაციების (ITC) მდგრად განვითარებასთან. საინფორმაციო სისტემები, როგორც მულტიდისციპლინური მეცნიერების პროდუქტი, განსაკუთრებულ როლს თამაშობს ინფორმაციული და ცოდნის საზოგადოების ფორმირებაში. საინფორმაციო სისტემა არის ის კომპლექსური მექანიზმი (პრესა, რადიო, ტელევიზია, კომპიუტერული სისტემები, კომუნიკაციის საშუალებები), რომელიც უზრუნველყოფს პიროვნებისა და მთელი საზოგადოების სრულფასოვან ინფორმატიზაციას, მათი განათლებისა და ცოდნის დონის ამაღლების გზით. ამიტომაც საინფორმაციო საზოგადოების ფორმირების პროცესში განსაკუთრებული როლი ენიჭება მედიაინფორმატიკის სფეროს (მედია - მასობრივი ინფორმაციის საშუალებები) [15]. იგი შინაარსობრივად აერთიანებს ისეთ მიმართულებებს, როგორცაა გამოყენებითი ინფორმატიკა, მედიადიზაინი, ფსიქოლოგია, მედიათეორია, მედიადიდაქტიკა და კომუნიკაციის მეცნიერება [16].

ბოლო წლებში განვითარებულმა ციფრულმა ტექნოლოგიამ მნიშვნელოვნად დააჩქარა და გააფართოვა მედიატექნოლოგიების გამოყენების არეალი. გაიზარდა მოთხოვნილება მედიაინფორმატიკის სპეციალისტებზე, რაც ცხადად აისახა მსოფლიოს მოწინავე ქვეყნების უნივერსიტეტების ახლადშექმნილი კათედრებისა და შესაბამის საგანმანათლებლო პროგრამების რაოდენობაზე.

სტუ-ის იუნესკოს კათედრა „ინფორმაციული საზოგადოება“ და მისი პერტნიორი დეპარტამენტები: „მართვის ავტომატიზებული სისტემები (პროგრამული ინჟინერია)“ და „ქართული ფილოლოგია და მედიატექნოლოგიები“ საგანმანათლებლო და სამეცნიერო საქმიანობას მჭიდრო კონტაქტში წარმართავდნენ, ინფორმაციული საზოგადოების ფორმირების და განვითარების მიმართულებით.

მზადდება და იცვება სამეცნიერო დისერტაციები, იწერება მონოგრაფიები განათლების მენეჯმენტის სრულყოფისა და ინფორმატიკის დიდაქტიკის თემატიკებზე. „ინფორმატიკის“ ახალი (2021წ.) სადოქტორო პროგრამის აკადემიურ კომპონენტში გაჩნდა სპეც-არჩევითი საგნები ICT მიმართულებათა შესაბამისად (სტუ-ს ვებ-გვერდზე შექმნილია „დოქტორანტის ბიბლიოთეკა“ https://gtu.ge/Learning/ElBooks/Doctoral_Library.php). აქ წარმოდგენილია ჩვენი ფაკულტეტის ყველა დეპარტამენტის წამყვანი პროფესორების საყურადღებო მეთოდური წიგნები განათლების ხარისხის მართვისა და თანამედროვე ციფრული ტექნოლოგიების სფეროებში, ანუ ის თემები, რომლებსაც დოქტორანტები დაეუფლებიან პირველ კურსზე და შემდეგ გამოიყენებენ მათ კვლევით ნაწილში. ამის მაგალითი შეიძლება მრავლად მოვიყვანოთ.

მაგალითად, „ინფორმატიკის“ პროგრამის დოქტორანტურაში სწავლის პერიოდში თბილისის ერთ-ერთი სკოლის გეოგრაფიის მასწავლებელი იმდენად ღრმად დაეუფლა ახალ ინფორმაციულ ტექნოლოგიებს, რომ ჩვენ ახალ კონცეფციებს „ინფორმატიკის დიდაქტიკის“ მიმართულებით ექსპერიმენტის სახით ვნერგავდით ინტეგრირებული გაკვეთილების სახით უშუალოდ ამ დოქტორანტ-მასწავლებლის გაკვეთილებზე. მოსწავლეების უკუკავშირის ეფექტი



ნახ.2

იმდენად დიდი იყო, რომ სკოლის ადმინისტრაციამ გადაწყვიტა მაქსიმალურად დაეჭირა მხარი ასეთი ინოვაციური გამოწვევისათვის. მათ დააფინანსეს ციფრული ტექნოლოგიებისთვის მინიმალურად საჭირო ინვენტარი (ვირტუალური რეალობის სათვალეების ჩათვლით).

სტუ-ის იუნესკოს კათედრაზე, აკად, გ. ჩოგვაძესთან სამეცნიერო სემინარზე ამ შედეგების განხილვისას, გადაწყდა, რომ შეგვექმნა წიგნი-მონოგრაფია, რომელიც სახელმძღვანელო იქნებოდა ყველა სკოლისთვის (უნივერსიტეტისთვისაც). მომზადდა და დაიბეჭდა ეს წიგნი 2021-წელს (ნახ.2) [11]:

https://gtu.ge/book/Surgu_InfoSociety-21%20new.pdf

წიგნში განხილულია ინფორმაციული საზოგადოების ფორმირების პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები განათლების სფეროში ინტერდისციპლინური სწავლების და ინფორმაციული

ტექნოლოგიების დანერგვის ბაზაზე. განხორციელებულია სწავლებისა და მისი თანმხლები პროცესების ობიექტ-ორიენტირებული ანალიზი, პროექტირება, რეალიზაცია და ტესტირება, ხარისხის შეფასებით. გააზრებულია ინოვაციური, ინტეგრირებული გაკვეთილების დაგეგმვა და ჩატარება კომპიუტერული სისტემების და ვირტუალური რეალობის ტექნიკის გამოყენებით, რაც მნიშვნელოვნად ამაღლებს სტუდენტ/მოსწავლეთა აქტიურებას და მათ შემეცნებით უნარს. საგანთშორისი (მათემატიკა, ფიზიკა, ბიოლოგია, გეოგრაფია, ინფორმატიკა და სხვ.) კავშირების ბაზაზე შემუშავებულია სცენარების აგების მეთოდოლოგია, მათი რეალური ობიექტებისა და მოვლენების სემანტიკურად ასახვის მიზნით. აგებულია ობიექტ-როლური (კონცეპტუალური) მოდელი, საინფორმაციო ბაზა და ვებ-პორტალი. მონოგრაფია განკუთვნილია განათლების და ინფორმატიკის მენეჯმენტის სპეციალისტების, დოქტორანტებისა და სტუდენტებისათვის.

3. დასკვნა

სტუ-ის UNESCO-ს კათედრა „საინფორმაციო საზოგადოება“ 20 წლის განმავლობაში (2003-2022). მისი დამაარსებლის და პირველი კათედრის გამგის, აკადემიკოს გოჩა ჩოგვაძის ხელმძღვანელობით: აქტიურად ეწეოდა იუნესკოს განათლების საერთაშორისო სტანდარტების დანერგვის პროცესის ხელშეწყობას მსოფლიოში „საინფორმაციო საზოგადოების“ ფორმირების მიზნით; სისტემატურად ატარებდა საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციებს „საინფორმაციო საზოგადოება და განათლების ინტენსიფიკაციის ტექნოლოგიები“, ამერიკისა და ევროპის უნივერსიტეტების საერთაშორისო დონის კოლეგების მონაწილეობით. ხელს უწყობდა სტუ-ს, ქუთაისის და სხვ. უნივერსიტეტების ინოვაციური წინადადებების განვითარებას; სტუდენტების აქტიურ

ჩართულობას ახალი ციფრული ტექნოლოგიების ათვისებაში, საზღვარგარეთ მათ სტაჟირებასა და ინოვაციურ სტარტაპ-პროექტებში მონაწილეობას.

ჩვენი ჟურნალის „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“ რედაქციისა და ავტორების სახელით ვულოცავთ სტუ-ის UNESCO-ს კათედრას, მის ხელმძღვანელს, ბატონ **ლევან ხეთაგურს** საიუბილეო თარიღს, კათედრის დაარსების 20 წლისთავს !

**წარმატებები და დღევანდელი სტუ-ის UNESCO-ს
„საინფორმაციო საზოგადოების“ კათედრას !!!**

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Resolution adopted by the General Assembly on 27 March 2006. A/60/L.50. World Summit on the Information Society. Intern. resource: http://wikivisually.com/wiki/World_Information_Society_Day
2. World Summit on the Information Society Forum 2023. Internet resource: <https://www.itu.int/net4/wsis/forum/2023/en>
3. Surguladze G. (2022). Georgian Technical University Celebrates the 100th Anniversary – the Contribution of Academician G. Chogovadze, the Founder of the Department of ACS, to the Field of Education and Science Development. Transactions of GTU “Automated Control Systems. No 1(33), pp. 7-24. DOI.org/10.36073/1512-3979 (in Georgian)
4. Chogovadze G., Prangishvili A., Djagodnishvili T., Surguladze G. (2018). Information Society - Modern Challenge of Multidisciplinary Education. Internat. Scientific-Techn. Conf. „*Information Society and Technologies for Intensification of Education (ISTIE'18)*”. In Transact. of GTU “Automated Control Systems. No 2(26), pp. 19-25. DOI.org/10.36073/1512-3979 (in Georgian)
5. ORBICOM -UNESCO. (2008). <https://en.wikipedia.org/wiki/Orbicom-UNESCO>
6. Chogovadze G. (2003). InforNation: Information, Society, People. Tbilisi, "Neostudio"
7. Chogovadze G. (2006). Global balance. Moscow. “Z. Tsereteli Creative Workshops "
8. Chogovadze G. (2009). Biosphere. Moscow. “Z. Tsereteli Creative Workshops "
9. Chogovadze G. (2015). Thoughts for the future. Tbilisi. -198 p.
10. Chogovadze G., Prangishvili A., Surguladze G. (2017). Hybrid Software Technologies and Data Engineering for Management Information Systems. Monograph, GTU, „Techn.Univ.“, Tb., -1001 p., (in Georgian)
11. Chogovadze G., Surguladze G., Topuria N., Kharitonashvili M. (2021). Information Society and interdisciplinary Teaching Based on Digital Technologies. GTU. © „IT-Consulting scientific center” of GTU, ISBN 978-9941-8-3338-0. Tbilisi, 360 p., (in Georgian)
12. Chogovadze G., Surguladze G., Gulitashvili M., Dolidze S. (2020). Software Quality Management: Testing and Optimization. GTU. "IT-Consulting Scientific Center", Tbilisi, (in Georgian)
13. Surguladze G., Topuria N., Berulava A. (2022). Software Products Development (WPF, C#.NET, XAML, Azure SQL). GTU. © „IT-Consulting scientific center” of GTU, ISBN 978-9941-8-3809-5 . Tbilisi, B5, 247 p., (in Georgian)
14. Transactions of GTU "Automated Control Systems". ISSN 1512-3979 (print), EISSN 1512-2174 (online), DOI.org/10.36073/1512-3979. https://gtu.ge/Journals/mas/jurnali_web/referE.html.

15. Chogovadze G., Prangishvili A., Djagodnishvili T., Surguladze G. (2017). From Information Systems to Information Society. Transactions of GTU "Automated Control Systems. No 1(23), pp. 7-16. DOI.org/10.36073/1512-3979 (in Georgian)

16. Jagodnishvili T., Jagodnishvili I. (2017). Linguistic personality of the communicator. "Universal". Tbilisi (in Georgian).

(სტატია მიღებულია 1.03.2023)

THE ROLE OF UNESCO CHAIR OF GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY IN FORMING THE INFORMATION SOCIETY

Gia Surguladze

Georgian Technical University

g.surguladze@gtu.ge

Summary

One of the important events of the 21st century, the development of the information society formation process (including in Georgia) is discussed. The 20-year (2003–2022) historical role of UNESCO "Information Society" Chair of GTU for the intensification of the education process on the basis of modern digital technologies is presented. Against the background of innovative decisions of GTU management (in the period 2003–2022), the following are analyzed: - the results of the interdisciplinary research of the theoretical-practical values of academic and scientific personnel, as well as students and doctoral students (especially during the pandemic stage); - In these processes, the contribution of the Department of "Automated Management Systems (Software Engineering)" of GTU is an experimental platform for the practical realization of educational concepts of international standards.

(Received 1.03.2023)

ИСТОРИЧЕСКАЯ РОЛЬ КАФЕДРЫ ЮНЕСКО ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ФОРМИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

Сургуладзе Г.

Грузинский Технический Университет

g.surguladze@gtu.ge

Резюме

Рассматривается процесс глобального развития одного из важнейших событий 21 века – формирование информационного общества, в том числе в Грузии. Представлена 20 летняя (2003–2022 гг.) историческая роль кафедры ЮНЕСКО “Информационное общество” Грузинского технического в интенсификации образовательного процесса на основе современных информационных технологий. В этот период на фоне инновационных решений менеджмента ГТУ проанализированы: - результаты междисциплинарных исследований теоретических и практических ценностей академического и научного персонала, а также студентов и докторантов; - вклад департамента “Автоматизированные системы управления (программная инженерия)” в указанные процессы как экспериментальный плацдарм для практической реализации концепции кафедры ЮНЕСКО международных образовательных стандартов.

(Поступила 1.03.2023)

წნევის მართვის მოწყობილობა სამედიცინო დაწესებულების შენობაში მტვრის კონტროლით

ზაალ აზმაიფარაშვილი, ზვიად ღურჭკაია, ნიკოლოზ ინვია,
მარინე მესხია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
z.azmaiparashvili@gtu.ge, z.gurtskaia@gtu.ge, ninvia@gtu.ge,
meskhiamarine08@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია ავტორთა ჯგუფის მიერ შემუშავებული ჰაერის ნაკადის წნევის მართვის მოწყობილობა სამედიცინო დაწესებულების შენობაში მტვრის კონტროლის გათვალისწინებით. შემოთავაზებული მოწყობილობის საშუალებით შესაძლებელია სამედიცინო დაწესებულებებში ოთახებს შორის წნევათა სხვაობის გაზომვა და ჰაერის ნაკადების ეფექტური მართვა. ასევე მასში ჩაშენებულია მტვრის მცირე ნაწილაკების დეტექტირების კვანძი. მოყვანილია მტვრის სენსორის მახასიათებელი პარამეტრები და ნაჩვენებია საზომი ინფორმაციის მიღების შესაძლო გზები, განხილულია შემოთავაზებული მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა და ახსნილია მუშაობის პრინციპი. მიგვაჩნია, რომ აღნიშნული მოწყობილობა მნიშვნელოვანია სამედიცინო დაწესებულებებში ჰოსპიტალური ინფექციების პრევენციისათვის, რაც განსაკუთრებით აქტუალურია Covid-ინფექციის არსებობის პირობებში.

საკვანძო სიტყვები: გამზომი მოწყობილობა. წნევის სენსორი. მტვრის სენსორი. ვენტილაცია. რეგისტრი. პანდემია. COVID-19. მონიტორინგი. მტვრის ნაწილაკები.

1. შესავალი

თანამედროვე ჯანდაცვის დაწესებულებებში ისეთი ინფექციების თავიდან ასაცილებლად, როგორცაა – Healthcare-Associated Infections (HAIs) და პაციენტის საუკეთესო პირობების უზრუნველსაყოფად, ანუ სისუფთავისა და ჰიგიენის შესანარჩუნებლად, მიმართავენ დასუფთავების სპეციფიკურ პროცედურებს. „თუმცა, ხშირ შემთხვევაში პოტენციური საშიშროება არის მიკროსკოპული და შეუიარაღებელი თვალისთვის დამალული. ამ მიკროსკოპული საშიშროებიდან ბევრი იმალება მტვერში და თუ მათ „შევაწუხებთ“, შეძლებენ სამედიცინო დაწესებულებაში შეუმჩნეველად გადაადგილებას.

Covid-ინფექციის არსებობის პირობებში აქტუალური გახდა სამედიცინო დაწესებულებებში ჰაერის ნაკადების კონტროლი ოთახებს შორის წნევათა სხვაობისათვის რომელიც დიფერენციალური წნევის სენსორების გამოყენებით მიიღწევა. ასევე დღევანდელ დროში აქტუალურია მტვრის ნაწილაკების კონტროლი. მტვერი შედგება სხვადასხვა სახის დაბინძურებული ნაწილაკებისგან. ბევრი მათგანი უვნებელია, მაგრამ ზოგიერთმა შეიძლება გამოიწვიოს ფატალური ინფექციები ან დაავადებები.

ატმოსფეროს ძირითად დამაბინძურებლებს შორის საგანგაშო არის მყარი ნაწილაკები PM10 და PM2.5 დიამეტრით 10 და 2,5 მკმ. [1]. ეს არის ჰაერის დამაბინძურებელი, რომელიც მოიცავს როგორც მყარ მიკრონაწილაკებს, ასევე სითხის პატარა წვეთებს. სხვანაირად მათ ეძახიან PM2.5: FSP (fine suspended particles), fine particles, fine particulate matter, წვრილდისპერსიულ შეწონილ ნაწილაკებს. დღეს ყველა საუბრობს PM10 და PM2.5 წვრილ ნაწილაკებზე: გარემოსდამცველები, ექიმები და მედია. ეს ფაქტი აიხსნება იმით, რომ მცირე

ზომის გამო ისინი ადვილად გადიან სხეულის დამცავ ბარიერებს, შედიან ფილტვებში და არღვევენ უჯრედულ ბარიერებს [2].

ჯანდაცვასთან ასოცირებული ინფექციები (HAIs) მოიცავს ყველა სახის ინფექციას, მათ შორის საშარდე გზების ინფექციებს, რესპირატორული, კუჭ-ნაწლავის და სისხლის მიმოქცევის ინფექციები.

2. ძირითადი ნაწილი

2.1. მტვრის სენსორი SDS011: შესაძლებლობები და ტექნიკური მახასიათებლები

მტვრის სენსორი SDS011, აგებულია ლაზერული გაფანტვის პრინციპზე და იძლევა ჰაერში 0,3-დან 10 მკმ. ზომის ნაწილაკების დაფიქსირების საშუალებას. იგი აღჭურვილია ჩაშენებული ქულერით და აქვს ციფრული გამოსასვლელი [2]. მტვრის სენსორის ტექნიკური მახასიათებლები მოცემულია მე-2 ცხრილში, ხოლო სენსორის საერთო ხედი ნაჩვენებია მე-3 ნახაზზე.

მტვრის სენსორი SDS011, ტექნიკური მახასიათებლები

ცხრ.2

	დასახელება	მნიშვნელობა	შენიშვნა
1	გაზომვის პარამეტრები	PM2.5, PM10	
2	გაზომვის დიაპაზონი	0.0 ÷ 999.9 µg/m ³	
3	ძაბვა	5 V	
4	დენი (სამუშაო რეჟიმი)	70 mA ± 10 mA	
5	დენი (მიძინების რეჟიმი)	< 4 mA	
6	ტემპერატურის დიაპაზონი	ინახავს: - 20 ÷ + 60 °C	
		მუშაობს: - 10 ÷ + 50 °C	
7	ფარდობითი ტენიანობა	ინახავს: ≤ 90 %	
		მუშაობს: ≤ 70 %	
8	ჰაერის წნევა	86 ±110 KPa	
9	ნაწილაკების მინიმალური ზომა	0.3 µm	
10	ფარდობითი ცდომილება	არაუმეტეს ±15 % и ±10 µg/m ³	25 °C, 50%RH
11	მონაცემთა გამოტანის სიხშირე	1 Hz	
12	ზომები	71x70x23 mm	



ნახ.3. SDS011 სენსორის საერთო ხედი

გარე მოწყობილობასთან კავშირი ხორციელდება UART პროტოკოლის გამოყენებით, რომელსაც აქვს შემდეგი პარამეტრები:

- გადაცემის სიჩქარე: 9600 bit/sec;
- მონაცემთა თანრიგოვნება (ბიტი) - 8;
- ლუწობითი ბიტი - არ გააჩნია;
- Stop ბიტი - ერთი.

მტვრის სენსორის მიერ გაგზავნილი შეტყობინებების პაკეტი შეიცავს 10 ბაიტს, რომლის დანიშნულება მოცემულია მე-3 ცხრილში.

მტვრის სენსორის მიერ გაგზავნილი შეტყობინებების პაკეტი

ცხრ.3

ბაიტის ნომერი პაკეტში	მნიშვნელობა	შენიშვნა
0	შეტყობინების დაწყების კოდი	AA
1	ბრძანებათა კოდი	C0
2	მონაცემი 1	PM2.5 უმცროსი ბაიტი
3	მონაცემი 2	PM2.5 უფროსი ბაიტი
4	მონაცემი 3	PM10 უმცროსი ბაიტი
5	მონაცემი 4	PM10 უფროსი ბაიტი
6	მონაცემი 5	ID უმცროსი ბაიტი
7	მონაცემი 6	ID უფროსი ბაიტი
8	საკონტროლო ჯამი	იხ. შენიშვნა
9	შეტყობინების დასრულების კოდი	AB

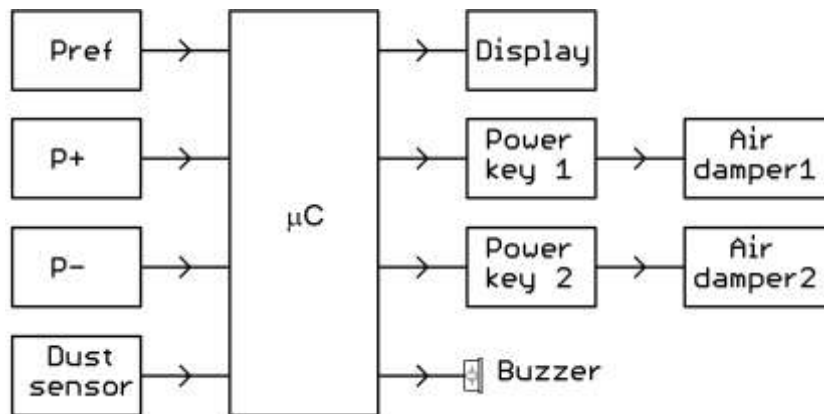
შენიშვნა: საკონტროლო ჯამი ინახება მონაცემთა ჯამის უმცროს ბაიტში.

$$\text{საკონტროლო ჯამი} = \text{მონაცემი 1} + \text{მონაცემი 2} + \dots + \text{მონაცემი 6}.$$

სენსორის მაქსიმალური მუშაობის რესურსი 8000 საათია. რესურსის დაზოგვის მიზნით, შესაძლებელია სენსორის გადაყვანა მუშაობის უწყვეტი რეჟიმიდან მუშაობის წყვეტილ რეჟიმში განსაზღვრული ინტერვალით.

2.1. სამედიცინო ოთახებში წნევის მართვის და მტვრის კონტროლის მოწყობილობის მუშაობის პრინციპი

შემოთავაზებული მოწყობილობის ბლოკ-სქემა მოცემულია მე-2 ნახაზზე.



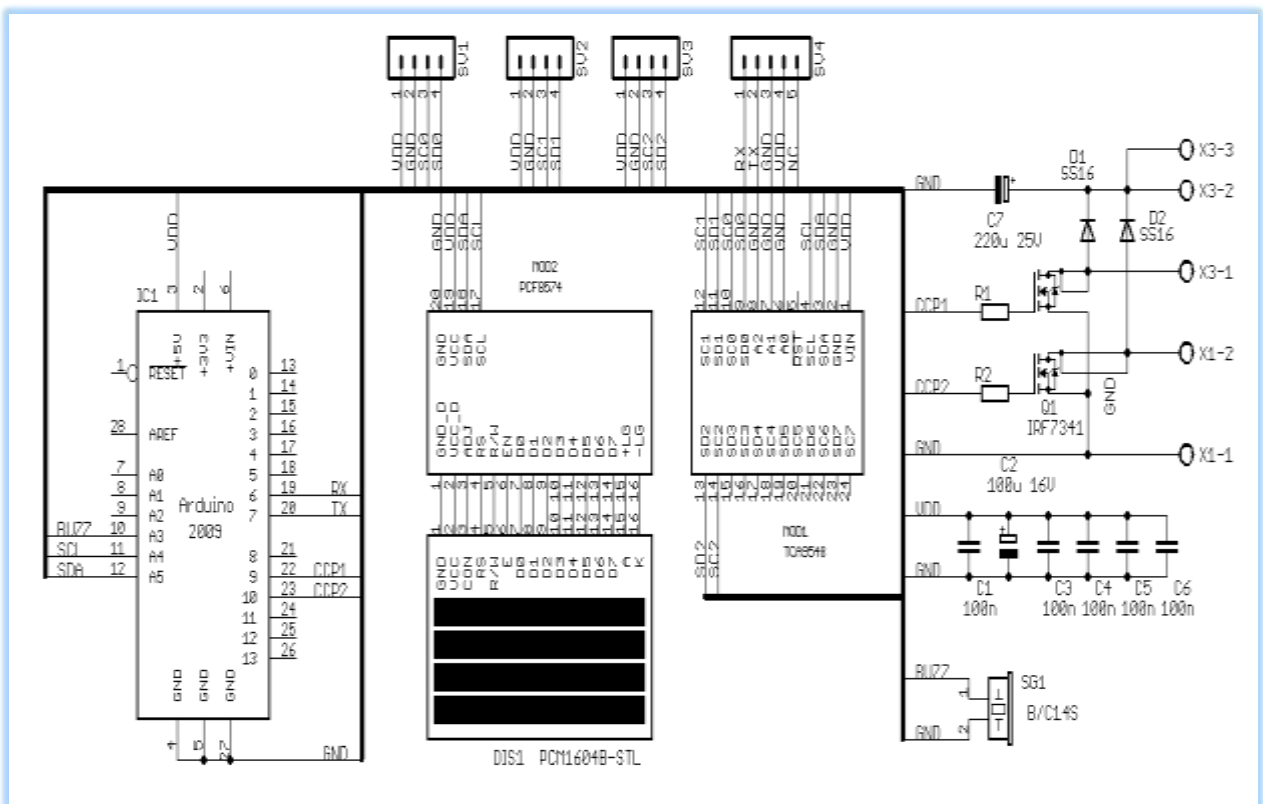
ნახ. 2. სამედიცინო დაწესებულებისთვის წნევის და მტვრის კონტროლის მოწყობილობის ბლოკ-სქემა:

მიკროკონტროლერი (μC); ატმოსფერული წნევის სენსორი (Pref); პოზიტიური წნევის ოთახის წნევის სენსორი (P+); ნეგატიური წნევის ოთახის წნევის სენსორი (P-); მტვრის სენსორი (Dust Sensor); თხევად-კრისტალური ინდიკატორი (Display); მაძლიერებელი 1 (Power key 1); მაძლიერებელი 2 (Power key 2); ჰაერის დემპფერი (Air damper 1); ჰაერის დემპფერი (Air damper 2); ზუმერი (Buzzer)

Pref, P+ და P- სენსორების დახმარებით იზომება გარე წნევა (ბუნებრივი ატმოსფერული წნევა), შესაბამისად, პოზიტიური და ნეგატიური წნევის მქონე ოთახებში. ამ წნევის მნიშვნელობები გამოიყენება პოზიტიური $\Delta P+$ და ნეგატიური $\Delta P-$ წნევის მქონე ოთახებში

დიფერენციალური წნევის დასადგენად [4], რომელიც მეტი უნდა იყოს ატმოსფერულთან შედარებით (ეს ორივე ოთახის ჰაერის განიავების საშუალებას იძლევა). იმისათვის, რომ არ მოხდეს ჰაერის შემოდინება პოზიტიური წნევის მქონე ოთახში ნეგატიური წნევის მქონე ოთახიდან, აუცილებელია შესრულდეს პირობა $\Delta P+ > \Delta P-$. $\Delta P+$ და $\Delta P-$ მნიშვნელობებზე დაყრდნობით, წარმოიქმნება მარეგულირებელი სიგნალები, Power key 1 და Power key 2 მეშვეობით ეს სიგნალები მიეწოდება ჰაერის დემჰფერებს Air damper 1 და Air damper 2, რომლებიც შენობაში ჰაერის ნაკადს არეგულირებს. მტვრის სენსორი საშუალებას გვაძლევს ვაკონტროლოთ მტვრის კონცენტრაცია შენობაში. გაზომილი პარამეტრები აისახება დისპლეიზე (Display) და კონტროლირებადი პარამეტრების ნორმიდან გადახრის შემთხვევაში აკუსტიკური სიგნალიზატორი (Buzzer) გამოსცემს ხმოვან სიგნალს, რომელიც ატყობინებს პერსონალს სისტემაში დარღვევის შესახებ.

მოწყობილობის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია მე-3 ნახაზზე. მას საფუძვლად უდევს Arduino UNO დაფა (IC 1), რომელიც იყენებს ATmega328 მიკროკონტროლერს. ამ დაფასთან BMP180 წნევის სენსორები (დიაგრამაზე არ არის ნაჩვენები) დაკავშირებულია I²C ინტერფეისის მქონე მულტიპლექსირებული არხით (MOD 1) და SV1, SV2 და SV3 კონექტორების მეშვეობით. SDS011 მტვრის სენსორი (დიაგრამაზე არ არის ნაჩვენები) დაკავშირებულია მიკროკონტროლერის UART პორტთან SV4 გასართის საშუალებით. გაზომილი პარამეტრები აისახება DIS1 LCD ეკრანზე. ხმის სიგნალისთვის გამოიყენება პიეზოელექტრული აკუსტიკური სიგნალიზატორი SG1. Q1 ველიანი ტრანზისტორებზე აგებულია მამლიერებლები -Power key, რომლებიც მართავს ჰაერის დემჰფერების ძრავებს (დიაგრამაზე არ არის ნაჩვენები).



ნახ. 3. სამედიცინო ოთახებში წნევის მართვის და მტვრის კონტროლის მოწყობილობის პრინციპული სქემა

3. დასკვნა

სტატიის ავტორთა მიერ მიერ შემუშავებულია ხელსაწყო, რომელიც სამედიცინო დაწესებულების ოთახებში განსაზღვრავს როგორც წნევათა სხვაობას, ასევე ჰაერში მტვრის მცირე ნაწილაკების კონცენტრაციას. მისი საშუალებით შესაძლებელია ჰაერის ნაკადების ავტომატური მართვა. მიგვაჩნია, რომ აღნიშნული მოწყობილობა მნიშვნელოვანია სამედიცინო დაწესებულებებში ჰოსპიტალური ინფექციების პრევენციისათვის, რაც განსაკუთრებით აქტუალურია Covid-ინფექციის არსებობის პირობებში.

ლიტერატურა - References – Литература:

1. Inhalable Particulate Matter and Health (PM2.5 and PM10). Internet resource: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalable-particulate-matter-and-health>. (12.12.2022)
2. Internet resource: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf (5.02.2023)
3. sds011 datasheet. Internet resource: <https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/X200/SDS011-DATASHEET.pdf> (04.2.2023)
4. Prangishvili A., Dzagania T., Azmaiparashvili Z., Butskhrikidze E., Meskhia M. (2021). DIFFERENTIAL PRESSURE MONITORING SYSTEM FOR MEDICAL FACILITY ROOMS. Transactions. Georgian Technical University. Automated Control Systems. No1(33), vol.1, pp. 5-12. DOI.org/10.36073/1512-3979

(სტატია მიღებულია 20.04.2023)

PRESSURE CONTROL DEVICE WITH DUST CONTROL IN A MEDICAL FACILITY BUILDING

Azmaiparashvili Zaal, Ghurtskaia Zviad, Invia Nikoloz,
Meskhia Marine

Georgian Technical University
z.azmaiparashvili@gtu.ge, z.gurtskaia@gtu.ge, ninvia@gtu.ge,
meskhiamarine08@gtu.ge

Summary

Modern healthcare facilities are aware of and implement specific cleaning protocols to maintain cleanliness and hygiene, prevent Healthcare-Associated Infections (HAIs), and ensure the best patient outcomes. However, in many cases the potential danger is microscopic and hidden from the naked eye. Many of these microscopic hazards are hidden in dust and, if disturbed, can move through a healthcare facility unnoticed. A pressure control device with dust control in the building of a medical institution has been developed by the group of authors. With the device, it is possible to measure the pressure difference

between the rooms of medical institutions, which is necessary for the effective management of air flows. It also has a built-in system for detecting small dust particles. The characteristic parameters of the dust sensor are presented and possible ways of obtaining measurement information are shown, the structural scheme of the proposed device is discussed and the working principle is explained. We believe that this device is important for the prevention of nosocomial infections in medical institutions, which is especially relevant in the presence of Covid-infection.

(Received 20.04.2023)

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ В ПОМЕЩЕНИЯХ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ С КОНТРОЛЕМ ЗАПЫЛЕННОСТЬЮ

Азмайпарашвили З., Гурцкаия З., Инвия Н., Месхия М.

Грузинский Технический Университет

z.azmaiparashvili@gtu.ge, z.gurtskaia@gtu.ge, ninvia@gtu.ge,
meskhiamarine08@gtu.ge

Резюме

Современные медицинские учреждения знают и внедряют специальные протоколы уборки для поддержания чистоты и гигиены, предотвращения инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (ИСМП), и обеспечения наилучших результатов для пациентов. Однако во многих случаях потенциальная опасность микроскопична и скрыта от невооруженного глаза. Многие из этих микроскопических опасностей спрятаны в пыли и, если их потревожить, могут незаметно перемещаться по медицинскому учреждению. Коллективом авторов разработано устройство регулирования давления с запыленности в здании медицинского учреждения. С помощью прибора можно измерять разницу давлений между помещениями медицинских учреждений, что необходимо для эффективного управления воздушными потоками. Он также имеет встроенную систему обнаружения мелких частиц пыли. Представлены характерные параметры датчика пыли и показаны возможные пути получения измерительной информации, рассмотрена структурная схема предлагаемого устройства и объяснен принцип работы. Мы считаем, что данный прибор важен для профилактики внутрибольничных инфекций в медицинских учреждениях, что особенно актуально при наличии Covid-инфекции.

(Поступила 20.04.2023)

DIGITIZING LUNG AUSCULTATION: IMPROVING AUTOMATIC CLASSIFICATION OF PULMONARY SOUNDS WITH NEW DATASET

Irine Gotsiridze, Kitaevich Mikheil

Georgian Technical University

i.gotsiridze@gtu.ge, kitaevichm@gmail.com

Summary

The spread of COVID-19 drew attention to the gaps in the existing telehealth infrastructure and the imperative to address them in order to develop a more efficient solution to the needs of both patients and medical practitioners. The practice of lung auscultation has been one of the areas that has undergone noticeable changes to address these needs. Automatic data classification is at the core of the methodological practices enabling the digitization of this practice. While the current state of the field features several valuable datasets—such as ICBHI 2017 Challenge Respiratory Sound Dataset and HF_Lung_V2 dataset—that serve as a valuable foundation for automatic data classification, certain features of these datasets present a challenge to the reliable and efficient classification process. This article focuses on several limitations—such as an imbalanced amount of disease diagnosis and the process of annotations—and presents a plausible solution by assembling a new dataset that compensates for these gaps. Using this new data, a novel CNN model that is designed for the classification of respiratory sounds was created. The proposed model was able to achieve an accuracy of 0.943 and loss of 0.1811 which is a significant achievement.

Key words: Lung Auscultation, Digital Health, Automatic classification.

1. Introduction

Respiratory diseases present a significant challenge to the public health domain. Even prior to the outbreak of the COVID-19, respiratory diseases adversely affected the quality of life of millions of people around the world. Respiratory diseases, such as asthma, are also some of the most common chronic diseases. In addition to being high frequency, as suggested by the WHO findings, respiratory diseases represent some of the most common diseases with fatal outcomes.

The accurate classification of lung sounds is critical for early detection and treatment of respiratory diseases. In recent years, automatic classification of lung sounds using machine learning techniques has gained significant attention from researchers. However, the lack of sufficient and reliable datasets has been a major challenge faced by researchers in this area. This paper addresses this problem by presenting a new dataset of lung sounds and proposing a new convolutional neural network (CNN) model for their automatic classification. The improvement stems from significantly expanding one of the most well-established datasets in the field the ICBHI 2017 Challenge Respiratory Sound Dataset [1] by collecting new data that is more representative of healthy patients and adding precise labeling and more data for other disease diagnosis. In this article I thoroughly describe the new dataset's properties and methodologies used. The newly presented dataset is a comprehensive collection of lung sounds recorded from patients with various respiratory diseases, as well as healthy individuals. The dataset is structured into different categories, each representing a specific type of lung sound, such as wheezes, crackles, and normal breath sounds. To classify the lung sounds in the new dataset, we propose a novel CNN model that is specifically designed for the classification of respiratory sounds. The proposed model takes advantage of the feature extraction such as mel spectrograms and mel frequency cepstral coefficients and other specific data parameters in the lung sound signals to accurately classify them into different categories. The data preprocessing and model's architecture, hyperparameters, and training procedure are described in detail. Results shown by the model are presented and analyzed.

The proposed model was able to achieve an accuracy of 0.943 and loss of 0.1811 which is a significant achievement. These findings are reassuring for the prospects of digitization of lung auscultation. Future studies

can further develop and refine the proposed model to achieve even higher accuracy scores, and the new dataset can serve as a benchmark for comparison with other datasets in future studies.

2. Main Part

In this section I introduce some of the key terms describing both the medical conditions of interest for this study, as well as the methods used to obtain the measurements for these conditions.

2.1 Respiratory disease

Respiratory diseases affect pathologically areas of the respiratory tract, as well as nerves and muscles of respiration. Some of the most commonly encountered respiratory diseases are asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), pulmonary fibrosis, pneumonia. As a major public health problem, they present a growing burden to healthcare systems and to society. For example, asthma affects about 339 million people and is especially common among the pediatric population. Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is experienced by more than 200 million people. Up to 6 percent of the adult population experience sleep-disordered breathing.

Importantly, aside from being a relatively common condition, respiratory diseases can result in fatal outcomes. According to the 2019 survey by the World Health Organization in 2019, respiratory disease accounts for three of the top ten causes of death in the world. Specifically, COPD is the third most common contributor, lower respiratory infection—the fourth, and trachea, bronchus, and lung cancer rank as the 6th top reason for fatal outcomes. It is estimated that close to 8 million people die from respiratory diseases annually.[2] Early detection and treatment are thus critically important for the prevention of these diseases.

2.2. Lung Auscultation

Lung auscultation has been the key procedure for detecting pathological deviations in patients' breathing. As such, auscultation is an essential component of the physical examination and assessment of the respiratory system. The procedure entails listening to the sounds produced by the lungs and the airways during respiration. During an auscultation exam, a healthcare provider uses a stethoscope to listen to the sounds of a patient's breathing. The stethoscope allows the provider to hear the sounds of airflow, movement of the chest wall, and any abnormal sounds, such as crackles, wheezes, or rhonchi. It is a non-invasive, inexpensive, and simple diagnostic technique that can provide important information about the respiratory system's health and diagnose pulmonary diseases. Thus, despite the explosive advancement in technology related to health sciences, a detailed physical examination, including inspection, palpation, percussion, and auscultation, remains an essential part of clinical examination even in the 21st century.

2.3. Common Sounds Detected During Lung Auscultation

Wheezing and crackles are two types of sounds commonly detected during lung auscultation. Wheezing has been defined by the American Thoracic Society Committee on Pulmonary Nomenclature as a high-pitched continuous sound that occurs during the inhale or exhale and has a dominant frequency of 400 Hz or more. They are usually heard during expiration and may last for several seconds.

It can be symptomatic of a potential narrowing of airways or a barrier that keeps the air from flowing through them. Wheezes are audible throughout the chest area and trachea, but the sound can differ among patients depending on the severity of the condition and the placement of the stethoscope during auscultation [3]. Crackles, in contrast to wheezing, are a series of short, explosive sounds that are more likely to occur during the inhale (although they also can occur during the exhale). They can also sound like bubbling, rattling, or clicking. On average, the duration of a crackle is lower than 20 ms and the frequency range is between 100 and 200 Hz. [4]

Crackles are soft and can be difficult to hear, and sounds from rubbing cloth or skin can be mistaken for them. Deep breathing can also mask the sound of crackles. Fine crackles have a different waveform that makes them easier to identify, with an amplitude that differs more significantly from normal lung sounds [5].

2.4. Digitization Trends and Limitations

In recent years, however, several factors contributed to the evolution in how the auscultation procedure is performed. While this list is not exhaustive, this article highlights three of these reasons. First, with the increasing popularity of telehealth, conventional lung auscultation has become a more challenging task. In traditional face-to-face consultations, the practitioner can use a classical analog stethoscope to listen to the patient's lung sounds. However, in telehealth consultations, practitioners need to rely on digital tools to perform lung auscultation remotely. Second, the spread of COVID-19 and the challenge it presented to the respiratory system made a question about the digitization of the lung auscultation process particularly relevant to prevent the spread and to enable patients to maintain relatively mild cases without the need to leave the house. Finally, given that respiratory diseases are not uncommon, developing tools that would allow patients to monitor their breathing from the comfort of their own home is of paramount importance. As the practice of medicine progresses towards enabling patients to act as stewards of their own health under the supervision of a medical professional, while minimizing the ever-growing workload for the practitioners, digitization of lung auscultation is a welcome phenomenon.

As part of greater digitization of lung auscultation, new digital tools have been developed, including, but not limited to electronic stethoscopes, mobile apps, and web-based platforms that can transmit audio and visual data in real-time. While digital tools have made remote lung auscultation easier, there are limitations to their use. The quality of the audio and visual data can be affected by factors such as internet connectivity, background noise, and the patient's position. Additionally, practitioners need to have the necessary training and experience to use these digital tools effectively.

To circumvent some of these limitations—and particularly, reducing the chance of human errors—automatic classification of the data can be helpful. Several advancements have been made in regards to dataset development. These datasets feature different types of data obtained from the recordings of lung auscultation. Later, the data serve as a foundation for automatic classification performed with Convolutional Neural Networks or other types of machine learning strategies. For the purposes of this article, I will highlight two key datasets.

The first dataset was presented as a ICBHI 2017 Challenge Respiratory Sound Dataset. The Database is a collection of audio recordings of respiratory cycles, comprising 5.5 hours of data and 6898 respiratory cycles with annotations for the presence of crackles, wheezes, both, or none. The recordings were collected independently over several years by research teams from Portugal and Greece, and they were obtained using different equipment (e.g., AKG C417L Microphone, 3M Littmann Classic II SE Stethoscope, etc.) with varying durations and chest locations. The database also includes some respiratory cycles with high levels of noise to simulate real-life conditions. The dataset is freely available for researchers to use. The database also includes demographic information and diagnoses for each subject. Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), Lower Respiratory Tract Infection (LRTI), and Upper Respiratory Tract Infection (URTI) are the most common diagnoses found in the database [1].

The second dataset was presented in 2022 as a HF_Lung_V2 dataset. The dataset is a combination of lung sound recordings from two sources, HF_Lung_V1 and HF_Lung_V1_IP, both containing lung sounds obtained from Taiwanese inpatients aged ≥ 20 years. Lung sounds were recorded at eight auscultation locations using two devices, the Littmann 3200 and HF-Type-1. Lung sounds from HF_Lung_V1 were collected from 32 inpatients at Far Eastern Memorial Hospital, while those from HF_Lung_V1_IP were obtained from seven inpatients receiving long-term mechanical ventilation support in a respiratory care ward or center. Each sound

file was labeled by three healthcare professionals using self-developed software, and the labeled lung sounds were used to train and test a deep learning model to detect adventitious sounds in lung sounds [6].

Even though these dataset provide valuable resources to the automatic classification solving problem, there are also some limitations to them. For example, the HF_Lung_V2 dataset has numbers of inhalation and exhalation labels that are imbalanced, and the duration of labeled events is smaller than that of the background signal. Additionally, the dataset was recorded during suboptimal conditions and includes noise that can interfere with labeling and prediction tasks. The classification models may have difficulty detecting certain respiratory sounds due to the noisy environment in which the lung sounds were recorded. In the ICBHI 2017 Challenge Respiratory Sound Dataset there is a lack of healthy adult participants, and annotations were made by a single health professional, which could impact the accuracy of the annotations. Obtaining annotations from multiple annotators and creating agreement metrics would be useful to extract reference annotations. The database also has an imbalanced amount of disease diagnosis, for instance the COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) is heavily represented compared to other diseases.

In order to overcome limitations of the existing datasets for automatic classification, there was a strong need to create a new database and propose a novel model which could serve as a benchmark for the future. The properties of the dataset and a new classification model proposed are described below

3.1. Dataset description

Key characteristics of the new Respiratory Sound Database are as follows: the dataset consists of 205 individual patients, containing 7383 respiratory cycles. The recordings contain information about chest location, acquisition mode, and recording equipment. Recordings have been performed with the following tools:

- Welch Allyn Meditron Master Elite Plus Stethoscope Model 5079-400 digital stethoscope;
- 3M Littmann Classic II SE stethoscopes with a microphone in the main tube;
- Air coupled electret microphones (C 417 PP, AKG Acoustics) located in capsules made of teflon;
- WelchAllyn Meditron Master Elite Plus Stethoscope Model 5079-400 digital stethoscope;
- 3M Littmann 3200 digital stethoscope;
- 3M™ Littmann® CORE Digital Stethoscope.

The dataset contains annotated respiratory cycles, with information about crackles, wheezes, or no adventitious respiratory sounds. Respiratory cycles were manually annotated. Each cycle was assigned a starting and ending timestamp, as well as a binary value indicating whether it contained crackles and another binary value indicating whether it contained wheezes. The recordings vary in duration, ranging from 10 seconds to 120 seconds. The noise levels in some respiratory cycles are high, simulating real-life conditions.

Dataset also includes labels of diagnosis for the patient's records. Diagnosis are:

- URTI – Upper respiratory tract infection;
- Healthy condition;
- Asthma;
- COPD – Chronic obstructive respiratory disease;
- LRTI – Lower tract respiratory infection;
- Bronchiectasis;
- Pneumonia;
- Bronchiolitis.

3.2. Methodology

To solve the classification problem of the dataset the Convolutional Neural Network was chosen as a strategy. Convolutional Neural Networks (CNNs) are a popular choice for audio classification because they are able to learn local features from raw audio data. CNNs use convolutional layers to extract local features

and learn patterns in the data, which are then combined in later layers to learn higher-level representations of the audio signal. This is in contrast to traditional machine learning approaches that rely on hand-crafted features extracted from the audio signal.

In the context of audio classification, CNNs can effectively capture local features such as frequency content, timbre, and rhythm, which are important for distinguishing between different types of sounds. Additionally, CNNs are able to handle the high-dimensional nature of audio data and are robust to small variations in the signal, such as changes in amplitude and frequency.

Overall, the ability of CNNs to automatically learn features from raw audio data, coupled with their ability to handle high-dimensional input data, make them a powerful tool for audio classification tasks.

Before feeding the data to the CNN model, data has to be preprocessed. Since the audio files are different in length we decided to divide them into equal parts by using information about start and end of the respiratory cycle. To do so, we plotted the data to choose an optimal length (Fig. 1 and Fig. 2).

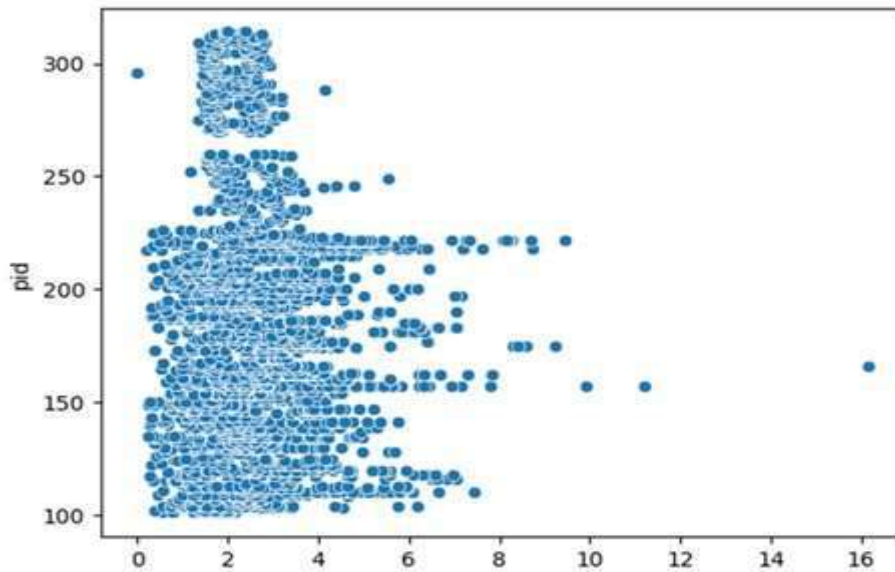


Fig.1 Demonstrates length in seconds of a respiratory cycle (x axis) and patient id (y axis)

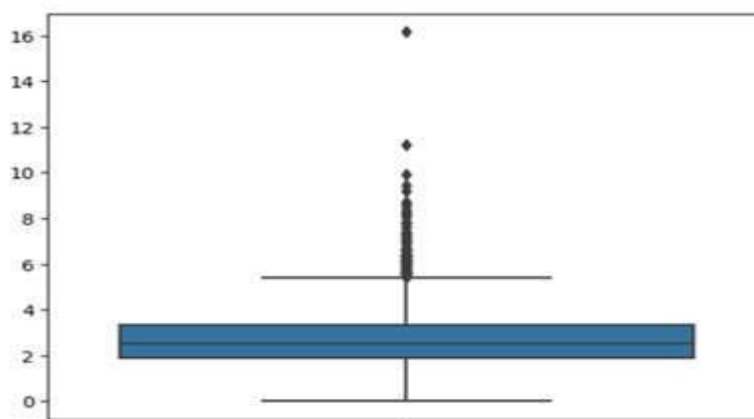


Fig.2 Boxplot of the length in seconds of a respiratory cycle

From these plots we concluded that the best length is 5 seconds. Since there are also cycles that are shorter than a target length, those had to be zero padded. Zero-padding in audio refers to adding zeros to the beginning or end of an audio signal to increase its length. By zero-padding the signals, we can ensure that they are all of the same length, and can be processed by the CNN without requiring any additional pre-processing.

To implement the project, the Python programming language and Conda environment were utilized. Librosa module was used to load the audio information into an array. Librosa is a Python library for audio analysis and processing that is commonly used in machine learning and audio signal processing applications. It provides a simple and easy-to-use interface for loading audio files, computing various audio features (e.g., spectral features, mel-frequency cepstral coefficients, etc.), and applying audio effects (e.g., filtering, time-stretching, etc.). In our case, the sampling rate while transforming the data was chosen to be a default sample rate of the librosa module, which is 22050. The number of files processed turned out to be 7330.

The next step was to decide on the splitting of the data to train and validation sets. To analyze and visualize the class imbalance that occurs in the dataset we plotted the initial data and one after the processing (Fig. 3 and Fig. 4).

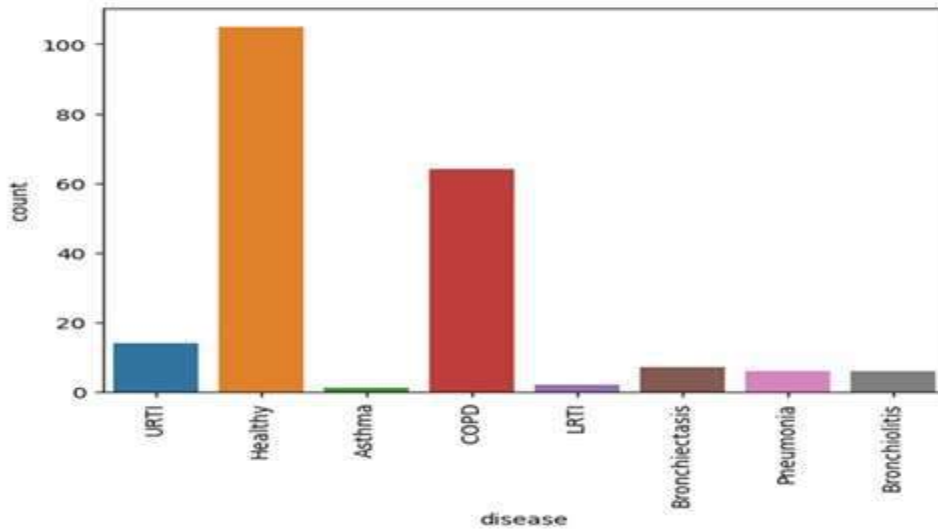


Fig.3 Representation of the initial class data

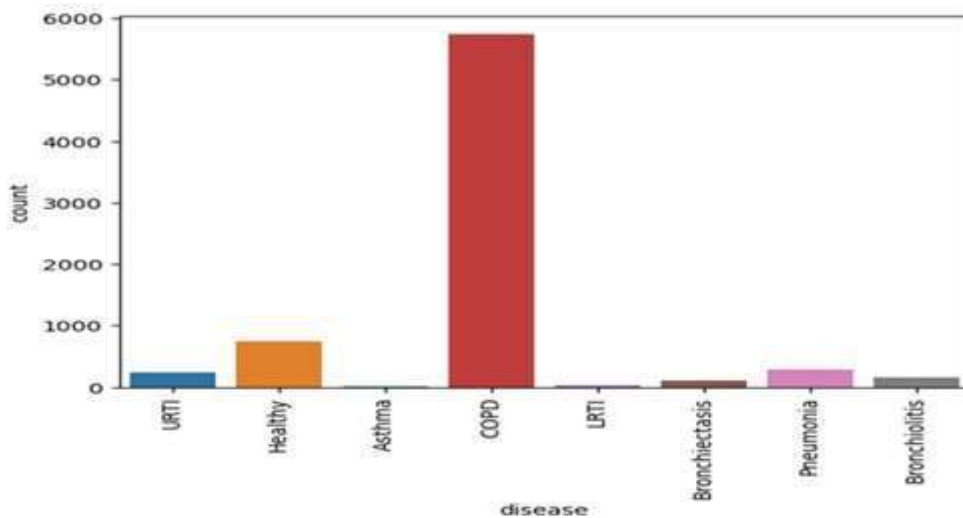


Fig.4 Representation of the processed class data

The observation of the class imbalance led to a conclusion that data should be divided into a train and validation sets using the stratified manner. A common way to split the data is to randomly divide the dataset into a training set and a test set. However, in some cases, this may result in an uneven distribution of the classes in the training and test sets, which can affect the performance of the model. Stratified data splitting is a way to

ensure that the distribution of the classes in the training and test sets is similar to that of the original dataset. In this method, the data is divided in a way that preserves the proportion of samples in each class in both the training and test sets. Stratified data splitting is particularly useful in cases where the dataset has an imbalanced class distribution, where one class has significantly fewer samples than the other(s). By ensuring that the proportion of samples in each class is similar in both the training and test sets, stratified data splitting can help to ensure that the model is not biased towards one class over the other(s) and can improve the overall performance of the model.

3.3. Feature extraction

Feature extraction is a process in machine learning that involves selecting and transforming the raw input data into a set of features that are more meaningful and representative of the underlying patterns and relationships in the data. The goal of feature extraction is to extract a set of features that are relevant for the task at hand and that capture the most important information in the input data. To do so in our case we decided to use Mel spectrograms, Mel Frequency Cepstral Coefficients and Chromagrams.

Mel spectrograms are a type of spectrogram that is commonly used in audio signal processing and analysis. A spectrogram is a visual representation of the frequency content of an audio signal over time. Mel spectrograms are a special type of spectrogram that use a non-linear scale, known as the Mel scale, to represent the frequency axis.

The Mel scale is a perceptual scale of pitches that is based on the way that the human ear perceives sound. It is designed to better match the way that humans hear different frequencies, as opposed to a linear scale that evenly spaces the frequencies. The Mel scale is commonly used in audio signal processing, especially in speech and music analysis.

Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs), is a type of feature extraction technique used in audio signal processing. MFCCs are based on the Mel scale, a non-linear scale that more closely represents the way the human ear perceives sound.

MFCCs are computed by first breaking the audio signal into small, overlapping frames of typically 20-40ms duration. For each frame, the power spectrum is computed using a short-time Fourier transform (STFT), which essentially provides the frequency content of the audio signal over time. Next, the Mel filterbank is applied to the power spectrum, which compresses the frequency axis onto the Mel scale. This is followed by taking the logarithm of the filterbank energies. Finally, the discrete cosine transform (DCT) is applied to the logarithmic filterbank energies to produce the MFCCs.

The third feature that turned out to be influential on the model and since was chosen is Chromagram also known as chroma features. Chromagrams are computed by first breaking the audio signal into short, overlapping frames of typically 20-40ms duration. For each frame, the power spectrum is computed using a short-time Fourier transform (STFT). The power spectrum is then mapped onto a 12-dimensional chroma vector, where each dimension represents one of the 12 semitones of the Western musical scale (C, C#, D, D#, E, F, F#, G, G#, A, A#, B). The mapping is done by convolving the power spectrum with a set of 12 triangular filters that correspond to the 12 semitones.

The resulting chroma vector for each frame can be thought of as a histogram of the spectral content of the audio signal in terms of its pitch classes. A chromagram is then formed by stacking the chroma vectors for each frame together over time.

Below are examples of the Mel-spectrograms, MFCCs and initial data of different diagnosis and inclusion of crackles and wheezes. (Fig 5-10).

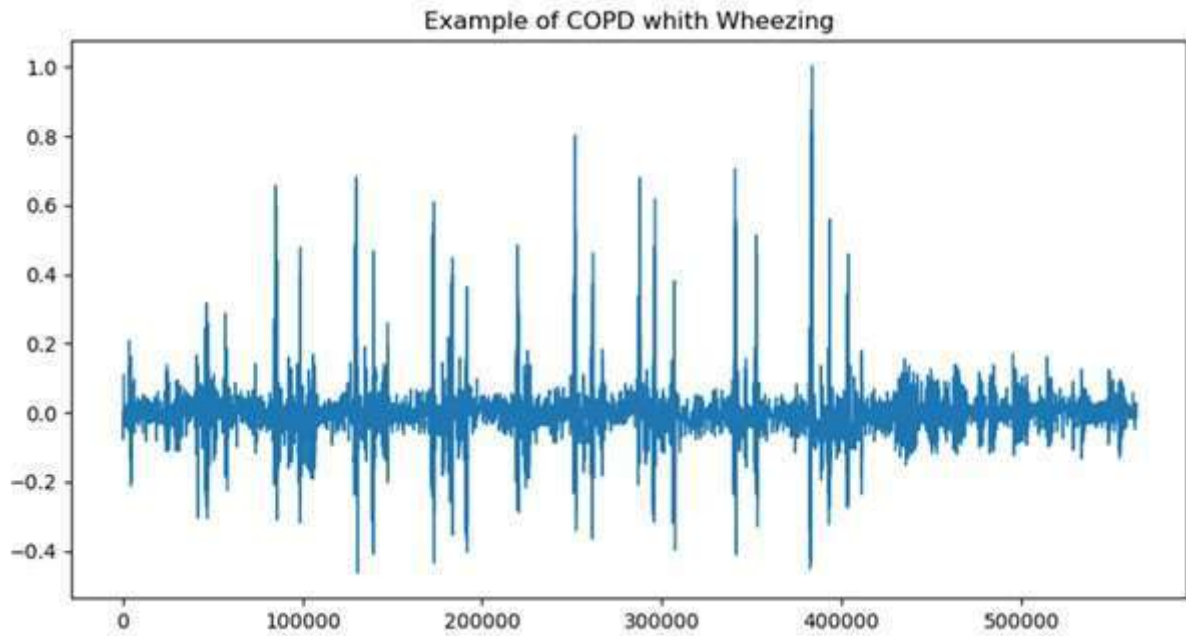


Fig.5. Representation of COPD with wheezing audio recording (Db (x axis), Time (y axis))

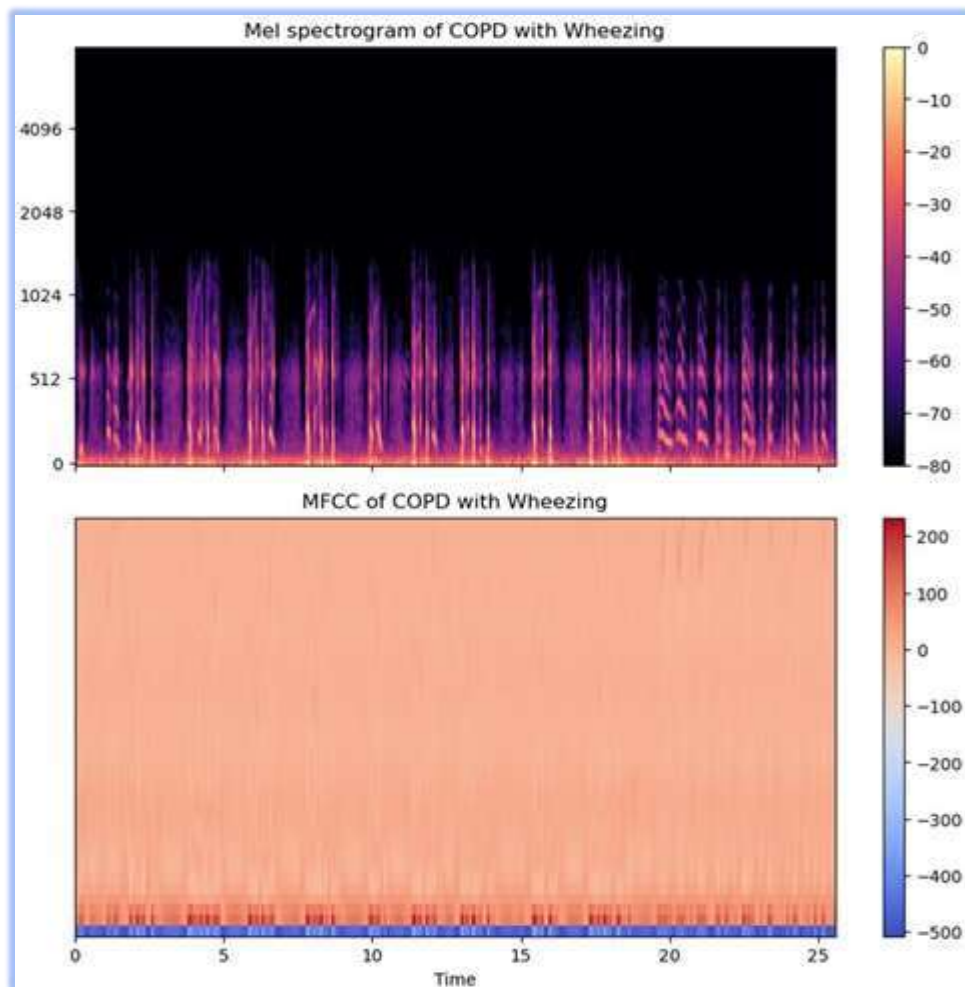


Fig. 6 Representation of Mel spectrogram and MFCCs of a COPD with wheezing (Time (x axis), Frequency in Hz (y axis)).

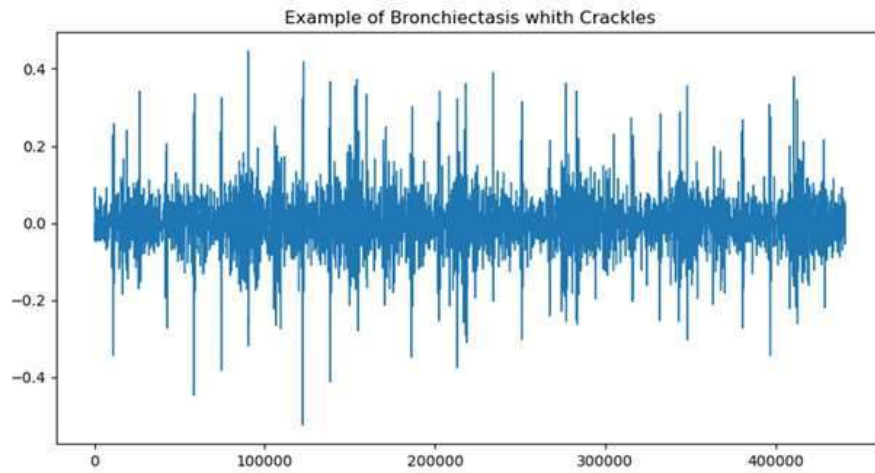


Fig. 7 Representation of Bronchiectasis with crackles audio recording (Db (x axis), Time (y axis))

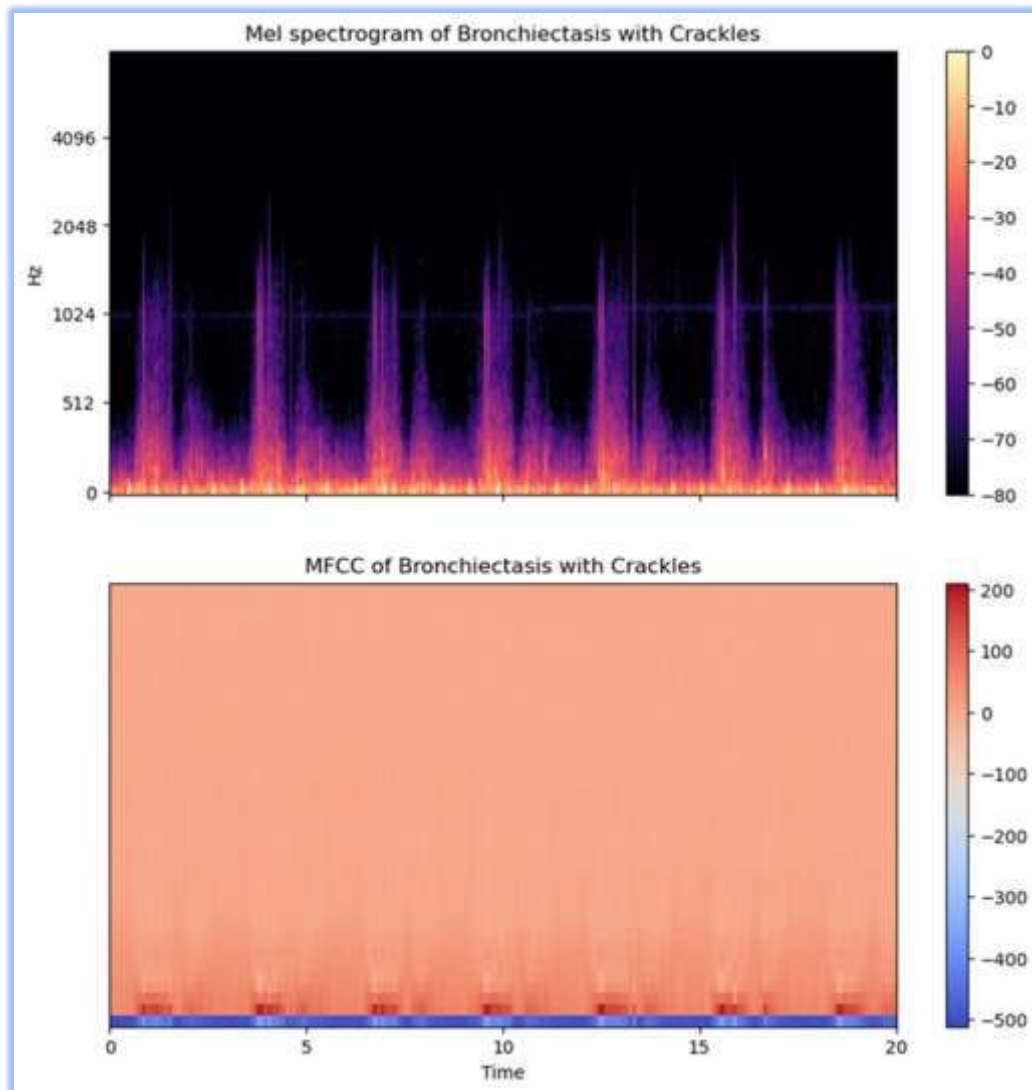


Fig. 8 Representation of Mel spectrogram and MFCCs of a Bronchiectasis with crackles (Time (x axis), Frequency in Hz (y axis))

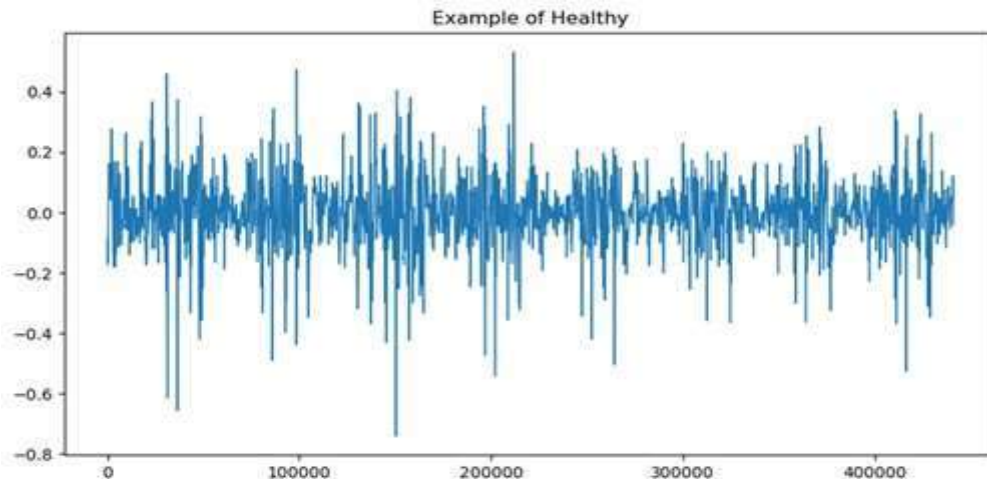


Fig. 9 Representation of Healthy audio recording (Db (x axis), Time (y axis))

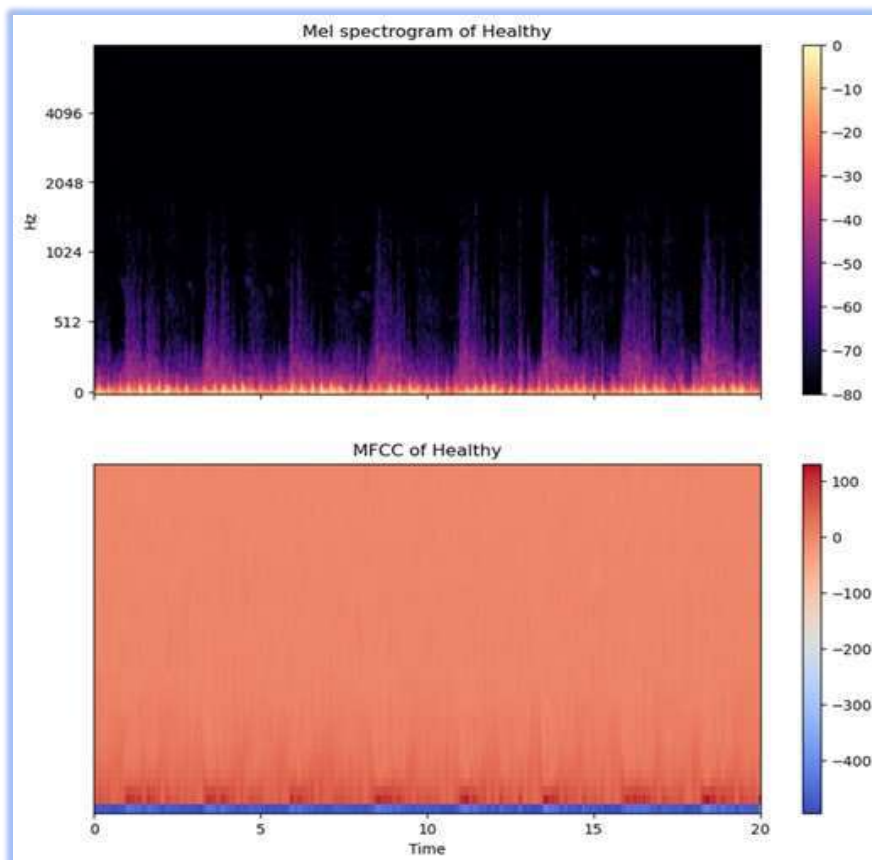


Fig. 10 Representation of Mel spectrogram and MFCCs of a Healthy recording. (Time (x axis), Frequency in Hz (y axis))

4.1. Convolutional Neural Network design and results.

To define the input shape of our model we needed to calculate the feature numpy arrays shapes based on the previous extraction and preprocessing. The shapes turned out to be (20, 259) (12,259)and (128,259). These shapes are an input for the three separate CNNs that we combined later into one dense network. The rectified linear unit (ReLU) activation function was in the model. ReLU applies a threshold at zero: if the input value x is less than or equal to zero, the output is zero; if the input value is greater than zero, the output is equal to the input value.

ReLU has become a popular choice in deep learning because it can help to overcome the problem of vanishing gradients, which can occur in models with many layers. This is because ReLU is a non-saturating activation function, meaning that it does not "saturate" at high or low input values like some other activation functions (e.g. sigmoid or tanh). This means that gradients can flow more easily through ReLU units, enabling deeper networks to be trained more effectively.

Batch Normalization was also used in neural network models to improve the training process and performance. It normalizes the input to a layer by scaling and shifting it, so that it has a mean of zero and a variance of one.

The Batch Normalization layer is typically inserted after the linear transformation and activation function of each layer in a neural network. During training, it normalizes the input to each layer based on the mean and variance of the input data in the current mini-batch (a small random subset of the training data). This normalization process helps to stabilize the distribution of the input data, which can make it easier for the network to learn and prevent overfitting (Fig. 11).

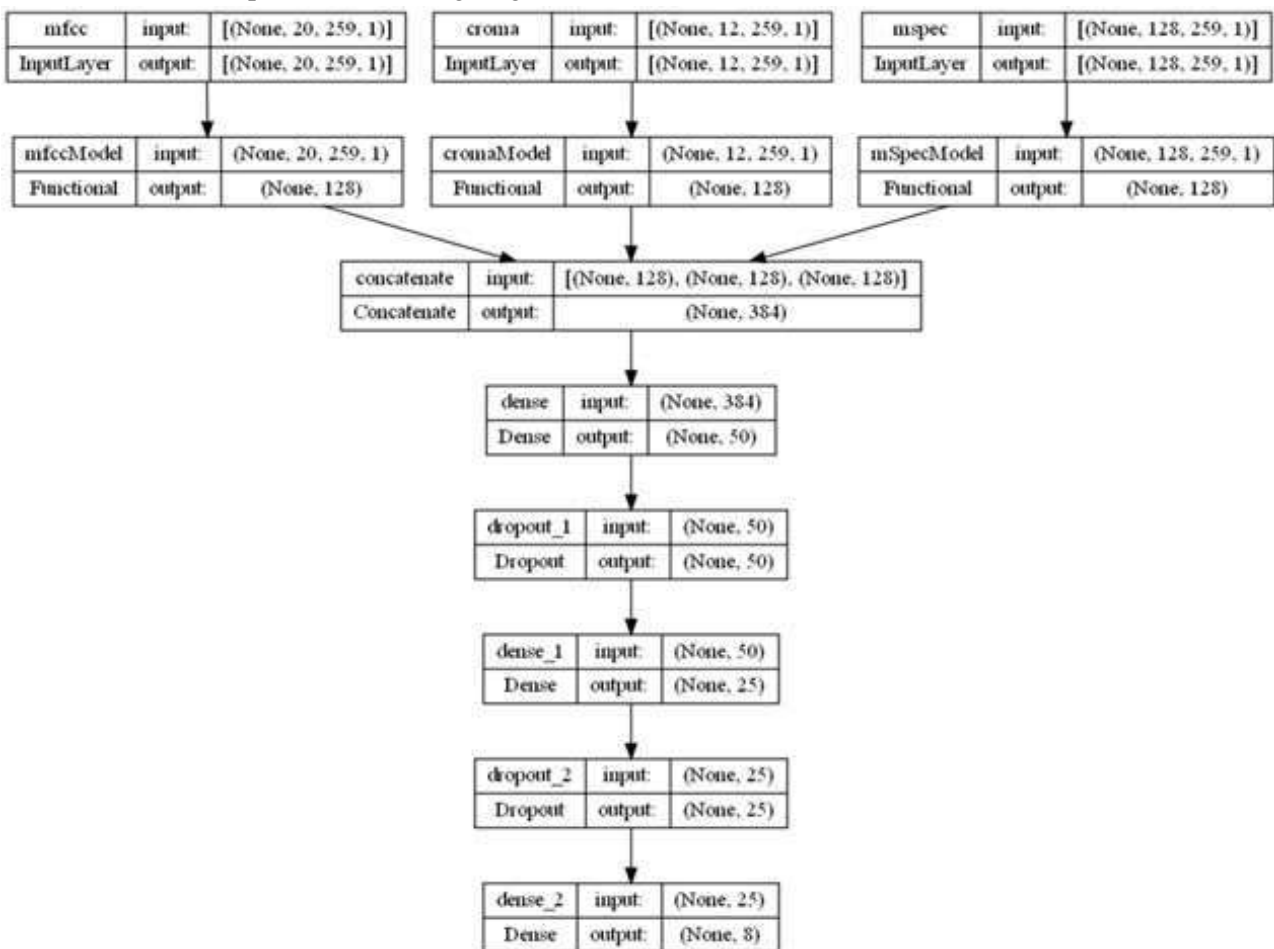


Fig. 11 Shape of the model

Early stopping technique was also used during the training of a convolutional neural network (CNN) to prevent overfitting and improve generalization performance.

The idea behind early stopping is to monitor the performance of the model on a validation set during training and stop the training process once the validation performance stops improving or starts to degrade. This is done by comparing the validation performance of the model after each epoch of training and stopping the training process once the performance on the validation set starts to worsen or stagnates for a certain number of epochs.

The number of epochs to wait before stopping is typically determined using a patience parameter, which specifies the number of epochs to wait for an improvement in validation performance before stopping the training process. Once the training process is stopped, the weights of the model at the point of best validation performance are saved and used as the final model.

6. Results

The proposed model was able to achieve an accuracy of 0.943 and loss of 0.1811 which is a significant achievement. Using the history evaluation function in Keras, we were able to plot the training process of the model (Fig. 12) which highlights the positive performance of the model.

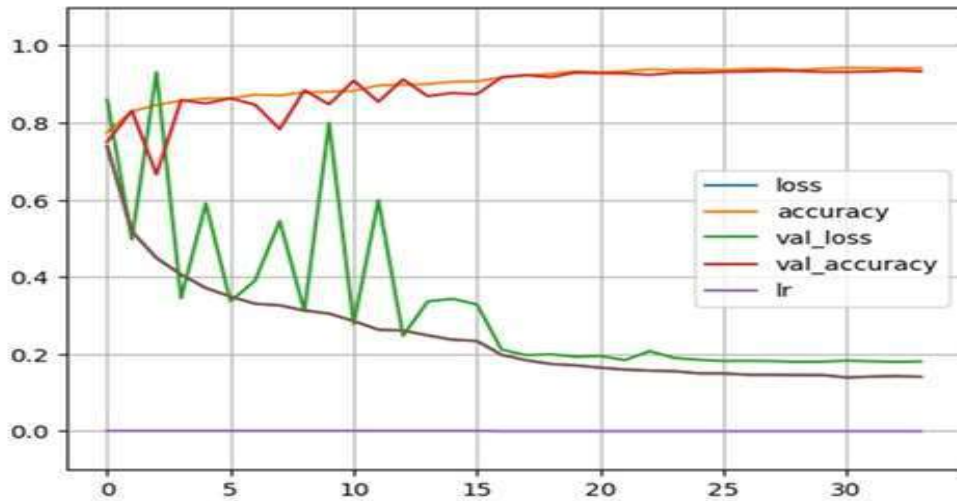


Fig. 12 Training history of the proposed model

The detailed look through the model also showcases that there was no issue of overfitting, and both set accuracy: Training set accuracy: 0.967 and Testing set accuracy: 0.933 achieved positive results. Total of trainable parameters in the dense model was 261,245 out of 262,973 which is another example of a properly designed model. Model training accuracy and model loss through the epochs are plotted in Fig. 13-14.

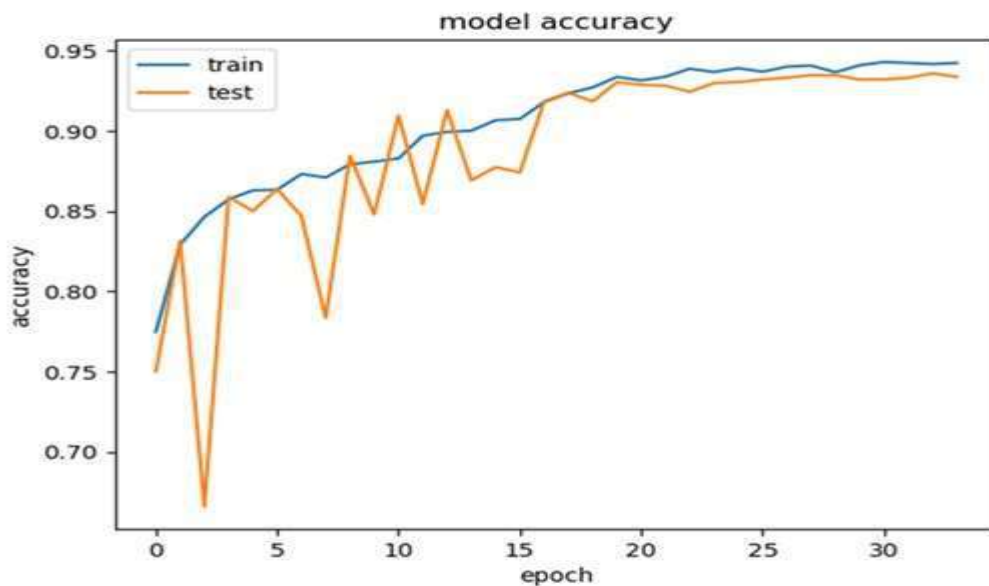


Fig. 13

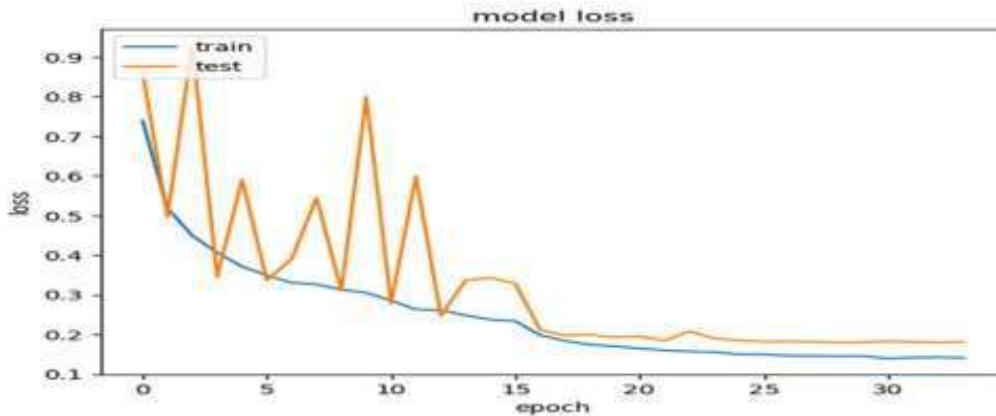


Fig. 14

7. Conclusion

In conclusion, this paper discussed the need for improved automatic classification of the data to enhance the current needs of telehealth digitization trends. To accomplish this objective, this paper presented a plausible solution to the problem of automatic classification of lung sounds by proposing a new Convolutional Neural Network model that achieved high accuracy scores on a new dataset. The lack of sufficient datasets has been a major challenge in this field, and the newly presented dataset is introducing a potential improvement in this aspect. The proposed model was designed to address the limitations and to improve the accuracy of lung sound classification. The results of the experiments showed that the model was successful in classifying the different types of lung sounds with high accuracy.

The automatic classification of lung sounds in auscultation is of great importance in the diagnosis of respiratory diseases. It provides a non-invasive and cost-effective method for the detection and monitoring of lung conditions. By automating this process, healthcare professionals can save time and improve accuracy in diagnosis, resulting in better patient outcomes. Furthermore, the availability of large and diverse datasets like the one proposed in this paper can lead to the development of more accurate and robust models for lung sound classification. The proposed convolution neural network model in this paper demonstrated high accuracy in classifying the new dataset, which indicates promising potential for clinical and telehealth application. With further advancements in machine learning and artificial intelligence, the automatic classification of lung sounds can become an essential tool in the early detection and management of respiratory diseases. Overall, the findings of this paper provide a promising avenue for future research, as well as practical applications for healthcare professionals in the diagnosis and treatment of respiratory diseases. The proposed model can be further developed and refined to achieve even higher accuracy scores, and the new dataset can serve as a benchmark for comparison with other datasets in future studies. Ultimately, the development of more accurate and efficient models for automatic classification of lung sounds has the potential to greatly benefit patients and healthcare professionals alike.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Rocha BM et al. (2019). An open access database for the evaluation of respiratory sound classification algorithms. *Physiological Measurement* 40 035001
2. World Health Organization. The Top 10 Causes of Death. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> [2021 Apr 16].
3. Yoonjoo Kim, YunKyong Hyon, Sung Soo Jung, Sunju Lee, Geon Yoo, Chaek Chung, and Taeyoung Ha. (2021). Respiratory sound classification for crackles, wheezes, and rhonchi in the clinical field using deep learning. *Scientific Reports*, 11(1):1– 11.
4. Konstantinos Douros, Vasilis Grammeniatas, Ioanna Loukou. (2018). Crackles and other lung sounds. *Breath Sounds*, pages 225–236

5. Robert Lethbridge, Mark L. (2018). Everard. The stethoscope: historical considerations. In *Breath Sounds*, pages 15–31. Springer.
6. Hsu F.S., Huang S.R., Huang C.W., Cheng Y.R., Chen C.C., Hsiao J., Chen C.W., Lai F.A. (2022). Progressively Expanded Database for Automated Lung Sound Analysis: An Update. *Appl. Sci.*12, 7623. <https://doi.org/10.3390/app12157623>.

(Received 25.02.2023)

ფილტვის აუსკულტაციის გაციფრულება: ფილტვის ბგერების ავტომატური კლასიფიკაციის გაუმჯობესება მონაცემთა ახალი ნაკრებით

ირინე გოცირიძე, მიხეილ კიტაევიჩი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
i.gotsiridze@gtu.ge, kitaevichm@gmail.com

რეზიუმე

COVID-19-ის გავრცელებამ ყურადღება გაამახვილა არსებულ ტელემედიცინის ინფრასტრუქტურაში არსებულ ხარვეზებზე და მათი გადაჭრის აუცილებლობაზე, რათა შემუშავდეს უფრო ეფექტური გამოსავალი როგორც პაციენტების, ასევე სამედიცინო პრაქტიკოსების საჭიროებებისთვის. ფილტვების აუსკულტაციის პრაქტიკა იყო ერთ-ერთი სფერო, რომელმაც განიცადა შესამჩნევი ცვლილებები ამ საჭიროებების დასაკმაყოფილებლად. მონაცემთა ავტომატური კლასიფიკაცია არის მეთოდოლოგიური პრაქტიკის საფუძველი, რომელიც ამ პრაქტიკის გაციფრულების საშუალებას იძლევა. მიუხედავად იმისა, რომ ამჟამად არის წარმოდგენილი რამდენიმე მონაცემთა ნაკრები - როგორცაა ICBHI 2017 Challenge Respiratory Sound Dataset და HF_Lung_V2 მონაცემთა ნაკრები - რომლებიც უდებენ საფუძველს მონაცემთა ავტომატური კლასიფიკაციის მიდგომას, ამ მონაცემთა ნაკრების გარკვეული მახასიათებლები წარმოადგენს გამოწვევას სანდო და ეფექტური კლასიფიკაციის პროცესისათვის. ეს სტატია ყურადღებას ამახვილებს რამდენიმე შეზღუდვაზე - როგორცაა დაავადების დიაგნოსტიკის გაუწონასწორებელი რაოდენობა და ანოტაციების პროცესი - და წარმოადგენს გამოსავალს ახალი მონაცემთა ნაკრების შეკრებით, რომელიც ანაზღაურებს ამ ხარვეზებს. ამ ახალი მონაცემების გამოყენებით შეიქმნა ახალი CNN (კონვოლუციური ნეირონული ქსელების) მოდელი, რომელიც განკუთვნილია რესპირატორული ბგერების კლასიფიკაციისთვის. შემოთავაზებულმა მოდელმა შეძლო 0.943 სიზუსტის მიღწევა და 0.1811 ზარალის მიღწევა, რაც მნიშვნელოვანი მიღწევაა

(სტატია მიღებულია 25.02.2023)

ОЦИФРОВКА АУСКУЛЬТАЦИИ ЛЕГКИХ: УЛУЧШЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕГОЧНЫХ ШУМОВ С ПОМОЩЬЮ НОВОГО НАБОРА ДАННЫХ

Ирине Гоциридзе, Михаил Китаевич
Грузинский технический университет
i.gotsiridze@gtu.ge, kitaevichm@gmail.com

Резюме

Вспышка COVID-19 выявила пробелы в существующей инфраструктуре телемедицины и необходимость их устранения для разработки более эффективного решения для нужд как пациентов, так и практикующих врачей. Практика аускультации легких была одной из областей, которая претерпела заметные изменения, чтобы удовлетворить эти потребности. Автоматическая классификация данных является основой методологических практик, позволяющих оцифровывать эти практики. Хотя в настоящее время существует несколько наборов данных, таких как набор данных ICBHI 2017 Challenge Respiratory Sound Dataset и набор данных HF_Lung_V2, которые обеспечивают основу для автоматизированного подхода к классификации данных, некоторые характеристики этих наборов данных создают проблемы для надежного и эффективного процесса классификации. В этой статье освещаются некоторые ограничения, такие как несбалансированное количество диагнозов заболеваний и процесс аннотации, и предлагается решение путем сборки нового набора данных, компенсирующего эти пробелы. Используя эти новые данные, была разработана новая модель CNN (Convolutional Neural Networks) для классификации дыхательных звуков. Предложенная модель смогла достичь точности 0,943 и потерь 0,1811, что является значительным достижением.

REMOTE LUNG AUSCULTATION IN THE DIGITAL AGE: RESOURCES, LIMITATIONS AND OPPORTUNITIES

Kitaevich Mikheil
Georgian Technical University
kitaevichm@gmail.com

Summary

The article discusses the importance of remote lung auscultation in the assessment of the respiratory system during telehealth consultations. The limitations of digital tools, including the need for proper training, internet connectivity, and background noise, are also highlighted. The article also emphasizes the benefits of automatic classification of respiratory sounds using machine learning algorithms, which can provide objective and accurate diagnoses, reduce the need for specialized training, and improve patient outcomes. Three largest available datasets are introduced and compared. The datasets are available for research purposes and have the potential to improve the classification systems, diagnosis and management of respiratory diseases. The article concludes by recapping some of the limitations of the currently used datasets and makes a suggestion for future improvement.

Key words: Lung Auscultation, Digital Health, Automatic classification.

1. Introduction

Auscultation is an essential component of the physical examination and an important diagnostic tool in the assessment of the respiratory system. Lung auscultation refers to the practice of listening to the sounds produced by the lungs and the airways during respiration. It is a non-invasive, inexpensive, and simple diagnostic technique that can provide important information about the respiratory system's health.

With the increasing popularity of telehealth, conventional lung auscultation has become a more challenging task. In traditional face-to-face consultations, the practitioner can use a classical analog stethoscope to listen to the patient's lung sounds. However, in telehealth consultations, practitioners need to rely on digital tools to perform lung auscultation remotely. There are various digital tools available, such as electronic stethoscopes, mobile apps, and web-based platforms that can transmit audio and visual data in real-time.

While digital tools have made remote lung auscultation possible, there are limitations to their use. The quality of the audio and visual data can be affected by factors such as internet connectivity, background noise, and the patient's position. Additionally, practitioners need to have the necessary training and experience to use these digital tools effectively.

The rise in telehealth, accelerated by the spread of the COVID-19 pandemic, made a question about the digitalization of the lung auscultation process particularly relevant. The objective of this article is to highlight several key advancements in this area during the last five years, as well as to elucidate on one of the most promising parts of the technology that underpins the digitization process—automatic classification. In particular, I emphasize the importance of data to structure the automatic classification process. Through a comparative analysis of three important datasets for automatic classification of lung auscultation data, I conclude with existing limitations of the data and highlight potential areas for improvement.

2. Main Part

2.1. Digital Lung Auscultation: Tools and Their Limitations during the COVID-19 Pandemic

With the increasing popularity of telehealth, conventional lung auscultation has become a more challenging task. In traditional face-to-face consultations, the practitioner can use a stethoscope to listen to the patient's lung sounds. However, in telehealth consultations, practitioners need to rely on digital tools to perform lung auscultation remotely. There are various digital tools available, such as electronic stethoscopes, mobile apps, and web-based platforms that can transmit audio and visual data in real-time.

While digital tools have made remote lung auscultation possible, there are limitations to their use. The quality of the audio and visual data can be affected by factors such as internet connectivity, background noise, and the patient's position. Additionally, practitioners need to have the necessary training and experience to use these digital tools effectively.

The COVID-19 pandemic has disrupted the way healthcare is delivered, with a significant increase in the use of telehealth consultations. Remote lung auscultation has become a crucial tool in managing COVID-19 patients, particularly those with mild or moderate symptoms that can be managed at home. With remote lung auscultation, healthcare practitioners can monitor the patient's lung sounds and detect any deterioration or worsening of symptoms. This allows for a more effective management of the disease due to timely intervention and treatment, in turn preventing the need for hospitalization and reducing the risk of disease transmission.

Furthermore, remote lung auscultation has provided a means of screening for COVID-19 in patients who are at high risk or have been exposed to the virus. This is particularly important in areas with limited resources or where access to testing is limited. In these situations, healthcare practitioners can use digital tools to perform lung auscultation remotely, and detect any abnormal lung sounds that may indicate COVID-19 infection. This can help in identifying cases early, implementing appropriate measures to prevent further transmission and reducing the spread of the virus.

As telehealth continues to gain popularity, remote lung auscultation will undoubtedly play an increasingly significant role in the diagnosis and management of respiratory diseases.

2.2. The Role of Automatic Classification in Digitizing Lung Auscultation

Automatic classification of respiratory sounds in lung auscultation has emerged as a promising technique for diagnosing respiratory diseases remotely. This technology involves the use of machine learning algorithms to analyze the lung sounds recorded during auscultation and classify them as normal or abnormal. The classification is based on specific features of the sound waveform, such as the frequency, duration, and intensity of the sound.

The benefits of automatic classification of respiratory sounds are numerous. First, it can provide objective and accurate diagnoses, eliminating the variability and subjectivity associated with human interpretation. Additionally, automatic classification can reduce the need for specialized training and expertise in lung auscultation, making it a more accessible and cost-effective diagnostic tool. Moreover, automatic classification can significantly reduce the time required to diagnose respiratory diseases, leading to earlier detection and treatment, solving some of the problems mentioned above with the usage of lung auscultation using digital health approaches.

Furthermore, automatic classification of respiratory sounds has the potential to improve patient outcomes by providing timely and accurate diagnoses. The early detection and treatment of respiratory diseases can prevent disease progression, reduce the risk of complications, and improve the patient's quality of life. Additionally, automatic classification can help identify patients who require further investigation or referral to a specialist, ensuring that they receive appropriate care.

In the next section I illustrate the implementation of digital auscultation during the spread of the COVID-19 pandemic.

2.3. Illustration of digital auscultation in telehealth

The COVID-19 pandemic has led to an increase in the use of telehealth, allowing for healthcare to be delivered remotely. This is particularly important given the highly infectious nature of the virus, which has made physical patient isolation necessary. At Israel's Sheba Medical Center, several departments have been converted to provide fully quarantined medical care for COVID-19 patients, including the use of dedicated equipment for remote physical examination. One such tool is the TytoCare® system, which includes a stethoscope, otoscope, thermometer, oximeter, and tongue depressor for visual examination of the pharynx. This system allows physicians to remotely examine COVID-19 patients while recording and transmitting data and visuals, as well as conducting video conferences.

To evaluate the user experience of this tool under strict isolation measures, a cross-sectional study was conducted using questionnaires collected from physicians treating COVID-19 patients at internal, geriatric, and pediatric departments between March and July 2020. Thirty physicians were initially included in the study, with 18 ultimately being analyzed. Remote physical examinations were conducted with video guidance from the physician while patients applied the device and received assistance from fellow patients for lung auscultation.

According to results there was no statistically significant difference demonstrated compared to indifference value, ($p = 0.259$) between approach models. The majority of the respondents (72%) believed that the telemedicine device provided an adequate solution for standard physical examinations in isolation conditions.

The findings of the study suggest that the TytoCare® system is a useful tool for remote physical examination in COVID-19 patients. The system was well-received by physicians and found to be comparable to standard physical examination in terms of diagnostic accuracy. Overall, this study highlights the importance of rapidly adapting to telemedicine technologies during a pandemic, and the potential benefits of remote physical examination tools like TytoCare® in providing safe and effective healthcare [1].

In the next section I discuss how the need for more accessible digital lung auscultation led to new advancements in stethoscope technology.

2.4. Stethoscope Technological Advancement

Recently, advancements in digital technology have led to significant improvements in the stethoscope's diagnostic capabilities. Digital stethoscopes have ambient noise reduction, heart sound amplification, and Bluetooth transmission to external devices. This technology allows for recording and transmission of heart sounds, enabling multiple providers to listen to heart and lung auscultation without needing to enter a patient's room. Additionally, it has been useful in telemedicine where auscultatory information can be assessed by providers remotely.

The stethoscope has long been criticized for its strong reliance on subjective interpretation, but machine learning (ML) and artificial intelligence (AI) technology have allowed for the analysis of complex data, such as heart sounds, murmurs, and abnormal heart rhythms. ML and AI use novel algorithmic and statistical methods that allow computers to "learn" from the given data. Studies implementing these technologies have reported >90% accuracy in detecting various heart conditions, including aortic stenosis, aortic regurgitation, mitral stenosis, and mitral regurgitation [2,3].

Smartphones can now integrate these new stethoscope technologies and incorporate them into daily clinical practice. Current smartphone applications can visualize and record heart sounds, providing a spectrograph visualization of the heart sounds. However, these initial applications often lacked the capability to determine key diagnostic information, such as heart rate or the presence of heart sound abnormalities. Recent developments have been made to improve the analytical capabilities of these heart sound applications, with some claiming to objectively distinguish between pathological and innocent murmurs with a sensitivity and specificity above 80% [4].

Various smartphone accessories have been developed to combine the portability of mobile phones with the capabilities of digital stethoscope technology. The Eko Core Digital Stethoscope, for example, became one of the first digital stethoscopes to integrate AI diagnostic support, capable of detecting atrial fibrillation and heart murmurs with high sensitivity and specificity. The Eko Core has been validated in a study demonstrating a sensitivity and specificity of 86.3% and 85.7%, respectively, for detecting asymptomatic left ventricular dysfunction, showing promise for the rapid diagnosis of heart dysfunction and heart failure at the bedside using the stethoscope [5].

The COVID-19 pandemic has highlighted the importance of the stethoscope in diagnosing patients with pneumonia, a common clinical presentation of COVID-19 infection. Digital stethoscopes, incorporating AI technology and smartphone applications, have the potential to improve diagnostic capabilities and outcomes for COVID-19 patients with comorbidities such as cardiovascular disease [6].

3. Conventional Vs. Digital Lung Auscultation: Are They on Equal Footing?

A recent study suggested that digital auscultation can provide diagnostic results similar to conventional auscultation. This is significant as auscultation, the act of listening to sounds emanating from the body, has been used as a traditional diagnostic tool for centuries. However, the accuracy of chest auscultation for diagnosing pneumonia, which affects millions of people each year, has been questioned, especially in low-income and middle-income country settings. Digital auscultation, which uses digital stethoscopes to record lung sounds, is less susceptible to external noise, and can capture a broader range of audible sound frequencies, potentially making it a more accurate diagnostic tool. The study showed that, while patterns of auscultation classifications were different between conventional and digital auscultation, remotely classified lung auscultation can achieve results similar to inter-provider concordance using identical equipment in ideal settings.

While the section above discussed similarity in some aspects of performance using conventional and digital lung auscultation, there are also noticeable differences in the performance of these two approaches. The accuracy and reliability of chest auscultation for pneumonia diagnosis have been questioned, even when using near-simultaneous auscultation with identical equipment. This diagnostic tool has been widely used for centuries, but there is no readily available gold standard to assess its accuracy. Despite these uncertainties, researchers found that the concordance between conventional and digital auscultation in evaluating lung sounds among pneumonia cases is fair-to-moderate. The study also showed that there are differences in classification patterns between the two methods, with conventional auscultation having a higher proportion of crackles and digital auscultation having a higher proportion of wheeze. The presence of crackles was generally predictive of greater clinical severity among pneumonia cases, while wheeze was associated with decreased clinical severity. This information can be useful in guiding appropriate triage and antibiotic prescribing in low-income and middle-income countries [7].

4. Datasets availability for automatic classification

As discussed in the previous section, the advances in AI technology and improvements in the capabilities of digital stethoscopes make an especially welcome addition to clinicians' toolkit. Automatic lung sound classification is at the core of this technology that utilizes machine learning algorithms to analyze and classify lung sounds as normal or abnormal. Automatic lung sound classification is a technology that utilizes machine learning algorithms to analyze and classify lung sounds as normal or abnormal. This technology has shown tremendous potential in the diagnosis and management of respiratory diseases. However, to achieve accurate and reliable classification results, a good and large dataset is essential.

A dataset is a collection of data used to train a machine learning algorithm to perform a specific task. In the case of automatic lung sound classification, the dataset consists of recorded lung sounds from patients with known respiratory conditions, including asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), pneumonia, and other lung disorders. The dataset is used to train the algorithm to recognize specific patterns and features in the lung sounds that correspond to different respiratory conditions.

The quality and size of the dataset are critical factors in the accuracy and reliability of the classification results. A good dataset should be representative of the population being diagnosed, including different age groups, genders, and ethnicities. It should also include a variety of respiratory conditions, ranging from mild to severe, to ensure that the algorithm is trained to recognize a broad range of abnormalities.

Additionally, a large dataset is necessary to ensure that the machine learning algorithm is robust and generalizable. A small dataset may lead to overfitting, where the algorithm becomes too specialized in recognizing patterns in the training data but performs poorly on new, unseen data. A large dataset, on the other hand, allows the algorithm to learn from a more extensive range of examples, leading to more accurate and reliable classification results.

Furthermore, a good and large dataset is essential in avoiding bias in the algorithm's classification results. Bias can occur when the dataset is not representative of the population being diagnosed, leading to incorrect

diagnoses or misclassification of certain groups. For example, if the dataset includes mostly male patients, the algorithm may not perform well in diagnosing respiratory conditions in female patients.

Existing lung sound datasets provide a valuable resource for the development and improvement of automatic lung sound classification algorithms. Analyzing these datasets can help researchers identify trends and patterns in the data, leading to improvements in classification accuracy and reliability. Analyzing existing lung sound datasets is essential for the continued improvement and development of automatic lung sound classification algorithms. By analyzing the data, researchers can identify new features and characteristics of lung sounds, identify biases, develop new signal processing techniques, and identify areas where new datasets are needed. Ultimately, this will lead to more accurate and reliable diagnoses of respiratory conditions.

In recent years, numerous researchers have developed techniques for automatically detecting or classifying respiratory sounds, such as crackles and wheezes. These methods generally involve two steps: first, relevant features are extracted from the sound signal, and second, these features are used to detect or classify respiratory events. When developing an algorithm, particularly using machine learning, it's important to consider how data is used to train, test, and validate the model.

A systematic review identified several common features used in the literature, including Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs), spectral features, entropy, and wavelet coefficients. Various machine learning algorithms have also been proposed, including rule-based methods, support vector machines, artificial neural networks, Gaussian mixture models, k-nearest neighbours, and logistic regression models. However, the small number of patients in most studies limits the generalizability of these algorithms.

A significant challenge in this field is the lack of large, publicly available databases that can be used to develop algorithms and compare results. While most studies have used in-house data collections, a few publicly available databases exist [8].

5. Performing Automatic Classification with Existing Datasets

The following section provides an overview of some of the commonly used datasets for classifying lung auscultation data. The datasets discussed here are: 1. ICBHI 2017 Challenge Respiratory Sound Dataset (9), 2. 2022 HF_Lung_V2 dataset (10), 3. 2021 Fraiwan, Fraiwan, Khassawneh and Ibniyan dataset of lung sounds (11). In this section I discuss some of the most salient features of these datasets, their comparative strength, and select limitations. The intention of this analysis is to equip the readers and practitioners with the relevant knowledge necessary when selecting a dataset that serves the needs of their research.

1) ICBHI 2017 Challenge Respiratory Sound Dataset: advantages and limitations.

The Respiratory Sound Database is a collection of audio samples of respiratory cycles, compiled as part of ICBHI 2017 scientific challenge and now available for researchers in open access. The database includes recordings from two research teams in different countries, Portugal and Greece, collected independently over several years. The School of Health Sciences at the University of Aveiro in Portugal and the Aristotle University of Thessaloniki and the University of Coimbra in Greece recorded most of the audio samples [9].

In total, the database contains 5.5 hours of recordings with 6898 respiratory cycles, annotated by respiratory experts as containing crackles, wheezes, both crackles and wheezes, or no adventitious respiratory sounds. Of the respiratory cycles, 1864 contain crackles, 886 contain wheezes, and 506 contain both. The recordings were collected using heterogeneous equipment, and their duration ranges from 10 seconds to 90 seconds. The chest locations from which the recordings were acquired are also provided. Noise levels in some respiratory cycles are high, which simulates real-life conditions.

The files in the database are named based on five elements separated by underscores. The first element is the patient number, followed by the recording index, chest location (e.g., trachea, anterior left, anterior right, etc.), acquisition mode (sequential/single channel or simultaneous/multichannel), and recording equipment (e.g., AKG C417L Microphone, 3M Littmann Classic II SE Stethoscope, etc.). The annotation files, on the other hand, contain four values, indicating the beginning and end of respiratory cycles and the presence or absence of crackles and wheezes.

The database also includes demographic information and diagnoses for each subject. Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), Lower Respiratory Tract Infection (LRTI), and Upper Respiratory

Tract Infection (URTI) are the most common diagnoses found in the database. The distribution of subjects between the training and test sets can also be found on the website.

There are limitations of the Respiratory Sound Database that may impact the performance of the classification models based on it. The database lacks healthy adult participants, which would be useful to compare with patients' characteristics and frequency of adventitious respiratory sounds. Another limitation is the absence of gold standard annotations from multiple annotators, as all files were annotated by a single health professional. Obtaining annotations from multiple annotators and creating agreement metrics are important to extract reference annotations. A recent study found moderate to good agreement between observers when classifying crackles and wheezes. The database also lacks other noise sources that would only be captured if in-the-field recordings were available. Confounding noises such as handling noise, cough, and speech are present in most files, but a robust database should contain other noise sources.

2) HF_Lung_V2 dataset (2022): advantages and limitations.

Another prominent new lung sound database, HF_Lung_V2, was established by combining lung sound recordings from two sources, HF_Lung_V1 and HF_Lung_V1_IP. HF_Lung_V1_IP contained lung sounds collected from seven inpatients receiving long-term mechanical ventilation support in a respiratory care ward or respiratory care center, while HF_Lung_V1 contained lung sounds obtained from 32 inpatients with adventitious sounds at Far Eastern Memorial Hospital [10]. The participants in both sources were Taiwanese and aged ≥ 20 years. Two devices were used to record the lung sounds: a commercial handheld electronic stethoscope, Littmann 3200, and a customized auscultation device, HF-Type-1, which supported multichannel continuous sound recording through attachable acoustic sensors.

The lung sounds were recorded at eight auscultation locations defined as L1 to L8. The lung sounds of the RCW/RCC inpatients were obtained with the Littmann 3200 device for 4–5 rounds and the HF-Type-1 device for 3–4 rounds, while the lung sounds of the FEMH inpatients were recorded using the Littmann 3200 device alone for 1–3 rounds. Two licensed respiratory therapists and one registered nurse labeled each lung sound file. The labelers used a self-developed software to label inhalations and exhalations, wheezes, stridor, rhonchi, and DASs. The labeled lung sounds were then used to develop and test a deep learning model to automatically detect adventitious sounds in lung sounds. The deep learning model achieved high sensitivity and specificity for detecting adventitious sounds in lung sounds.

The dataset contains training and test datasets with 9765 15-second audio files, 34,095 inhalation labels, 18,349 exhalation labels, 13,883 continuous adventitious sound labels (including 8,457 wheeze labels, 686 stridor labels, and 4,740 rhonchi labels) and 15,606 discontinuous adventitious sound (all are crackles) labels. The files were recorded by two devices, the Littmann 3200 and the HF_Type-1. The filenames of the truncated 15-second long audio files recorded by the Littmann 3200 start with "steth_" and those recorded by the HF_Type-1 start with "trunc_". The auscultation location and truncated order trail are also included in the filenames of the HF_Type-1 files. The dataset includes files from eight different auscultation locations. The labels are saved in text format and have the same beginning as the audio files but end with "_label". The main difference of this dataset compared to the ICBHI 2017 database is that it also provides labeled inhalations, exhalations, stridor, and rhonchi. However, the HF_Lung_V1 database did not include labels of disease diagnosis.

The limitations of the developed database for respiratory sound analysis include imbalanced numbers of inhalation and exhalation labels, which can affect the performance of the proposed models in exhalation detection. In addition, the models may have limitations in learning acoustic or texture features that can distinguish an inhalation from an exhalation. The event duration of all labels was smaller than that of the background signal duration, indicating foreground-background class imbalance. However, these models are suitable for respiratory rate estimation and apnea detection as long as appropriate inhalation detection is achieved.

Most of the sounds in the established database were not recorded during deep breathing, resulting in suboptimal signal quality. However, training models with nonoptimal data can increase their adaptability to real-world scenarios. The SNR may be reduced by noise, such as human voices, music, bedside monitors, and electrical noise generated by touching or moving the parts of acoustic sensors. This can lead to difficulties in

labeling and prediction tasks, and some noise types have features similar to those of adventitious sounds. The poor performance of the classification models in detecting certain respiratory sounds, such as crackles and wheezes, can be partly attributed to the noisy environment in which the lung sounds were recorded.

Additional limitation of the sound recordings in the established database is that the labeling was performed by only one labeler, which can lead to some noisy labels, including class and attribute noise. Deep learning models exhibit high robustness to noisy labels, but efforts are being made to establish better ground-truth labels.

Breathing generates both normal and abnormal respiratory sounds, which may overlap with each other during the same period, making it difficult for models to distinguish between different sounds. This can lead to false positives in detecting certain respiratory sounds, such as crackles and wheezes.

While the established database provides a useful resource for respiratory sound analysis, there are limitations to consider, including class imbalance, suboptimal signal quality, noise, and sound overlap.

3) Fraiwan, Fraiwan, Khassawneh and Ibnian dataset of lung sounds (2021): advantages and limitations

The electronic stethoscope model 3200 from 3M Littmann was used to capture lung sounds from different locations on the chest wall. The recorded sounds were then transmitted to a computer through a Bluetooth adapter that came with the stethoscope [11].

This dataset includes respiratory sounds from 112 subjects, out of which 35 are healthy and 77 are unhealthy. The age of the subjects ranges from 21 to 90, with a mean of 50.5 ± 19.4 , and includes 43 females and 69 males. Each subject has one recording, and the duration of each recording ranges from 5 to 30 seconds, enough to cover at least one respiratory cycle. The dataset includes the demographic information and the number of subjects with the corresponding health conditions, which are normal, asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), bronchiectasis (BRON), heart failure, lung fibrosis, and pleural effusion.

Additional descriptive information included is the type of filter used (B, D, or E), patient number, diagnosis, type of sound, location of measurement on the chest, subject's age, and subject's gender. The dataset includes three types of filters: Bell mode filtration, Diaphragm mode filtration, and Extended mode filtration. The chest zone is encoded as three ordered letters from the sets {A, P}, {L, R}, and {L, M, U} respectively. The sound type is encoded as Inspiratory, Expiratory, Wheezes, Crackles, N: Normal, or Crepitations. The gender is represented as a letter F for female or M for male.

The dataset includes an annotation file that contains anonymous demographic information, information about the specific location on the chest from where the recording was captured, and the meaning of the various letter symbols used to annotate the data. The original files imported from the stethoscope were also included in the set.

The dataset is unique compared to other relevant datasets as it contains one recording per subject, and the recordings are long enough to cover at least one respiratory cycle. Additionally, the dataset includes detailed demographic information, and the recordings are categorized based on the type of filter used, the location on the chest from where the recording was captured, and the type of sound.

Despite the potential benefits and usefulness of this dataset, there are also some limitations that need to be considered. Limited number of recordings is one. Although the dataset contains recordings from both healthy and unhealthy subjects, the number of recordings is limited, with only one recording per subject. This could limit the dataset's representativeness and the ability to draw generalizable conclusions.

6. Conclusion

In conclusion, lung auscultation plays a crucial role in diagnosing respiratory diseases and monitoring the progression of lung conditions. However, it requires significant expertise and training to accurately interpret lung sounds, and it is subject to inter-observer variability. The recent Covid 19 pandemic also showcased some of the problems such as shortage of personal and insufficient quality in remote lung auscultation cases. Therefore, the development of automatic lung auscultation systems based on sound classification datasets is of great importance.

The availability of large and correctly labeled sound classification datasets, such as those described in this article, is essential for the development of accurate and reliable automatic lung auscultation systems. The

datasets provide a diverse range of respiratory sounds from both healthy and unhealthy subjects, as well as demographic information and detailed annotations. This article recaps the contributions these datasets make, as well as discusses their current significant limitations and the implications these limitations have for future research.

The development of automatic lung auscultation systems has the potential to improve the accuracy and efficiency of respiratory disease diagnosis and monitoring. These systems could also enable healthcare providers to remotely monitor patients with respiratory conditions, reducing the need for frequent in-person visits and improving patient outcomes.

Furthermore, the use of automatic lung auscultation systems could help to address the shortage of respiratory specialists and the high cost of respiratory disease diagnosis and management. These systems could also be used in low-resource settings, where access to respiratory specialists and diagnostic equipment is limited.

In conclusion, the development of automatic lung auscultation systems based on sound classification datasets have the potential to revolutionize respiratory disease diagnosis and monitoring. This development, however, is contingent on the availability of large and correctly labeled datasets for the development of accurate and reliable systems.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Article Remote Auscultation of Heart and Lungs as an Acceptable Alternative to Legacy Measures in Quarantined COVID-19 Patients—Prospective Evaluation of 250 Examinations Or Haskel 1, Edward Itelman 1,2, Eyal Zilber 1,2, Galia Barkai 1,3 and Gad Segal 1,2,3,*
2. Maglogiannis I., Loukis E., Zafiroopoulos E., Stasis A. (2009). Support Vectors Machine-based identification of heart valve diseases using heart sounds *Comput Methods Programs Biomed.* 95 (1), pp.47-61
3. Fraiwan L., Hassanin O., Fraiwan M., Khassawneh B., Ibnian A.M., Alkhodari M. (2021). Automatic identification of respiratory diseases from stethoscopic lung sound signals using ensemble classifiers, *Biocybern. Biomed. Eng.* 41 (1), pp. 1–14.
4. Eko Core Stethoscope. Home page. Available at: <https://www.ekohealth.com/>. Accessed April 04, 2023)
5. Attia Z.I., Kapa S., Lopez-Jimenez F, et al. (2019). Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram *Nat Med*, 25 (1), pp. 70-74
6. Vasudevan R.S., Horiuchi Y., Torriani F.J., Cotter B., Maisel S.M., Dadwal S.S., Gaynes R., Maisel A.S. (2020). Persistent Value of the Stethoscope in the Age of COVID-19. *Am J Med.* Oct;133(10):1143-1150. doi: 10.1016/j.amjmed.2020.05.018. Epub 2020 Jun 19. PMID: 32569591; PMCID: PMC7303610.
7. Park D.E., Watson N.L., Focht C., et al. (2021). Digitally recorded and remotely classified lung auscultation compared with conventional stethoscope classifications among children aged 1–59 months enrolled in the Pneumonia Etiology Research for Child Health (PERCH) case–control study *BMJ Open Respiratory Research* 2022;9:e001144. doi: 10.1136/bmjresp-2021-001144
8. Renard Xaviero, Adhi Pramono, Bowyer Stuart, Rodriguez-Villegas Esther. (2017). Automatic adventitious respiratory sound analysis: A systematic review *PLoS One.* San Francisco, Vol. 12, Iss. 5, (May): e0177926. DOI:10.1371/journal.pone.0177926
9. Rocha B.M., et al. (2019). An open access database for the evaluation of respiratory sound classification algorithms. *Physiological Measurement.* 40 035001
10. Hsu F.S. Huang S.R., Huang C.W., Cheng Y.R., Chen C.C., Hsiao J., Chen C.W., Lai F. (2022). A Progressively Expanded Database for Automated Lung Sound Analysis: An Update. *Appl. Sci.* 12, 7623. <https://doi.org/10.3390/app12157623>
11. Fraiwan M., Fraiwan L., Khassawneh B., Ibnian A. (2021). A dataset of lung sounds recorded from the chest wall using an electronic stethoscope. *Mendeley Data*, V3, doi: 10.17632/jwyy9np4gv.3

(Received 15.03.2023)

ფილტვების დისტანციური აუსკულტაცია ციფრულ ეპოქაში: რესურსები, შეზღუდვები და შესაძლებლობები

მიხეილ კიტაევიჩი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

kitaevichm@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია ფილტვის დისტანციური აუსკულტაციის მნიშვნელობა ტელეჯანმრთელობის კონსულტაციების დროს რესპირატორული სისტემის შეფასებაში. ასევე ხაზგასმულია ციფრული ხელსაწყოების შეზღუდვები, მათ შორის სათანადო ტრენინგის საჭიროება, ინტერნეტთან დაკავშირება და ფონური ხმაური. სტატიაში ასევე ხაზგასმულია სასუნთქი ბგერების ავტომატური კლასიფიკაციის უპირატესობები მანქანური სწავლების ალგორითმების გამოყენებით, რომელსაც შეუძლია უზრუნველყოს ობიექტური და ზუსტი დიაგნოზი, შეამციროს სპეციალიზებული ტრენინგის საჭიროება და გააუმჯობესოს შედეგები. წარმოდგენილი და შედარებულია სამი უმსხვილესი ხელმისაწვდომი მონაცემთა ნაკრები. მონაცემთა ნაკრები ხელმისაწვდომია საკვლევო მიზნებისთვის და აქვს პოტენციური გააუმჯობესოს კლასიფიკაციის სისტემები, დიაგნოსტიკა და რესპირატორული დაავადებების მართვა. სტატია მთავრდება ამჟამად გამოყენებული მონაცემთა ნაკრების შეზღუდვების შეჯამებით და წარადგენს მათ სამომავლო სრულყოფისათვის განსახორციელ ნაბიჯებს.

(სტატია მიღებულია 15.03.2023)

ДИСТАНЦИОННАЯ АУСКУЛЬТАЦИЯ ЛЕГКИХ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ: РЕСУРСЫ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ

Китаевич М.

Грузинский Технический Университет

kitaevichm@gmail.com

Резюме

Рассматривается важность дистанционной аускультации легких в оценке состояния дыхательной системы во время телемедицинских консультаций. Также подчеркиваются ограничения цифровых инструментов, в том числе необходимость надлежащего обучения, подключения к Интернету и фонового шума. В статье также подчеркиваются преимущества автоматической классификации звуков дыхания с использованием алгоритмов машинного обучения, которые могут обеспечить объективную и точную диагностику, снизить потребность в специализированном обучении и улучшить результаты. Представлены и сравнены три самых больших доступных набора данных. Набор данных доступен для исследовательских целей и может улучшить системы классификации, диагностики и лечения респираторных заболеваний. Статья завершается кратким изложением ограничений используемых в настоящее время наборов данных и предлагает шаги, которые необходимо предпринять для их улучшения в будущем.

(Поступила 15.03.2023)

ASSEMBLING DATABASE OF RETINAL FUNDUS IMAGES INTENDED FOR THE CLASSIFICATION OF DIABETIC RETINOPATHY

Ghurtskaia Zviad, Labadze Aleksandre
Georgian Technical University
z.gurtskaia@gtu.ge, Labadze.aleq@gtu.ge

Summery

The loss of vision is a devastating and irreversible outcome that poses a serious threat to people all around the world. Therefore, the development of a computer-aided diagnosis system that can accurately identify retinal fundus diseases is an invaluable and highly beneficial tool for ophthalmologists. Timely detection, diagnosis, and appropriate treatment are critical for preventing vision loss. Neglecting proper eye care can lead to the development of multiple diseases affecting a single eye. A single retinal fundus image can reveal numerous ocular diseases and abnormalities, such as optic disc swelling, retinal hemorrhages, and vascular abnormalities. It is essential to diagnose and manage these diseases correctly to prevent vision loss and avoid irreversible damage to the eye. Our research team has recently developed a valuable asset for the field of ophthalmology – retinal fundus image dataset called Retinal Fundus Image Dataset GEO (RFiDGEO). With a vast collection of around 550 retinal fundus images, the dataset has been meticulously annotated by two eye specialists, making it a reliable and high-quality multiclass, multilabel dataset. These images were obtained from a well-known clinical facility in Georgia, which provides comprehensive eye care services to patients from all over the state. The RFiDGEO dataset is a valuable resource for researchers and developers interested in exploring the potential of artificial intelligence in the field of ophthalmology. It provides a diverse range of retinal fundus images, making it ideal for testing and developing robust computer-aided diagnosis tools. The dataset can enable the creation of advanced algorithms that can detect multiple diseases simultaneously, thus facilitating early diagnosis and treatment for patients.

Key Words: Diabetic Retinopathy. Artificial Intelligence. Retinal Fundus Image Dataset. Fundus Image Classification.

1. Introduction

Visual impairment is a major global health issue that affects a significant proportion of the world's population. According to the World Health Organization's World report on vision 2019, approximately 2.2 billion people worldwide suffer from visual impairment. Alarmingly, over a billion of these cases could have been prevented or treated if adequate measures were in place. However, the lack of access to high-quality prevention, treatment, and rehabilitation services is a significant challenge faced by the global community in addressing this issue. Early detection and diagnosis of ocular pathologies are critical in preventing visual impairment. However, the adoption of computer-aided diagnosis tools by ophthalmologists is limited due to the challenge of rare and sight-threatening pathologies, which are often overlooked. Such pathologies include central retinal artery occlusion and anterior ischemic optic neuropathy, which can lead to irreversible vision loss if not detected early. Age-related macular degeneration, cataracts, diabetic retinopathy, glaucoma, and uncorrected refractive errors are the most common causes of visual impairment. These diseases can result in partial or complete vision loss and significantly affect the quality of life. Detecting these conditions at an early stage is crucial for effective treatment and prevention of vision loss.

Computer-aided diagnosis is a powerful tool that can aid in the early detection and accurate diagnosis of ocular diseases. It can help ophthalmologists to make informed decisions about patient care and treatment plans. With the help of advanced technologies and medical imaging techniques, it is possible to improve the accuracy and reliability of computer-aided diagnosis systems, making them even more valuable in the fight against vision loss.

To address this challenge, a dataset of color fundus images has been collected over the past two decades, primarily focusing on diabetic retinopathy, glaucoma, and age-related macular degeneration, among other common pathologies. This dataset aims to develop methods for automatic ocular disease classification that includes classification of diabetic retinopathy stages. The goal is to bring together the medical image analysis community to work towards improving the diagnosis and management of these ocular diseases, ultimately preventing visual impairment and improving the quality of life for affected individuals.

2. Data collection

Retinal fundus images are an essential tool for ophthalmologists and medical professionals in diagnosing various eye diseases. These images consist of several key components, including the background, blood vessels, macula, and fovea. By analyzing specific areas of the retina, clinicians can identify signs of diseases, such as cotton-wool spots, which are often linked to medical conditions like diabetes mellitus, systemic hypertension, leukemia etc.[1].

However, detecting and diagnosing Glaucoma remains challenging, as it is a multifocal disease that affects the standard structure of the optic disc and the cup. As a result, identifying the progression of Glaucoma typically requires monitoring structural changes in the retinal layers and optic nerve area. It's crucial to diagnose Glaucoma early, as this disease can lead to permanent damage to the optic nerves and eventual blindness, often without noticeable symptoms. Therefore, regular eye exams and screenings are essential for maintaining healthy vision and catching any eye diseases early.

To create a robust dataset for ophthalmology research, researchers often collaborate with eye specialists, specifically ophthalmologists. The researchers may reach out to these specialists to collect retinal fundus images from subjects. In our case, two eye specialists have been involved in the data collection process to ensure the accuracy and validity of the images. Once the retinal fundus images are collected, they are stored and provided to the researchers for further analysis. However, before proceeding with data analysis, the collected information must be cleaned to remove any faulty images that may skew the results. In this step, the eye specialists play a crucial role in labeling and annotating the images, providing additional context and information that may be necessary for the research project. Given the importance of accuracy in this type of research, eye professionals hold a significant responsibility to provide precise and reliable information. To ensure the quality of the dataset, the labeled images are cross-verified to reduce any potential errors or inaccuracies.

Finally, the dataset is divided into training, validation, and testing sets for the researchers to use in their analysis. This approach allows the researchers to test and validate their algorithms and models, ensuring that they are effective in detecting and diagnosing eye diseases accurately. Through collaboration with eye specialists, researchers can create high-quality datasets that can improve the accuracy and efficiency of ophthalmology research. The process of creating a database is outlined in the following illustration Figure 1.

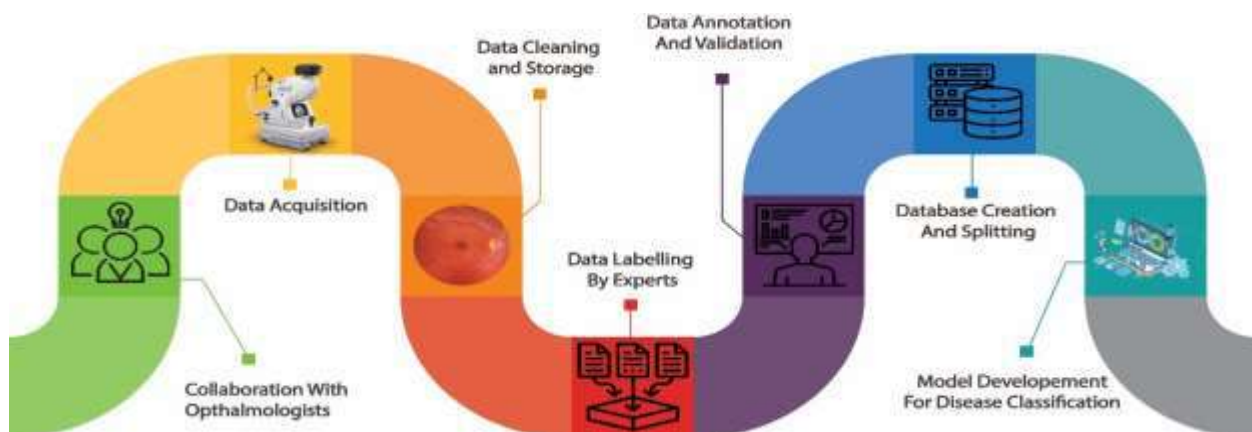


Fig.1. Process of creating dataset by taking consent from ophthalmologists to develop Diabetic Retinopathy classification system

The development of a computer-aided disease diagnosis system can be achieved through the use of traditional techniques or cutting-edge artificial intelligence (AI) methods. Although AI is a relatively new technology in the field of medical imaging, it has already demonstrated significant potential to improve the accuracy, productivity, and security of imaging solutions. In contrast to conventional imaging approaches that rely heavily on human input, AI provides a more automated and reliable method for evaluation and diagnosis of medical images, as evidenced by recent advancements in deep learning algorithms. These algorithms have demonstrated exceptional accuracy and consistency in automated medical image classification, often matching or surpassing the performance of human professionals [2]. Such breakthroughs in AI technology have the potential to revolutionize the field of medical imaging, enabling the development of more precise and efficient diagnostic tools and techniques that can ultimately improve patient outcomes and quality of care. The dataset specifications are outlined in the following Table 1.

Specifications of dataset

Tab.1

Specific subject field	Ophthalmology, Retinal fundus image classification
Type of acquired data	Images, CSV Files
How data was acquired	Topcon TRC-NW8
Data Format	Annotation of JPEG, PNG image files into CSV files
Experimental Factors	The majority of patients received mydriasis, which involved the application of a single drop of tropicamide at a concentration of 0.5%. However, for some subjects, a non-mydratic process was utilized.
Experimental Features	The fundus images were captured with position and orientation of the patient sitting upright with 40.7 mm working distance between lenses and examined eye using non-invasive fundus camera.

3. The design, materials, and methods used in the experiment

3.1. Data acquisition

The acquisition of high-quality images of the retina is essential for detecting retinopathy-causing conditions. The Topcon TRC-NW8, a camera developed by the TOPCON Corporation in Tokyo, Japan, was utilized for this purpose. The camera is equipped with advanced imaging technology that allows for a non-invasive and painless screening of the retina, making it a convenient tool for ophthalmologists. Despite the camera's advanced technology, the expertise of the operator remains a vital factor in capturing detailed and precise images. The operator's skills in positioning the camera and adjusting the focus, contrast, and lighting are crucial in detecting subtle changes in the retina, such as microaneurysms and hemorrhages. Capturing images with hidden features requires a high level of proficiency, and the ophthalmologist must be well-trained in using the camera to obtain accurate results. The Topcon TRC-NW8 camera is a powerful tool for retinal imaging that enables non-invasive and painless screenings while offering convenience and precision. However, the expertise of the operator is equally important in capturing high-resolution images with hidden features, making it crucial for the ophthalmologist to be highly trained in using the camera to detect and diagnose retinopathy.

3.2 Preparations required prior to taking samples

To capture a fundus image, the subjects were positioned in an upright sitting posture and underwent a process called mydriasis, which involves the dilation of the pupils. This was achieved by administering a single drop of tropicamide at a concentration of 0.5%, which effectively dilated the pupils. The process of mydriasis is essential in obtaining a clear and detailed image of the retina. Dilating the pupils allows for more light to enter the eye, resulting in a better view of the retina's structures, such as the optic disc, macula, and blood vessels. The use of tropicamide, a medication commonly used for this purpose, ensures a painless and safe procedure [3]. During the fundus image capture, the subjects were instructed to maintain an upright sitting position, which allows for a stable and consistent image. The ophthalmologist carefully positioned the camera to ensure that the image was focused on the desired area of the retina, and the results were recorded for further analysis.

In summary, mydriasis using tropicamide at a concentration of 0.5% is an effective and safe method for dilating the pupils to capture a detailed fundus image. Positioning the subject in an upright sitting posture during the procedure ensures consistent and stable results, and the image captured can provide valuable insights into the health of the retina.

3.3 Image Labelling and Annotation

Initially, each image underwent independent classification by two ophthalmologists. Some fundus images contained one or multiple labels to indicate the presence of specific conditions. If multiple conditions were detected from a single fundus image, multiple labels were assigned accordingly. To ensure accurate labeling, any discrepancies in diagnostic evaluations were carefully reviewed and verified by the ophthalmologists. The labels provided by the specialists were further elaborated to provide more information about the specific conditions identified in each image. This additional information was crucial in accurately analyzing the fundus images and understanding the extent of any detected abnormalities or diseases. The process of independent classification and subsequent verification by specialists helps to ensure the accuracy and reliability of the labeling process. The use of multiple labels for images with multiple diseases allows for a comprehensive understanding of the patient's condition, which is essential in determining an appropriate course of treatment. The labels offered by the specialists are further explained.

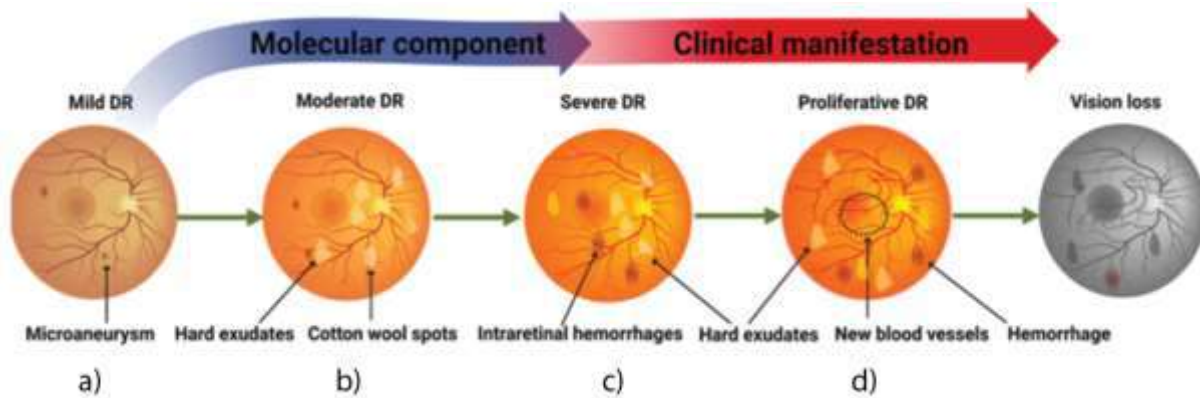


Fig.2. Stages of Diabetic Retinopathy

- **Normal retina:** The normal anatomical structure of the retina comprises two main parts that can be segmented using various algorithms. By applying these algorithms, the optic discs and blood vessels can be detected and distinguished for retinal image analysis [4]. A typical fundus image displays a clear view of the retina, and the retinal arteriolar lumen and venules run through the retinal layer, making them the primary components of the retina. Due to their prominent positioning, these components are easily visible and can be used for accurate retinal analysis. The ability to segment the optic discs and blood vessels in retinal images is essential in diagnosing and monitoring various ocular diseases. The segmented components can be further analyzed to provide valuable information about the condition of the eye. The visibility of the retinal arteriolar lumen and venules in normal fundus images is particularly helpful, as it provides a clear view of the blood vessels' structure and integrity.

- **Mild Non-Proliferative Diabetic retinopathy (NPDR)** figure 2. (a): The initial stage of diabetic retinopathy is characterized by the presence of microaneurysms, which are balloon-like swellings in specific areas of the retina's blood vessels. Although this stage seldom affects vision or necessitates treatment, it indicates that diabetes has already caused damage, increasing the risk of disease progression. During this phase, patients need to be educated about the potential consequences of diabetes and take steps to better manage their blood sugar and diet to reduce the risk of diabetic retinopathy advancement and vision loss. Healthcare providers, such as health systems, health risk assessment companies, and insurance payors, should ensure that patients receive regular testing for diabetic retinopathy to detect it as early as possible [5]. Screening tests conducted by healthcare professionals during in-home health evaluations or primary care visits are ideal ways

to detect diabetic retinopathy early, saving patients time and money. Detecting and treating diabetic retinopathy early is crucial in preventing its progression and preserving vision. Regular monitoring and early intervention are critical in managing the disease and reducing its impact on patients' lives. Educating patients on the importance of regular testing, managing blood sugar levels, and making lifestyle changes can improve their overall health and wellbeing. Ultimately, effective prevention and management strategies can reduce the burden of diabetic retinopathy on patients and the healthcare system.

- **Moderate NPDR** figure 2 (b): The subsequent stage of diabetic retinopathy is marked by the destruction of some blood vessels in the retina, leading to the seepage of blood and fluid into the retinal tissue. This fluid accumulation can result in vision loss [6]. During a retinal screening, the use of fundus photography, whether as part of an in-home assessment or at a healthcare institution, can provide patients with a prompt and precise evaluation. If necessary, referral to a specialist for additional evaluation and potential treatment may be required and recommended. Improved blood sugar control and further assessment are crucial in potentially enhancing and ultimately preserving the patient's vision.

Prompt intervention and management of diabetic retinopathy are critical in preventing further vision loss and preserving patients' quality of life. Regular screening and early detection are essential in preventing the disease's progression, and effective management can help patients avoid severe complications. Patients should be educated on the importance of regular screening, maintaining blood sugar levels, and seeking timely medical attention when symptoms arise. Ultimately, the timely diagnosis and management of diabetic retinopathy can significantly improve patients' visual outcomes and overall well-being.

- **Severe NPDR** figure 2 (c): When diabetes is not well-controlled, it can lead to further damage of the blood vessels in the retina, causing blockages and increased leakage of blood and fluid. As a consequence, vision can be severely impacted. At this stage, it is highly recommended to seek the expertise of an eye specialist without delay. The encouraging news is that with proper and timely treatment, lost vision can often be regained at least partially, if not fully [7].

- **Proliferative Diabetic Retinopathy** figure 2 (d): The final stage of Diabetic Retinopathy is known as Proliferative Diabetic Retinopathy, which is a highly threatening condition for one's vision [8]. At this point, the disease has already advanced significantly, causing severe damage to the eye's blood vessels and leading to worsened circulation within the eye. To cope with this, the retina grows new blood vessels, which are, unfortunately, abnormal and could lead to vision loss or even blindness. Due to the severity of this stage, patients must be referred immediately to a retina specialist for further examination and treatment. Early intervention could make a significant difference in preserving the patient's vision and quality of life.

Each fundus image in the dataset is examined and labeled by the ophthalmologists. However, some fundus images may exhibit multiple diseases, leading to the creation of a multi-label dataset that is imbalanced in nature. This means that certain diseases may be overrepresented, while others may be underrepresented. The imbalanced nature of the dataset can pose a challenge in training accurate machine learning models that can accurately classify each disease present in the fundus images. Specialized techniques, such as data augmentation and class weighting, can be employed to mitigate the imbalanced nature of the dataset and improve the performance of the classification models.

4. Conclusion

We procured the dataset for our study from a highly reputable ophthalmic research facility renowned for its cutting-edge expertise in the analysis of retinal fundus images for the diagnosis of eye conditions and the provision of the most effective treatment options. Upon thorough examination, we noted that the dataset contained a multitude of widely prevalent eye diseases. Interestingly, a significant number of the fundus images displayed evidence of more than one ailment or anomaly, presenting a formidable challenge for the research community in accurately classifying this multi-label dataset. In view of this, the development of sophisticated computer systems integrating AI-based disease detection techniques could prove to be invaluable in aiding

ophthalmologists in their diagnostic endeavors, potentially leading to improved patient outcomes and enhanced healthcare delivery.

ლიტერატურა - References – Литература:

1. Brown G.C., Brown M.M., Hiller T., Fischer D., Benson W.E., Magargal L.E. (1985). Cotton-wool spots. *Retina*. 5, 206–214
2. Catania C.A., Bromberg F., Garino C.G. (2012). An autonomous labeling approach to support vector machines algorithms for network traffic anomaly detection. *Expert Syst. Appl.* 39, 1822–1829
3. Jelinek H., Cree M.J. (2009). *Automated Image Detection of Retinal Pathology*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA
4. Paulus J., Meier J., Bock R., Hornegger J., Michelson G. (2010). Automated quality assessment of retinal fundus photos. *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.* 5, 557–564
5. Wang W., Lo A.C. (2018). Diabetic retinopathy: Pathophysiology and treatments. *Int. J. Mol. Sci.* 19, 1816.
6. Kempen J.H., O’Colmain B.J., Leske M.C., Haffner S.M., Klein R., Moss S.E., Taylor H.R., Hamman R.F. (2004). The prevalence of diabetic retinopathy among adults in the United States. *Arch. Ophthalmol.* 122, 552–563.
7. Panchal S., Kokare M. (2022). A Comprehensive Survey on the Detection of Diabetic Retinopathy. *IETE J. Res.*
8. Modi P., Arsiwalla T. (2022). Hypertensive retinopathy. In *StatPearls* [Internet]; StatPearls Publishing: St. Petersburg, FL, USA.

(Received 25.04.2023)

**ბადურის ფსკერის გამოსახულებების მონაცემთა ბაზის შექმნა
დიაბეტური რეტინოპათიის კლასიფიცირებისათვის**

ზვიად ლურჯკაია, ალექსანდრე ლაბაძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
Labadze.aleq@gtu.ge

რეზიუმე

სხვადასხვა დაავადებების გამო მხედველობის დაკარგვა არის შეუქცევადი პროცესი, რომელიც ადამიანებს მთელს მსოფლიოში სერიოზულ საფრთხეს უქმნის. აქედან გამომდინარე, კომპიუტერული დიაგნოსტიკური სისტემის შემუშავება, რომელსაც შეუძლია ზუსტად განსაზღვროს ბადურის სხვადასხვა დაავადებები, ფასდაუდებელი და უაღრესად სასარგებლო ინსტრუმენტია ოფთალმოლოგებისათვის. დროული გამოვლენა, დიაგნოსტიკა და შესაბამისი მკურნალობა გადამწყვეტია მხედველობის დაკარგვის თავიდან ასაცილებლად. ბადურის ფსკერის ერთი სურათით ოფთალმოლოგს შეუძლია სხვადასხვა ტიპის დაავადებების დიაგნოსტიკა, როგორცაა ბადურის სისხლჩაქცევები, ვასკულარული სისტემის ანომალიები. მხედველობის დაკარგვისა და თვალის შეუქცევადი დაზიანებების თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია ამ დაავადებების სწორი დიაგნოსტიკა და მართვა. ჩვენი კვლევის ფარგლებში შევიმუშავეთ ბადურის ფსკერის გამოსახულებების მონაცემთა ბაზა სახელად - Retinal Fundus Image Dataset Geo (RFiDGEO). ბადურის ფსკერის დაახლოებით 550 გამოსახულებიანი მონაცემთა

ბაზა ზედმიწევნით დაამუშვა ორმა ოფთალმოლოგმა, რაც მას სანდო მონაცემთა ბაზად აქცევს. აღნიშნული სურათები აღებულია საქართველოში ერთ-ერთი წამყვანი ოფთალმოლოგიური კლინიკური დაწესებულებიდან, რომელიც აღჭურვილია თანამედროვე სადიაგნოსტიკო სისტემებით. RFiDGEO მონაცემთა ბაზა არის ღირებული რესურსი მკვლევარებისა და დეველოპერებისათვის, რომლებიც დაინტერესებულნი არიან გამოიკვლიონ ხელოვნური ინტელექტის პოტენციური ოფთალმოლოგიურ სფეროში. არსებული მონაცემთა ბაზა საშუალებას გვაძლევს გამოვავლინოთ დიაბეტური რეტინოპათიის სხვადასხვა სტადია, რაც ხელს შეუწყობს პაციენტების ადრეულ დიაგნოზსა და მკურნალობას.

(სტატია მიღებულია 25.04.2023)

КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕПЕНЕЙ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Гурцкая З., Лабадзе. А.

Грузинский технический университет

Labadze.aleq@gtu.ge

Резюме

Потеря зрения — разрушительный и необратимый исход, представляющий серьезную угрозу для людей во всем мире. Таким образом, разработка системы компьютерной диагностики, которая может точно идентифицировать заболевания глазного дна сетчатки, является бесценным и очень полезным инструментом для офтальмологов. Своевременное обнаружение, диагностика и соответствующее лечение имеют решающее значение для предотвращения потери зрения. Пренебрежение надлежащим уходом за глазами может привести к развитию нескольких заболеваний, поражающих один глаз. Одно изображение глазного дна сетчатки может выявить многочисленные глазные заболевания и аномалии, такие как отек диска зрительного нерва, кровоизлияния в сетчатку и сосудистые аномалии. Очень важно правильно диагностировать и лечить эти заболевания, чтобы предотвратить потерю зрения и избежать необратимого повреждения глаза. Наша исследовательская группа недавно разработала ценный ресурс для области офтальмологии — набор данных изображений глазного дна сетчатки под названием Retinal Fundus Image Dataset GEO (RFiDGEO). Набор данных, содержащий около 550 изображений глазного дна сетчатки, был тщательно аннотирован двумя специалистами-офтальмологами, что делает его надежным и высококачественным многоклассовым набором данных с несколькими метками. Эти изображения были получены из известного клинического учреждения в Джорджии, которое предоставляет комплексные офтальмологические услуги пациентам со всего штата. Набор данных RFiDGEO — ценный ресурс для исследователей и разработчиков, заинтересованных в изучении потенциала искусственного интеллекта в области офтальмологии. Он обеспечивает широкий спектр изображений глазного дна сетчатки, что делает его идеальным для тестирования и разработки надежных инструментов компьютерной диагностики. Набор данных может позволить создавать передовые алгоритмы, которые могут одновременно выявлять несколько заболеваний, что облегчает раннюю диагностику и лечение пациентов.

(Поступила 25.04.2023)

დიაბეტური რეტინოპათიის სტადიების კლასიფიცირება ღრმა სწავლების მეთოდების კომბინირებული ალგორითმების გამოყენებით

ალექსანდრე ლაბაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

Labadze.aleq@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია დიაბეტური რეტინოპათიის დიაგნოსტიკის ავტომატური სისტემის შემუშავების საკითხები, რასაც შეუძლია დაეხმაროს შაქრიანი დიაბეტის მქონე პირებს შესაბამისი სიმპტომების ადრეულ ეტაპზე იდენტიფიცირებაში. კვლევა ასევე მოიცავს ბადურის გამოსახულებების ხუთ სტადიად დაყოფას: დიაბეტური რეტინოპათიის გარეშე, სუსტი არაპროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათია, საშუალო არაპროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათია, მწვავე არაპროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათია და პროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათია. ეს ხელს შეგვიწყობს მონიტორინგისათვის საჭირო საკვანძო დინამიური მახასიათებლების დადგენაში, როგორცაა: სისხლჩაქცევები, დაზიანებები და სისხლძარღვის სიმკვრივის ცვლილებები. ხელოვნური ინტელექტის, კერძოდ, ღრმა სწავლების ალგორითმები საკმაოდ ხშირად გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის კლასიფიკაციის ამოცანების შესასრულებლად. მიუხედავად ამისა, ამ მეთოდების უმეტესობა დაბალეფექტურია რეტინოპათიის ეტაპების, განსაკუთრებით, ადრეული სტადიის დიაგნოსტიკისათვის. ამ კვლევაში განხილული ალგორითმი იყენებს გამოსახულების დამუშავების გამდიდრებულ ტექნიკას, ავტომატური ჰიპერპარამეტრების რეგულირებასა და ნერვული ქსელის დასწავლის სტრატეგიებს, რათა უფრო მეტი აქცენტი გაკეთდეს რეტინოპათიისათვის დამახასიათებელი ნიშნების იდენტიფიცირებასა და მაღალი ალბათობით პროგნოზირებაზე.

საკვანძო სიტყვები: ხელოვნური ინტელექტი, ღრმა სწავლება, მანქანური სწავლება, პროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათია, ნეირონული ქსელები

1. შესავალი

დიაბეტური რეტინოპათია არის შაქრიანი დიაბეტის უკიდურესი გართულებით გამოწვეული დაავადება, რომელიც, დღესდღეობით, სიბრძნის ერთ-ერთი მთავარი მიზეზია. დიაბეტი არის დაავადება, რომელიც გამოწვეულია პანკრეასის ფუნქციური დარღვევით, მსგავსი ფუნქციური დარღვევა იწვევს ხარგრძლივ ქრონიკულ დაავადებას, როგორცაა, მაგალითად, რეტინოპათია. დიაბეტი, თავის მხრივ, გავლენას ახდენს ადამიანის სისხლძარღვებზე, მხედველობაზე, თირკმელებსა და ძვალსახსროვან სისტემაზე. არსებული სტატისტიკური კვლევების მიხედვით, მომავალი დეკადის განმავლობაში, დიაბეტური რეტინოპათიის განვითარების რისკის წინაშე დაახლოებით 191 მილიონი ადამიანი დადგება.

დიაბეტური რეტინოპათია (დრ) გამოწვეულია ხანგრძლივი, ქრონიკული დიაბეტის გართულებების შედეგად, იგი გავლენას ახდენს მხედველობის გაუარესებაზე. ის იწვევს თვალში არსებული ვენებისა და ბადურის დაზიანებას, რამაც შეიძლება უარყოფითი გავლენა მოახდინოს მხედველობაზე. თუ დაავადება ადრეულ ეტაპზე არ დადგინდა, შეიძლება ამან მხედველობის სრული ან ნაწილობრივი დაკარგვა გამოიწვიოს. ანომალიების თავისებურებათა ზომის სიმცირის გამო, ბადურის გამოსახულების გამოყენებით, რეტინოპათიის ადრეული სტადიის დიაგნოსტიკა საკმაოდ შრომატევადია და მაღალი კვალიფიკაციის მქონე კადრების ჩართულობას მოითხოვს.

დროული მკურნალობის შემთხვევაში, მხედველობის დაკარგვა შეიძლება შეჩერდეს გარკვეულ ეტაპამდე. აქედან გამომდინარე, აუცილებელია დიაბეტური რეტინოპათიის საწყის ეტაპზე გამოკვლევა, რაც მხოლოდ ერთ საათს საჭიროებს. ამ ეტაპზე მიზანშეწონილია რეტინოპათიის კლასიფიკაცია და დაავადების განვითარების ეტაპის დაფიქსირება. საწყის ეტაპზე პაციენტს შეიძლება საერთოდ არ ჰქონდეს სიმპტომები, მაგრამ დაავადების განვითარებასთან ერთად შეიძლება გამოვლინდეს თვალში სისხლის ჩაქცევის შემთხვევებიც. დიაბეტური რეტინოპათიის ძირითადი ნიშანია მიკრო ანევრიზმა, რის შემდეგაც ჩნდება სისხლდენა, მას უწოდებენ პათოლოგიურ ნიშანს, რომელიც შეგვიძლია დაავაფიქსიროთ სამედიცინო გამოსახულების საშუალებით [1].

ამ კვლევის უპირველესი მოტივაცია არის ღრმა სწავლების თანამედროვე ალგორითმებზე დაფუძნებული პროგრამული უზრუნველყოფის შემუშავება, საჭირო ალგორითმების იდენტიფიცირება, რაც დაეხმარება ქრონიკული დიაბეტის მქონე ადამიანებს დიაბეტური რეტინოპათიის ადრეულ სტადიაზე იდენტიფიცირებაში. ამ უკანასკნელმა მნიშვნელოვნად შეძლება შეამციროს დიაბეტური რეტინოპათიის გართულების რისკები.

წინამდებარე კვლევაში წარმოდგენილია ეფექტური ალგორითმი რეტინოპათიის გამოვლენისა და ხუთსაფეხურიანი იდენტიფიკაციისთვის. მიუხედავად იმისა, რომ ამ საკითხთან დაკავშირებულ კვლევებში ბადურის სისხლძარღვების მდგომარეობაზე დიდი აქცენტი არ კეთდება, შემუშავებული მიდგომა უფრო მეტ მნიშვნელობას ანიჭებს სისხლძარღვების პათოლოგიების მარკირებას და განიხილავს მას, როგორც მნიშვნელოვან მახასიათებელს დიაბეტური რეტინოპათიის დიაგნოსტიკისათვის.

დიაბეტური რეტინოპათიის კლასიფიკაცია :

- არ არის დიაბეტური რეტინოპათია (დრ): ამ ეტაპზე რეტინოპათიისათვის დამახასიათებელი არცერთი ნიშანი არ შეიმჩნევა (სურ.1-ა);
- სუსტი, არაპროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათია არის დრ-ის ადრეული სტადია, რომლის დროსაც ბადურის ფსკერზე შეიმჩნევა გაძლიერებული სისხლძარღვოვანი ფონი;
- საშუალო არაპროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათია არის დრ-ის სტადია, რომლის დროსაც შეიმჩნევა მიკრო ანევრიზმები. დაავადების პროგრესირებასთან ერთად, სისხლძარღვების დეფორმაციების გამო, მცირეა თვალის სისხლით მომარაგება. ამ სტადიას ახასიათებს ძალზედ მცირე ზომის წეტილოვანი დაზიანებები, რომელთა შემჩნევაც დიაგნოსტიკისას საკმაოდ რთულია, რაც ნაჩვენებია სურ.1 გ)-ზე. დაავადების ამ ეტაპზე პაციენტისათვის მხედველობის დაზიანება შესამჩნევი არ არის, თუმცა მომავალში მხედველობის პრობლემების განვითარების უფრო მაღალი რისკი არსებობს. თუ დაავადება გამოვლინდება ამ ეტაპზე, მედიკამენტოზური მკურნალობით შესაძლებელია დაავადების პროგრესირების შეჩერება;
- მწვავე არაპროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათიის დროს ბადურის ფსკერზე შეინიშნება სისხლჩაქცევები და მიკროვასკულარული დაზიანებები, დრ-ის ამ სტადიაზე პაციენტი უკვე გრძნობს მხედველობის გაუარესებას;
- პროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათია არის დრ-ის სწრაფად პროგრესირებადი სტადია, როდესაც ბადურის სისხლძარღვები იწვევს მინისებრ სხეულში არსებული ახლადწარმოქმნილი სისხლძარღვების პროლიფერაციას. ამ ეტაპზე სისხლძარღვის ანევრიზმები და გაჭონვები უფრო სწრაფად ვრცელდება. სურ. 1 ე)-ზე ლოკალიზებული რეგიონის შიგნით გამოსახული მოყვითალო ლაქები გვიჩვენებს სისხლჩაქცევების მაგალითებს.



სურ.1. დიაბეტური რეტინოპათიის კლასიფიკაცია: ა) ნორმალური ბადურა, ბ) სუსტი არაპროლიფერაციული დრ გ) საშუალო არაპროლიფერაციული დრ დ) მწვავე არაპროლიფერაციული დრ ე) პროლიფერაციული დიაბეტური რეტინოპათია

დრ-ის თითოეულ სტადიას აქვს თავისი კონკრეტული მახასიათებელი და მრავალი თვისობრივი ნიშანი, რომელთა გათვალისწინებაც ზოგიერთ შემთხვევაში ექიმებისათვის ძნელია, რაც ზრდის არასწორი დიაგნოზის დასმის შანსებს. ამ პრობლემამ გამოიწვია დრ-ის დიაგნოსტიკის ავტომატიზებული სისტემის შექმნის აუცილებლობა. ბოლო წლებში, სამეცნიერო საზოგადოებისათვის კვლევის ძირითად საკითხებს წარმოადგენდა ობიექტის მარკირება და კლასიფიკაციის ამოცანების გადაწყვეტა მანქანური სწავლებისა და სხვა პროცედურების გამოყენებით. განსაკუთრებით აქტიურად გამოიყენებოდა ნეირონული ქსელების მეთოდი სხვადასხვა მოდელების შესაქმნელად, როგორცაა, კომპიუტერული ხედვის, მეტყველების ამოცნობის, ბუნებრივი ენის დამუშავების ამოცანების გადაჭრა.

ამ კვლევაში წარმოდგენილია ალგორითმი, რომელიც მოიცავს დრ-ის მონაცემების მომზადებას, ამოცნობასა და კლასიფიკაციას ბადურის სურათებზე დაყრდნობით. გამოსახულების კლასიფიკაციაში ღრმა სწავლების ტექნიკის ჩართვის მიზანია ისეთი ეფექტური ალგორითმის შემუშავება, რომელიც ჩაანაცვლებს ექიმის მიერ დაკვირვებით კლასიფიკაციის სისტემას.

გლობალური პრობლემა, რომელიც ასოცირდება დიაბეტური რეტინოპათიის დიაგნოსტიკასთან, არის მაღალკვალიფიციური ოფთალმოლოგი სპეციალისტებისა და დაავადებული პაციენტების პროპორციული თანაფარდობა, მაგალითად, ჩინეთში ერთი ოფთალმოლოგი მოდის 3000 დიაბეტიან პაციენტზე. ამ პრობლემის დასაძლევად შეიქმნა რამდენიმე კომპიუტერული დიაგნოსტიკის საშუალება, რომელიც, ძირითადად, დაფუძნებულია ღრმა სწავლების მეთოდებზე და დრ-ის სტადიების დასადგენად ბადურის გამოსახულებებს იყენებს. მიუხედავად ამისა, ჯერ კიდევ რჩება გარკვეული პრობლემები, რომლებიც დაკავშირებულია ავტომატიზებული დრ-ის კლასიფიკაციის კლინიკურ პრაქტიკაში დანერგვასთან. მნიშვნელოვანი ფაქტორია მოდელის არამდგრადობა, რაც გამოწვეულია იმით, რომ გამოქვეყნებული მოდელების უმეტესობა იყენებს არადაბალანსებულ მონაცემთა ბაზებს. ისეთი მონაცემთა ბაზების გამოყენება, რომელშიც ნიმუშების 70%-ზე მეტი ჯანსაღი ბადურის გამოსახულებაა და მხოლოდ 3% მძიმე დრ, მიღებულ შედეგებსა და სანდოობაზე უარყოფითად აისახება.

2. ლიტერატურის მიმოხილვა

ამჟამინდელი მდგომარეობით, ღრმა სწავლების მეთოდებზე დამყარებული დიაბეტური რეტინოპათიის დიაგნოსტიკის მოდელები, რომლებიც იყენებს ბადურის გამოსახულებებს, 2016-დან 2022 წლამდე პერიოდში, 30-ზე მეტ გამოქვეყნებულ პუბლიკაციაში გვხვდება [4]. ყველა ამ ნამუშევრიდან მხოლოდ 17-მა გამოიყენა საჯარო მონაცემთა ბაზები, როგორცაა EyePACS, SIDRP, SAMS და SPPH, Messidor, Messidor-2 და Kaggle მონაცემთა ბაზები. ამათგან ზოგიერთი კვლევა ფოკუსირებულია მრავალკლასიან კლასიფიკაციაზე [5,6], რასაც ასევე მოიხსენიებენ, როგორც დრ სტადიის კლასიფიკაციას.

კვლევათა მცირე ნაწილი ფოკუსირებულია მხოლოდ ბინარულ კლასიფიკაციაზე, რათა გაზარდონ დიაბეტური რეტინოპათიის აღმოჩენის ეფექტურობა ადრეულ სტადიაზე [7, 8]. [9] კვლევაში გამოყენებულია VGG16 ნეირონული ქსელის დატრენინგების მოდელი ბინარული, ჯვარედინი ენთროპიის ფუნქციით EyePACS მონაცემთა ბაზების ანალიზისათვის, რომელიც შედგება 35126 ბადურის გამოსახულებისაგან. მათ ასევე ჩაატარეს ორი ექსპერიმენტი VGG16-ის სწორხაზოვან SVM-თან (Support Vector Machine) და Softmax ფუნქციით, რითაც შეძლეს მიეღოთ საკმაოდ მაღალი მგრძობელობა: 0,93 და 0,85.

ასევე უნდა აღინიშნოს ბოლოდროინდელი ნამუშევრები, რომლებიც არ ფიგურირებს ციტირებულ მიმოხილვებში. [10] - ში ღრმა ნეირონულ ქსელებზე დაფუძნებული მიდგომა იქნა გამოყენებული სხვადასხვა მონაცემთა ბაზების დასამუშავებლად, როგორცაა Messidor, Kaggle 2015, IDRID, DDR და DIARETDB0. დრ-ის კლასიფიკაციისათვის ჩატარებული ექსპერიმენტებით მათ მიიღეს მგრძობელობა 0,912 და 0,936. [11] - ში STRAE მონაცემთა ბაზები, რომელიც შედგება 60 000 ბადურის გამოსახულებისაგან, დაამუშავეს WP-CNN ნეირონული ქსელების ბინარული ალგორითმით, შედეგად მიიღეს სიზუსტე 0,9084 და 0,934.

ავტორებმა [12]-ში გამოიყენეს კონვოლუციური ნეირონული ქსელების მეთოდი თვალის დაავადების 8 სხვადასხვა ტიპის გამოსავლენად და მიაღწიეს სიზუსტეს 80,5% და Kappa შეფასების ქულას 31%. [8] - ში ავტორებმა წარმოადგინეს დიაბეტური რეტინოპათიის გამოვლენის მეთოდი ზედაპირული კონვოლუციური ნეირონული ქსელების მეთოდის გამოყენებით, შედეგად, 35000-იანი გამოსახულების ბაზის დამუშავებისას მიიღეს 85%-იანი სიზუსტე. [13]-ში წარმოდგენილია დაბალი კომპლექსურობის კონვოლუციური ნეირონული ქსელების მეთოდი, რომელიც დატრენინგებული იყო 768 ბადურის გამოსახულებით, რითაც მიიღეს 88,4%-იანი სიზუსტე.

ლიტერატურის მიმოხილვიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ კონვოლუციური ნეირონული ქსელების გამოყენება წამყვანი მიმართულებაა დიაბეტური რეტინოპათიის დიაგნოსტიკის ალგორითმების შესაქმნელად. ჩვენი კვლევის მიზანია კონვოლუციური ნეირონული ქსელებისა და ბიოლოგიური ფენომენის ერთმანეთთან დაკავშირება, რაც საშუალებას მოგვცემს უფრო ეფექტურად ვიპოვოთ დრ-ის მარკერები ბადურის გამოსახულებაზე და მაღლი სიზუსტით მოვახდინოთ დაავადების კლასიფიკაცია.

3. მეთოდი

ამ თავში წარმოგიდგენთ ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევის დეტალებს. პირველ რიგში, გამოყენებულ მონაცემთა ბაზებს, შემდეგ წინასწარ დამუშავებულ ალგორითმებს და ბოლოს - ღრმა სწავლების ნიმუშებს დიაბეტური რეტინოპათიის სტადიების კლასიფიკაციისათვის.

3.1 დიაბეტური რეტინოპათიის მონაცემთა ბაზები

საჯაროდ ხელმისაწვდომი მონაცემთა ბაზების უმეტესობა შეიცავს 2000-ზე ნაკლებ ბადურის გამოსახულებას, მაგალითად, ინდური დიაბეტური რეტინოპათიის გამოსახულებების მონაცემთა ბაზა (IDRID) [14], 516 გამოსახულებით, ან Messidor 2 [15], 1748 გამოსახულებით. Kaggle APTOS [16] მონაცემთა ბაზა შეიცავს 5590 სურათს (3662 ნიმუში ტრენინგისათვის და 1928 ნიმუში მოდელის ტესტირებისათვის). Kaggle EyePACS არის ყველაზე დიდი დრ-ის მონაცემთა ბაზა 88702 გამოსახულებით (35126 ნიმუში ტრენინგისათვის და 53576 ნიმუში ტესტირებისათვის) კლასიფიცირებული დრ-ის 5 სტადიისათვის. ეს მონაცემთა ბაზა შედგენილია მხოლოდ ერთი ოფთალმოლოგის დასკვნების საფუძველზე, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ცდომილების ზრდა. იგი შედგება დიდი რაოდენობით გამოსახულებებისაგან, რომლებიც მიღებულია სხვადასხვა ვიზუალიზაციის პირობებში პირველადი ჯანდაცვის მრავალ ობიექტზე მთელი კალიფორნიის მასშტაბით [17].

DDR მონაცემთა ბაზა არის დრ-ის შეფასებისათვის გამოყენებადი სიდიდით მეორე მონაცემთა ბაზა, რომელიც შედგება 13673 გამოსახულებისაგან, რომელთაგან 6835 გამოსახულება ტრენინგისთვის გამოიყენება, 2733 ვალიდაციისთვის და 4105-ტესტირებისათვის. ბადურის გამოსახულებები შეგროვდა 2016-2018 წლებში ჩინეთის 147 საავადმყოფოში და შვიდი ოფთალმოლოგის მიერ არის ანოტირებული [18].

დრ-ის ამოცნობის ავტომატიზებული სისტემის ეფექტურობა დამოკიდებულია ბადურის გამოსახულებების დიდ რაოდენობაზე, რომლებიც კატეგორიზებული იქნება კვალიფიციური ოფთალმოლოგების ჯგუფის მიერ. გამოსახულებების მცირე რაოდენობა არაა საკმარისი ღრმა სწავლების არქიტექტურის სრულფასოვნად მოსამზადებლად. ღრმა სწავლების მეთოდის გამოყენებისას გასათვალისწინებელია კიდევ ერთ ფაქტორი, ტრენინგისა და ტესტირებისათვის გამოყენებული მონაცემების დისბალანსი. მაგალითად, Kaggle EyePACS მონაცემთა ბაზაში ნიმუშების 73%-ზე მეტი ანოტირდება როგორც ნორმალური, მაშინ, როცა მძიმე ან პროლიფერაციული დრ-ის ნიმუშები მხოლოდ 3%-ზე ნაკლებია.

ამ პრობლემის დასაძლევად, ჩვენს ექსპერიმენტში დავაბალანსეთ დრ-ის კლასები იმავე კლასის შემთხვევითი ნიმუშების გამოყენებით EyePACS, APTOS და IDRID მონაცემთა ბაზებიდან, რითაც მივიღეთ შედარებით დაბალანსებული მონაცემთა ბაზა, სულ 31330 ნიმუშით. ცხრილი 1 გვიჩვენებს ტრენინგის, ვალიდაციისა და ტესტირების ნიმუშების განაწილებას. რამდენიმე მონაცემთა ბაზიდან შემთხვევითობის პრინციპით აღებული მონაცემები, რომლებიც შეგროვდა სხვადასხვა მოწყობილობის, გეოგრაფიული მდებარეობისა და ოფთალმოლოგების ანოტაციების საფუძველზე, საშუალებას გვაძლევს ჩვენს მოდელში განვაზოგადოთ მიღებული მონაცემები, რაც, თავის მხრივ, მეტ სტაბილურობას შექმნის ჩვენს მიერ შექმნილ მოდელს. მხოლოდ ერთი დაუბალანსებელი მონაცემთა ბაზის გამოყენება ზედმეტად ამარტივებს იდენტიფიკაციის პროცესს, რაც არაპრაქტიკულს ხდის მის გამოყენებას დრ-ის კლასიფიკაციისათვის.

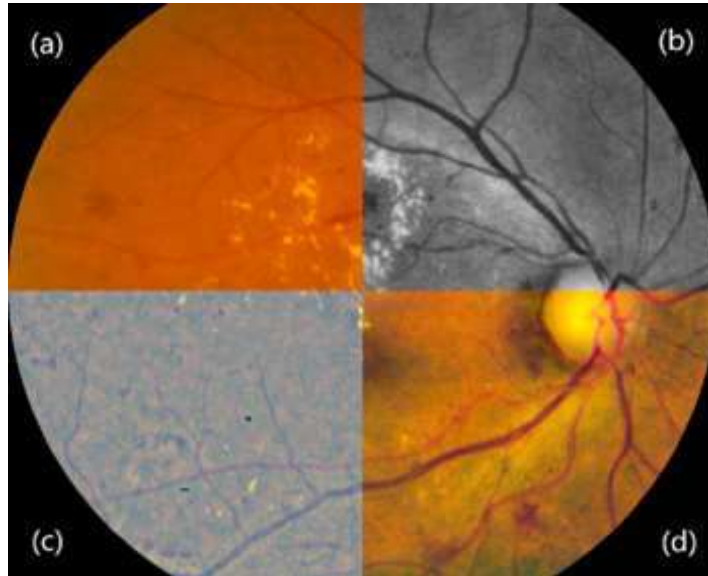
ნიმუშების რაოდენობის განაწილება თითოეულ კლასში, ტრენინგის ვალიდაციისა და ტესტირების მიხედვით

ცხრ.1

დრ კლასი	ტრენინგი	ვალიდაცია	ტესტი	ჯამი	განაწილება
კლასი 0	3133	1253	1880	6266	20%
კლასი 1	3133	1253	1880	6266	20%
კლასი 2	3133	1253	1880	6266	20%
კლასი 3	3133	1253	1880	6266	20%
კლასი 4	3133	1253	1880	6266	20%
ჯამი	15665	6265	9400	31330	

3.2. გამოსახულების დამუშავება

ვინაიდან გამოყენებული დრ-ის მონაცემთა ბაზები შედგენილია სხვადასხვა გეოგრაფიულ ლოკაციაზე, სხვადასხვა აღჭურვილობით, ისინი შეიძლება შეიცავდეს სურათებს, რომლებიც განსხვავდება გარჩევადობისა და რეზოლუციის მიხედვით. სურათები ასევე შეიძლება შეიცავდეს არაინფორმაციულ სივრცეებს, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს გარკვეული ხარვეზები ტრენინგისა და ტესტირების პროცესებში.



სურ. 2. ბადურის წინასწარ დამუშავებული მოზაიკური გამოსახულება:
(a) ორიგინალი სურათი, (b) კონტრასტული ჰისტოგრამული გათანაბრება (CLAHE),
(c) ლოკალური საშუალო ფერის გამოკლება (d) CLAHE გამოყენება თითოეულ RGB არხზე

გამოსახულების წინასწარი დამუშავება აუცილებელი ნაბიჯია გამოსახულების მახასიათებლების გაუმჯობესებისა და ჰომოგენური მონაცემთა ბაზის მისაღებად. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ გამოსახულების რეზოლუცია ასევე ადაპტირებულია ყოველი ღრმა სწავლების არქიტექტურის მიხედვით, მაგალითად, ResNet-ისთვის 224x224 და 299x299 Inception არქიტექტურისათვის.

ზოგიერთ გამოქვეყნებულ პუბლიკაციაში, სისხლძარღვებში მაღალი კონტრასტისა და დაზიანებების მარკირების გამო, მხოლოდ გამოსახულების მწვანე არხი იქნა ამოღებული [18]. თუმცა, ეს მიდგომა კარგავს ისეთ საკვანძო მარკერს, როგორცაა ფერი. გამოსახულების დამუშავებისას კონტრასტის გაძლიერება არის საკმაოდ გავრცელებული მიდგომა, რომელიც გამოიყენება გამოსახულების ისეთი მახასიათებლების წარმოსაჩენად, როგორცაა სისხლძარღვები ან ბადურის დაზიანება. აქედან გამომდინარე, ჩვენს კვლევაში RGB ყველა არხზე გამოვიყენეთ კონტრასტის შეზღუდული ადაპტიური ჰისტოგრამის გათანაბრების მეთოდი (CLAHE). სურათი 2 გვიჩვენებს თითოეული მეთოდის შედეგს.

3.3 კომბინირებული კომპლექსური ფორმირების მეთოდი

კომპლექსური ფორმირების მეთოდი ხშირად უფრო უკეთესად მუშაობს, ვიდრე ცალკეული მოდელები, რომლებიც მორგებულია კონკრეტული ალგორითმით არაბალანსირებული მონაცემთა ბაზის დასამუშავებლად. ამ მეთოდის გამოყენებით სისტემას შეუძლია გამოავლინოს თითოეული ალგორითმის ძლიერი და სუსტი მხარეები. სწორედ ამ მიზეზით გამოვიყენეთ არსებული მოდელები, რათა გამოგვევლინა თითოეული ალგორითმის ძლიერი მხარეები დაბალანსებული მონაცემთა ბაზების დასამუშავებლად.

4. მიღებული შედეგების ანალიზი

საბოლოო შედეგების მისაღებად გავაერთიანეთ სხვადასხვა რეზოლუციის მქონე 10 უახლესი ღრმა სწავლების მეთოდის გამოყენებით მიღებული შედეგები. ამ სასწავლო სტრატეგიის მიზანია ერთი ღრმა სწავლების მოდელის განზოგადების შედეგად გაზრდილი ცდომილების ალბათობის შემცირება. მე-2 ცხრილში შეჯამებულია სიზუსტის შედეგები თითოეული კლასისათვის. ეს მოდელი მომზადებული და ტესტირებულია დაბალანსებულ მონაცემთა ბაზაზე, რომელიც აღწერილია 1-ელ ცხრილში, 15665 ნიმუშით, მათგან 6265 ვალიდაციისათვის და 9400 ნიმუში ტესტირების მონაცემებისათვის, რომელიც თანაბრად განაწილებული დრ-ის კლასების მიხედვით.

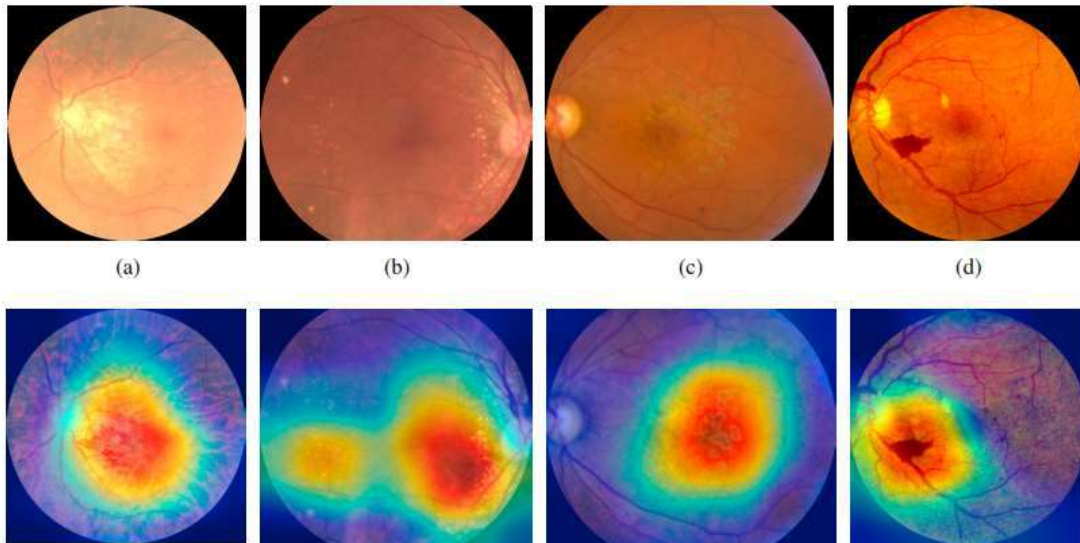
კლასიფიკაციის შედეგები სიზუსტისა და ღრმა სწავლების არქიტექტურის მიხედვით

ცხრ.2

<i>DLN</i>	<i>კლასი 0</i>	<i>კლასი 1</i>	<i>კლასი 2</i>	<i>კლასი 3</i>	<i>კლასი 4</i>	<i>საშუალო</i>
<i>VGG16</i>	0,991	0,693	0,359	0,619	0,429	0,618
<i>VGG19</i>	0,952	0,803	0,244	0,815	0,227	0,608
<i>ResNet50</i>	0,949	0,771	0,317	0,560	0,334	0,586
<i>ResNet101</i>	0,956	0,753	0,323	0,613	0,256	0,580
<i>Inception-V3</i>	0,960	0,732	0,292	0,703	0,289	0,595
<i>Incep -ResNet</i>	0,970	0,750	0,262	0,673	0,359	0,603
<i>Xception</i>	0,952	0,697	0,261	0,668	0,323	0,580
<i>DensNet201</i>	0,960	0,804	0,366	0,568	0,285	0,597
<i>DarkNet53</i>	0,940	0,805	0,452	0,539	0,301	0,607
<i>EfficientNetB0</i>	0,967	0,731	0,234	0,702	0,284	0,584
გაერთიანებული	0,986	0,822	0,326	0,694	0,397	0,645

მიუხედავად იმისა, რომ არსებულმა მოდელმა მიაღწია მაღალ სიზუსტეს ნორმალური გამოსახულებისა და მსუბუქი დრ-ის დიაგნოსტიკების საკითხში, შედარებით დაბალი შედეგები აჩვენა მწვავე და პროლიფერაციური დრ-ის შემთხვევაში, რაც გვამღევეს საფუძველს ვივარაუდოთ, რომ ეს მოდელები სუსტია ამ ორი ტიპის დრ-ის კლასიფიცირებაში. გარდა ამისა, საშუალო სირთულის დრ-ის შემთხვევაში, როცა ფიქსირდება სისხლძარღვების შეშუპება და მიკროვასკულარული პრობლემები, რთულია მისი გარჩევა მწვავე და მსუბუქი დრ-ის სტადიისაგან, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც პათოლოგიების რაოდენობა მცირეა. დრ-ის არარსებობის, ანუ კლასი 0-ის იდენტიფიკაციაში, მაღალი სიზუსტის მიღება გვამღევეს საფუძველს გამოვიყენოთ არსებული მოდელი ბინარული კლასიფიცირებისათვის.

იმის ასახსნელად, თუ როგორ ისწავლა მოდელმა დრ-ის ნიშნების გამოვლენა (როგორცაა სისხლჩაქცევები, ანევრიზმები, მიკროვასკულარული პათოლოგიები), გამოვიყენეთ ალგორითმი, რომელიც დაფუძნებულია გრადიენტული შეწონილი კლასის აქტივაციის რუკის შექმნაზე (Grad-CAM)[18]. Grad-CAM რუკები არის სითბური რუკები, რომლებიც გენერირდება შესაბამისი კლასის სპეციფიური გრადიენტის პროექტირების საშუალებით. მე-3 სურათი გვიჩვენებს დრ-ის შემთხვევებს Grad-CAM რუკის შესაბამისად. წითელი ფერის უბნები ბადურის გამოსახულებაზე აჩვენებს ნიშნებს, რომლებიც აღმოჩენილია ჩვენი ღრმა სწავლების მოდელის მიერ. სურათის მიხედვით შეგვიძლია დავინახოთ, რომ სითბური რუკა ზუსტად შეესაბამება დრ-ის ნიშნებს, სისხლჩაქცევებს, ანევრიზმებს, მიკროვასკულარულ პათოლოგიებს.



სურ. 3. Grad-CAM რუკის რეფერირებადი გამოსახულებები. (ა) მსუბუქი არაპროლიფერაციული დრ, (ბ) საშუალო პროლიფერაციული დრ, (გ) მწვავე პროლიფერაციული დრ, (დ) პროლიფერაციული დრ [18]

5. დასკვნა

ამ ნაშრომში შეფასებულია ღრმა სწავლების უახლესი მეთოდები სხვადასხვა ალგორითმის არქიტექტურის მიხედვით. შეფასებისათვის გამოვიყენეთ EyePACS, APTORS, Messidor-2 და IDRID მონაცემთა ბაზები ისე, რომ დრ-ის ყველა კლასი თანაბრად ყოფილიყო წარმოდგენილი. ეს მეთოდი მიზნად ისახავს ისეთი ალგორითმის შექმნას, რომელიც არ იქნება მორგებული მხოლოდ ერთ არქიტექტურასა და მონაცემთა ბაზაზე, რათა შემცირდეს მოდელის განზოგადებით გამოწვეული სიზუსტის ცვლილება. მიღებული შედეგები აჩვენებს, რომ არსებული მოდელი აღემატება დამოუკიდებლად გამოყენებული ალგორითმების შედეგებს. უკეთესი შედეგის მისაღებად, ჩვენი სამომავლო მიზანია, გავზარდოთ საშუალო და პროლიფერაციული დრ-ის კლასიფიცირების სიზუსტე, რაც არსებითად გაზრდის მთლიანად ალგორითმის ეფექტურობას.

ლიტერატურა - References – Литература:

1. Ahmad A., Mansoor A.B., Mumtaz R., Khan M., Mirza S.H. (2014). Image processing and classification in diabetic retinopathy: A review. In: 2014 5th European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP) (pp. 1–6). Paris
2. Alyoubi W.L., Shalash W.M., Abulkhair M.F. (2020). Diabetic retinopathy detection through deep learning techniques: a review, *Informati cs in Medicine Unlocked* 20 (2020) 100377
3. Tsiknakis N., Theodoropoulos D., Manikis G., Ktistakis E., Boutsora O., Berto A., Scarpa F., Scarpa A., Fotiadis D.I., Marias K. (2021). Deep learning for diabetic retinopathy detection and classification based on fundus images: A review, *Computers in Biology and Medicine* 135 (2021) 104599.
4. Islam M.M., Yang H.C., Poly T.N., Jian W.S., Li Y.C. (Jack). (2020). Deep learning algorithms for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs: a systematic review and meta-analysis, *Comput. Methods Programs Biomed.* 191 (2020) 105320, doi: 10.1016/j.cmpb.2020.105320 .
5. M. Voets, K. Møllersen, L.A. Bongo, *Reproduction study using public data of: Development and validation of a deep learning algorithm for detection of dia- betic retinopathy in retinal fundus photographs*, *PLoS ONE* 14 (6) (2019) 1–11, doi: 10.1371/journal.pone.0217541
6. N. Gour, P. Khanna, *Multi-class multi-label ophthalmological disease detection using transfer learning based convolutional neural network*, *Biomed. Signal Process. Control* (2020) 102329, doi: 10.1016/j.bspc.2020.102329 .

7. C. Li, J. Ye, J. He, S. Wang, Y. Qiao, L. Gu, Dense correlation network for automated multi-label ocular disease detection with paired color fundus photographs, in: Proceedings - International Symposium on Biomedical Imaging, volume 2020-April, IEEE Computer Society, 2020, pp. 1250–1253, doi: 10.1109/ISBI45749.2020.9098340 .
8. W. Chen, B. Yang, J. Li, J. Wang, An approach to detecting diabetic retinopathy based on integrated shallow convolutional neural networks, IEEE Access 8 (2020) 178552–178562, doi: 10.1109/access.2020.3027794
9. S. Seth, B. Agarwal, A hybrid deep learning model for detecting diabetic retinopathy, J. Stat. Manage. Syst. 21 (4) (2018) 569–574, Doi: 10.1080/09720510. 2018.1466965.
10. Zago G.T., Andreão R.V., Dorizzi B., Teatini E.O. (2019). Salles, Diabetic retinopathy detection using red lesion localization and convolutional neural networks. Comput. Biol. Med. 116 (2020) 103537, doi: 10.1016/j.compbiomed.2019.103537 .
11. Liu Y.P., Li Z., Xu C., Li J., Liang R. (2019). Referable diabetic retinopathy identification from eye fundus images with weighted path for convolutional neural network, Artif. Intell. Med. 99 (2019) 101694, doi: 10.1016/j.artmed.2019.07.002 .
12. M. Shaban, A.H. Mahmoud, A. Shalaby, M. Ghazal, H. Sandhu, A. El-Baz, Low-complexity computer-aided diagnosis for diabetic retinopathy, in: Diabetes and Retinopathy, Elsevier, 2020, pp. 133–149, doi: 10.1016/b978-0-12-817438-8.00007-9 .
13. Abraham W.C., Bear M.F. (1996). Metaplasticity: the plasticity of synaptic plasticity, Trends Neurosci. 19 (4), 126–130, doi: 10.1016/S0166-2236(96)80018-X .
14. P. Porwal, S. Pachade, M. Kokare, et al., IDRiD: Diabetic retinopathy - segmentation and grading challenge, Medical Image Analysis 59 (2020) 101561.
15. E. Decenciere, X. Zhang, G. Cazuguel, B. Lay, B. Cochener, C. Trone, P. Gain, R. Ordonez, P. Massin, A. Erginay, B. Charton, J. Klein, Feedback on a publicly distributed image database: The Messidor database, Image Analysis & Stereology 33 (3) (2014). [17] Asia Pacific Tele-Ophthalmology Society, Aptos 2019 blindness detection, accessed on 4 April 2022. (2019). URL <https://www.kaggle.com/competitions/apos2019-blindness-detection> [18] EyePACS, Diabetic retinopathy detection, accessed on 4 April 2022. (2015).
16. T. Li, Y. Gao, K. Wang, S. Guo, H. Liu, H. Kang, Diagnostic assessment of deep learning algorithms for diabetic retinopathy screening, Information Sciences 501 (2019) 511–522.
17. Rocha D.A., Ferreira F., Peixoto Z. (2022). Diabetic retinopathy classification using vgg16 neural network, Research on Biomedical Engineering 38, 761–772.
18. Vinogradova K., Dibrov A., Myers G. (2020). Towards interpretable semantic segmentation via gradient-weighted class activation mapping, Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence 34 (10), 13943–13944.

(სტატია მიღებულია 20.04.2023)

CLASSIFYING DIABETIC RETINOPATHY GRADES USING COMBINATION OF DIFFERENT ALGORITHMS OF DEEP LEARNING METHODS

Aleksandre Labadze

Georgian Technical University

e-mail: Labadze.aleq@gtu.ge

Summary

Diabetic Retinopathy is a result of prolonged diabetes mellitus that affects the vision. It causes harm to the veins in the eyes, leading to ruptures on the retina that can impair sight. If the condition is not detected early, it may cause complete loss of vision. The traditional method of diagnosing DR using fundus images requires highly skilled professionals due to the small size of the abnormalities, which can result in misdiagnosis and consume time. Therefore, developing an automated system for the diagnosis of DR can help people with diabetes to identify DR symptoms in the early stages. This study also includes classification of identified images into the corresponding 5 stages, namely No Diabetic Retinopathy, Mild Non-Proliferative Digital

Retinopathy, Moderate Non-Proliferative Diabetic Retinopathy, Severe Non-Proliferative Diabetic Retinopathy and Proliferative Diabetic Retinopathy, which can significantly aid in monitoring the dynamics of key features such as lesions, hemorrhages, and blood vessel density. Deep learning algorithms are widely used to achieve various classification tasks. However, most of these methods are only effective in classifying DR stages with low accuracy, especially for early stages. The developed algorithm in this study employs enhanced image processing techniques, automated hyperparameter tuning, and neural network training strategies to focus on the small features for better prediction. The algorithm was tested and compared to modified Resnet50, VGG16, Mobilenetv2, Inceptionv3, and InceptionResnetv2, resulting in classification accuracies of 94.7%, 86.1%, 85.8%, 85.3%, and 87%, respectively, with corresponding detection accuracies of 99.8%, 94%, 94.2%, 94.9%, and 98.2%, respectively, on a test set of 508 images. Using the proposed algorithm, the results show that Resnet50-based networks provided superior performance for both detection and classification tasks.

(Received 20.04.2023)

КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕПЕНЕЙ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Лабадзе. А.

Грузинский Технический Университет

Labadze.aleq@gtu.ge

Резюме

Диабетическая ретинопатия является результатом длительного сахарного диабета, который влияет на зрение. Это наносит вред венам в глазах, что приводит к разрывам сетчатки, что может ухудшить зрение. Если состояние не обнаружено на ранней стадии, оно может привести к полной потере зрения. Традиционный метод диагностики ДР с использованием изображений глазного дна требует высокой квалификации специалистов из-за небольшого размера аномалий, что может привести к неправильной диагностике и отнять много времени. Таким образом, разработка автоматизированной системы диагностики ДР может помочь людям с диабетом выявлять симптомы ДР на ранних стадиях. Это исследование также включает классификацию идентифицированных изображений по соответствующим 5 стадиям, а именно отсутствие диабетической ретинопатии, легкая непролиферативная цифровая ретинопатия, умеренная непролиферативная диабетическая ретинопатия, тяжелая непролиферативная диабетическая ретинопатия и пролиферативная диабетическая ретинопатия, которые могут значительно помочь в мониторинге динамики ключевых признаков, таких как поражения, кровоизлияния и плотность кровеносных сосудов. Алгоритмы глубокого обучения широко используются для решения различных задач классификации. Однако большинство из этих методов эффективны только для классификации стадий ДР с низкой точностью, особенно для ранних стадий. Алгоритм, разработанный в этом исследовании, использует усовершенствованные методы обработки изображений, автоматическую настройку гиперпараметров и стратегии обучения нейронной сети, чтобы сосредоточиться на небольших функциях для лучшего прогнозирования. Алгоритм был протестирован и сравнен с модифицированными Resnet50, VGG16, Mobilenetv2, Inceptionv3 и InceptionResnetv2, в результате чего точность классификации составила 94,7 %, 86,1 %, 85,8 %, 85,3 % и 87 % соответственно с соответствующей точностью обнаружения 99,8 %, 94%, 94,2%, 94,9% и 98,2% соответственно на тестовом наборе из 508 изображений. Используя предложенный алгоритм, результаты показывают, что сети на основе Resnet50 обеспечивают превосходную производительность как для задач обнаружения, так и для задач классификации.

(Поступила 20.04.2023)

ხელოვნური ინტელექტით აღჭურვილი სისტემა საშვილოსნოს ყელის სიმსივნის დიაგნოსტიკისთვის

პაატა ლეჟავა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
p.lezhava@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია ჩვენ მიერ შექმნილი კომპიუტერული სისტემა საშვილოსნოს ყელის სიმსივნის დიაგნოსტიკისთვის, რომელიც დაფუძნებულია ხელოვნურ ინტელექტზე, კერძოდ, მანქანურ დასწავლაზე. სისტემა დიაგნოსტიკას ახდენს რუტინული ტესტების გამოყენებით და გამოირჩევა საკმაოდ მაღალი სიზუსტით. ვფიქრობთ, რომ აღნიშნული მოდელი კლინიკისტებს დაეხმარება სიმსივნის დადგენასა და დაავადების დროულ ვერიფიცირებაში.

საკვანძო სიტყვები: მანქანური დასწავლა. სიმსივნის დიაგნოსტიკა. მოდელი. მკურნალობა. ლაბორატორიული კვლევები.

1. შესავალი

სიმსივნეები გამოყოფს სხვადასხვა ნივთიერებებს და ორგანიზმი რეაგირებს მათ ზრდაზე, ეს ყველაფერი გავლენას ახდენს სისხლის შემადგენლობაზე. ექიმებს შეუძლიათ ამოიღონ ინფორმაციის მხოლოდ მცირე ნაწილი, რომელიც დამალულია რუტინული სისხლის ანალიზის შედეგებში. აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვანია რუტინული სისხლის კვლევების შედეგების უფრო სერიოზული და ზუსტი ანალიზი, იმიტომ, რომ ვიპოვოთ მტკიცებულება ორგანიზმში სპეციფიური სიმსივნური ზრდის შესახებ. დღეისათვის მეცნიერები სულ უფრო ხშირად მიმართავენ ხელოვნური ინტელექტის მეთოდებს მსგავსი ტიპის ამოვანის გადასაჭრელად. ხელოვნურ ინტელექტში ფართოდ გამოყენებულ მანქანურ სწავლებას შეუძლია სამედიცინო მონაცემებიდან ისეთი კანოზომიერებების გამოვლენა, რაც ადამიანისთვის მაღალი კვალიფიკაციის ექიმებისთვისაც შეუძლებელია. ასეთი წარმატებული სადიაგნოსტიკო მოდელები მნიშვნელოვნად დაეხმარება კლინიკისტებს დიაგნოზის დროულ ვერიფიცირებაში.

საშვილოსნოს ყელის და ენდომეტრიუმის სიმსივნეების დიაგნოზი ჩვეულებრივ ეფუძნება პაციენტის ანამნეზს, ინსტრუმენტალურ და ლაბორატორიულ კვლევებს. მნიშვნელოვანია სიმსივნის ადრეული დიაგნოსტიკა და დროული მკურნალობა რაც ხშირ შემთხვევებში ვერ ხერხდება სიმბტომების არ არსებობისა და ექიმთან გვიანი ვიზიტის გამო. ასევე პრობლემას წარმოადგენს არასპეციფიკური კლინიკური გამოვლინებები და სიმსივნეების შედარებით იშვიათი ფორმები. მიუხედავად იმისა, რომ კომპიუტერულ ტომოგრაფიული და მაგნიტორეზონანსული ტომოგრაფიული კვლევები უდავოდ იქნება მნიშვნელოვანი მომავალში, არსებობს გარკვეული საჭიროება იაფი და ეფექტური ალტერნატიული დიაგნოსტიკური კვლევების, რომლებიც სასარგებლო იქნება პაციენტებისათვის, სიმსივნეების და სხვა დაავადებების ადრეული დიაგნოსტიკისთვის [3].

სიმსივნეები გამოყოფენ სხვადასხვა ნივთიერებებს და ორგანიზმი რეაგირებს მათ ზრდაზე, ეს ყველაფერი გავლენას ახდენს სისხლის შემადგენლობაზე. ექიმებს შეუძლიათ ამოიღონ ინფორმაციის მხოლოდ მცირე ნაწილი, რომელიც დამალულია რუტინული სისხლის ანალიზის

შედეგებში. აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვანია რუტინული სისხლის კვლევების შედეგების უფრო სერიოზული და ზუსტი ანალიზი, იმიტომ, რომ ვიპოვოთ მტკიცებულება ორგანიზმში სპეციფიური სიმსივნური ზრდის შესახებ [2]

დღეისათვის მეცნიერები სულ უფრო ხშირად მიმართავენ ხელოვნური ინტელექტის მეთოდებს მსგავსი ტიპის ამოვანის გადასაჭრელად. ხელოვნურ ინტელექტში ფართოდ გამოყენებულ მანქანურ სწავლებას შეუძლია სამედიცინო მონაცემებიდან ისეთი კანონზომიერებების გამოვლენა, რაც ადამიანისთვის მაღალი კვალიფიკაციის ექიმებისთვისაც შეუძლებელია. ასეთი წარმატებული სადიაგნოსტიკო მოდელები მნიშვნელოვნად დაეხმარება კლინიკისტებს დიაგნოზის დროულ ვერიფიცირებაში [1].

პაციენტების ისტორიების რეტროსპექტიული ანალიზის შედეგად შესძლებელია მანქანურ სწავლებაზე დაფუძნებული სადიაგნოსტიკო მოდელების შექმნა, რაც დღეისათვის სულ უფრო და უფრო მეტ ინტერესს იძენს [4].

ჩვენ კვლევის მიზანს შეადგენს საშვილოსნოს ყელის და ენდომეტრიუმის სიმსივნეების ხელოვნურ ინტელექტზე დაფუძნებული სადიაგნოსტიკო მოდელების შექმნა პაციენტების მონაცემთა ბაზების გამოყენებით.

2. ძირითადი ნაწილი: კვლევის დიზაინი

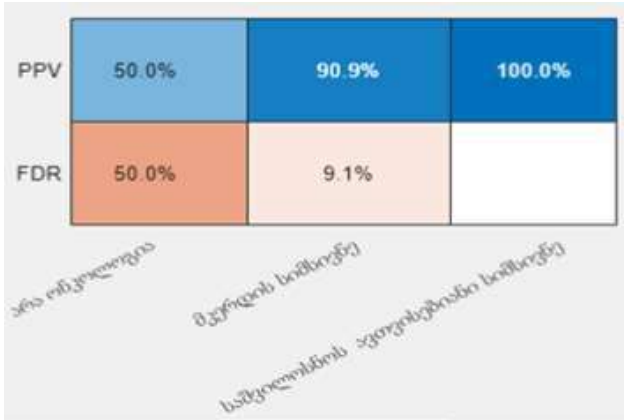
ჩვენ შევისწავლეთ ონკოლოგიური პაციენტების ისტორიები, რომელთაც დიაგნოსტიკური ჰქონდათ საშვილოსნოს ყელისა და ენდომეტრიუმის სიმსივნე და გადიოდნენ მკურნალობას ქ. თბილისის ექსპერიმენტალურ და კვლევით ქირურგიულ ეროვნულ ცენტრში. შესწავლილი იქნა 272 პაციენტის ისტორია. მოდელების შესადგენად ვიყენებდით მხოლოდ რუტინულ ლაბორატორიულ კვლევებს (ცხრილი 1).

ცხრ.1

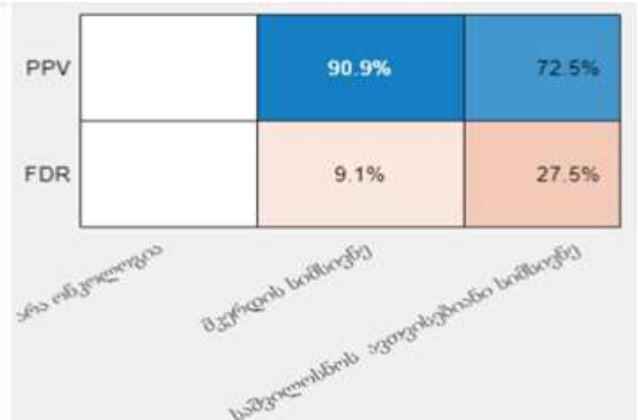
1. მარდის საერთო ანალიზი	2. სისხლის საერთო ანალიზი	3. ღვიძლის ფუნქციების განსაზღვრა
რაოდენობა	ლეიკოციტი (WBC)	ტუტე ფოსფატაზას კონცენტრაციის განსაზღვრა
ხვედრითი წონა	ერიტროციტები (RBC)	ალანინამინოტრანსფერაზას კონცენტრაციის განსაზღვრა
რუკეცია	ჰემოგლობინი (HGB)	ასპარტატამინოტრანსფერაზის კონცენტრაციის განსაზღვრა
ფერი, გამჭვირვალობა	ჰმატოკრიტი (HCT)	პირდაპირი ბილირუბინის განსაზღვრა
ცილი რაოდენობა	ერიტროციტების საშუალო მოცულობა (MCV)	საერთო ბილირუბინის განსაზღვრა
ბრტყელი ეპითელიუმი	ჰემოგლობინის საშ. შემცველობა ერიტროციტში (MCH)	კრეატინინის კონცენტრაციის განსაზღვრა სისხლში
ერიტროციტი შუვეკლელი	მოგლობინის საშ. კონცენტრაცია ერიტროციტში (MCHC)	გამაგლუტამინოტრანსპეტიდაზას კონცენტრაციის განსაზღვრა
ლეიკოციტი	ერიტროციტების განაწილების ფართი (RDW-CV)	
ბაქტერიები	თრომბოციტი (PLT)	
მარილები	თრომბოციტების საშუალო მოცულობა (MPV)	5. გლუკოზის კონცენტრაციის განსაზღვრა უზომოდ (GLUC)
	ნეიტროფილი % (Neut%)	
	ნეიტროფილი	6. სისხლის ჯგუფისა და რუზუსის განსაზღვრა
4. ინფექციურ დაავადებათა დიაგნოსტიკა პაციენტებში	ლიმფოციტი % (LYMPH%)	
HBsAg (სწრაფი ტესტი)	ლიმფოციტი	7. კოაგულოგრამა
HIV-1/2	მონოციტი % (MONO%)	FIBR
RPR (სიფილისის ტესტი)	მონოციტი	PT
	ეოზინოფილი % (Eosino %)	PI %
	ეოზინოფილი	INR
	ბაზოფილი % (BASO%)	TT
	ბაზოფილი	aPTT
	ელს-ვესტერგრინის მეთოდით	

მოდელის შესადგენად გამოვიყენეთ მანქანური სწავლების ზედამხედველობითი მეთოდი, კერძოდ კლასიფიკაცია, რომელიც საუკეთესო შეესაბამება ჩვენს ამოცანას. ინსტრუმენტის სახით გამოყენებული იყო მატლაბის პროგრამული უზრუნველყოფა, კერძოდ classification learner [1].

განხორციელდა მოდელის დასწავლება შემდეგი სტატისტიკური მეთოდებით. შესაბამისი მიღებული შედეგები იხილეთ სურათებზე. Ensemble (ნახ.1), Boosted Tree (ნახ.2), fine Tree (ნახ.3), linear SVM (ნახ.4), Medium Tree (ნახ.5).



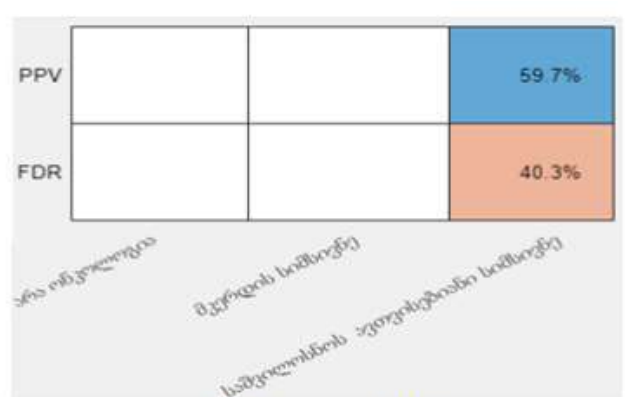
ნახ.1. Ensemble



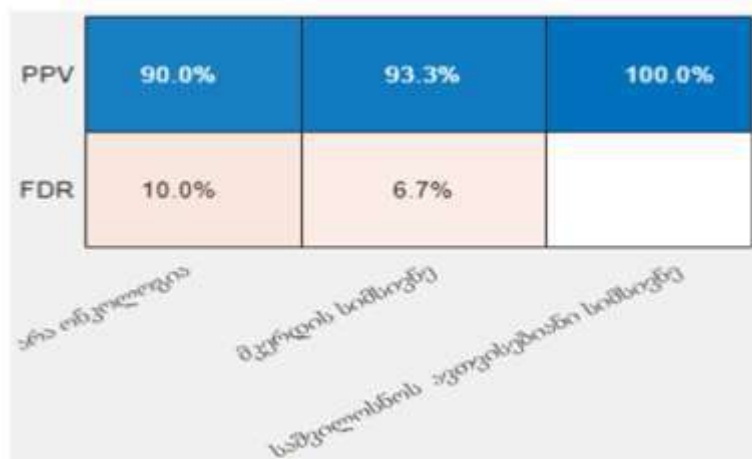
ნახ.2. 3 Boosted Tree



ნახ.3. Fine Tree



ნახ.4. Linear SVM



ნახ.5. Medium Tree

საუკეთესო შედეგი მოგვცა Medium Trees მეთოდის გამოყენებამ. 100%-იანი სიზუსტით გამოარჩია საშვილოსნოს ყელი სიმსივნეების მქონე პაციენტები, 90%-იანი სიზუსტით არა ონკოლოგიური პაციენტები, ხოლო 93.3%-იანი სიზუსტით მკერდის სიმსივნის მქონე პაციენტები.

3. დასკვნა

შექმნილია საშვილოსნოს ყელის სიმსივნის დიაგნოსტიკის კომპიუტერული სისტემა, რომელიც დაფუძნებულია ხელოვნურ ინტელექტზე - კერძოდ მანქანურ სწავლებაზე. სისტემა დიაგნოსტიკას ახდენს რუტინული ტესტების გამოყენებით და გამოირჩევა საკმაოდ მაღალი სიზუსტით. ვფიქრობთ, რომ აღნიშნული მოდელი კლინიკისტებს დაეხმარება სიმსივნეების დადგენასა და დაავადების დროულ ვერიფიცირებაში. ამ ეტაპზე მიმდინარეობს მოდელის დამატებითი ტრენინგი მეტი სიზუსტის მისაღებად.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Sidamonidze N. (2019). Artificial intelligence as a challenge and some methodological aspects of its realization. Georgian Technical University. Automated Control Systems, No 1(28), pp. 186-191 (in Georgian)
2. Podnar S., Kukar M., Gunčar G., Notar M., Gošnjak N., Notar M. (2019). Diagnosing brain tumours by routine blood tests using machine learning. doi: 10.1038/s41598-019-51147-3
3. Torlay L., Perrone-Bertolotti M., Thomas E., Baciú M. (2017). Machine learning-XGBoost analysis of language networks to classify patients with epilepsy. *Brain Inform.* 4(3): pp.159–169. doi: 10.1007/s40708-017-0065-7.
4. Chkhaidze M., Tavdishvili O., Chichua G., Barnov S. (2020). Artificial intelligence (Methodical guidelines for practical work). Georgian Technical University. (in Georgian)
(სტატია მიღებულია 25.03.2023)

AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE-EQUIPPED SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF CERVICAL CANCER

Paata lezhava
Georgian technical university
p.lezhava@gtu.ge

Summary

The article discusses the computer system we created for the diagnosis of cervical cancer, which is based on artificial intelligence, namely machine learning. The system diagnoses using routine tests and is distinguished by a fairly high accuracy. We think that this model will help clinicians to identify cancers and diagnose the disease in a timely manner. (Received 25.03.2023)

СИСТЕМА С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАКА ШЕЙКИ МАТКИ

Лежава П.
Грузинский Технический университет
p.lezhava@gtu.ge

Резюме

Обсуждается созданная нами компьютерная система диагностики рака шейки матки, в основе которой лежит искусственный интеллект, а именно машинное обучение. Система проводит диагностику с помощью рутинных тестов и отличается достаточно высокой точностью. Мы думаем, что указанная модель поможет клиницистам своевременно идентифицировать опухоль и верифицировать заболевание. (Поступила 25.04.2023)

კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლების მიმდებარე სივრცის ოპტიმალურად დაგეგმარებისათვის

გოგი კვიციანიშვილი, მერაბ ახოზაძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
godaco@mail.ru, m.akhobadze@gtu.ge

რეზიუმე

ტურისტებისათვის კომფორტისა და უსაფრთხო გარემოს უზრუნველსაყოფად, რაც მოითხოვს კულტურული ძეგლების მიმდებარე ტერიტორიაზე ინფრასტრუქტურული, მომსახურების ობიექტების შესაბამისად განთავსებას, შექმნილია ვორონოის დიაგრამის მოდიფიცირებული მეთოდი და ალგორითმი, რომლის გამოყენება უზრუნველყოფს სარეკრიაციო სივრცეების ოპტიმალურად დაგეგმარებას და მოწყობას.

საკვანძო სიტყვები: დაგეგმარება. ვორონოის დიაგრამა. ინფრასტრუქტურის ანალიზი.

1. შესავალი

საქართველოში ყოველწლიურად იზრდება ტურისტთა რაოდენობა. სულ უფრო და უფრო მეტი ტურისტული ბაზები, ობიექტები და მარშრუტები კეთდება. შესაბამისად იზრდება არქიტექტორთა როლი ტურიზმის ინდუსტრიის გაზრდისათვის, ტურისტებისათვის კომფორტის და უსაფრთხო გარემოს მოწყობის მიზნით. ყოველივე ეს მოითხოვს კულტურული ძეგლების მიმდებარედ, ახალი ინფრასტრუქტურული ობიექტების ოპტიმალურად განლაგებას, სარეკრიაციო სივრცეების ახლებურად მოწყობას, ტურისტული არეალის ნებისმიერი წერტილიდან დანიშნულების პუნქტამდე უმოკლესი გზის განსაზღვრას. ყოველივე ზემოთ დასმული საკითხი განეკუთვნება ე.წ. სივრცული მიმართებების ამოცანათა კლასს, რომლებიც ეფექტურად იხსნება ჩვენს მიერ მოდიფიცირებული ვორონოის დიაგრამის მეშვეობით.

2. ძირითადი ნაწილი

სივრცული მიმართება, ესაა ნებისმიერი ინფორმაცია, რომელიც ახასიათებს ობიექტთა კავშირს სივრცეში. მაგალითად: მანძილებს ობიექტებს შორის, გავლენის არეების სიდიდეებს, ობიექტთა რაოდენობას ერთ არეალში და სხვა. ასეთი ინფორმაციის ცოდნა, ანალიზი და გამოყენება მეტად სასარგებლოა არქიტექტორისთვის განაშენიანების დაპროექტებისათვის. აღნიშნული საკითხის მოგვარება-ინფრასტრუქტურული ობიექტების ოპტიმალურად განლაგება, ტურისტებისათვის კომფორტული და უსაფრთხო გარემოს მოწყობა-შესაძლებელია ვორონოის დიაგრამის მეშვეობით, რომელიც აღწერს სივრცულ მიმართებებს ორ მეზობელ წერტილს (ობიექტებს) შორის განსახილველ არეალში [1].

ვორონოის დიაგრამის პირველი გამოყენება გვხვდება რენე დეკარტის (1596-1650) ნაშრომში „ფილოსოფიის პრინციპები“ (1644). დეკარტმა შესთავაზა სამყაროს დაყოფა ვარსკვლავების გრავიტაციული გავლენის ზონებად. ორი საუკუნის შემდეგ, ცნობილმა გერმანელმა მათემატიკოსმა იოჰან პიტერ გუსტავ ლეჟენ-დირიხლემ (1805 - 1859) შემოიტანა დიაგრამები ორ და სამგანზომილებიანი შემთხვევებისთვის. ამიტომ, მათ ზოგჯერ დირიხლეს დიაგრამებსაც უწოდებენ. 1908 წელს, რუსმა მათემატიკოსმა გეორგი ფეოდოსის-მე ვორონოიმ (28 აპრილი, 1868 წ - 20 ნოემბერი, 1908 წ.) აღწერა ეს დიაგრამა უფრო მაღალი განზომილებების სივრცეებისთვის, მას შემდეგ დიაგრამას მისი სახელი ეწოდა [2].

ვორონოის დიაგრამის გამოყენება ქალაქგეგმარებაში ხშირად იმ მიზნით ხდება, რომ დადგინდეს, გარკვეული ობიექტების განფენილობის შემთხვევაში, რუკაზე, რაიმე ობიექტი (წერტილი), რომელ ანალოგიურ ობიექტთან (წერტილთან) უფრო ახლოსაა. ასე მაგალითად, გავიგოთ, რომელი გაჩერება არის ჩვენგან ყველაზე ახლოს, ან რომელი ფილიალიდან იქნება ყველაზე მოსახერხებელი ჩვენთვის სასურველი პროდუქტის შეკვეთა, შეძენა.

ვორონოის დიაგრამის გამოყენების სფერო საკმაოდ მრავალფეროვანია: გეოლოგია, არქეოლოგია, ბიოლოგია, კარტოგრაფია, მარკეტინგი, ასტრონომია, არქიტექტურა, კომპიუტერული მეცნიერებები და სხვა (ნახ.1).



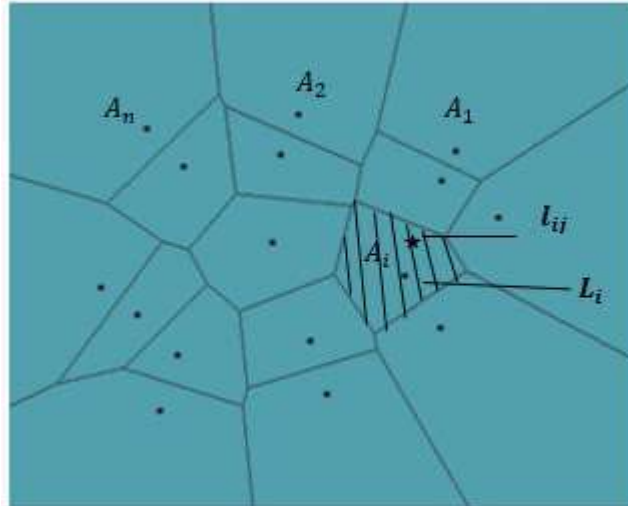
ნახ.1

სასრული რაოდენობის - $A = \{A_1; A_2; \dots; A_N\}$, ობიექტთა (წერტილთა) ვორონოის დიაგრამა ეწოდება, ამ არეალის (სიბრტყის), რომელზეც განლაგებულია ეს ობიექტები (წერტილები), ისეთ ნაკვეთებად L_i ($i = 1, 2, \dots, N$) დაყოფას, რომელთა ნებისმიერი l_{ij} წერტილიდან, მოცემულ A_i ობიექტამდე მანძილი უმოკლესია (ნახ..2).

ვორონოის დიაგრამის მათემატიკური მოდელი აღიწერება ასე. ვთქვათ, ვიხილავთ ბრტყელ არეს E , რომელშიც მოცემულია წერტილთა სიმრავლე: $\{A_1; A_2; \dots; A_N\}$. ვორონოის დიაგრამა ესაა განსახილველი არეს დაყოფა ისეთ E_1, E_2, \dots, E_N ქვესიმრავლეებად, რომ ყოველი $i \in \overline{[1; N]}$ ნატურალური რიცხვისთვის, E_i სიმრავლის ნებისმიერი X წერტილიდან A_i წერტილამდე მანძილი არ აღემატება მანძილს X წერტილიდან A_j წერტილამდე, $j \in \overline{[1; N]}, j \neq i$. სიმრავლეს E_i უწოდებენ ვორონოის უჯრედს, ან A_i წერტილის „დაფარვის არეს“. ტრადიციულად, „დაფარვის არეების“ გამოყოფა სირთულეს არ წარმოადგენს:

$$E_i = E \cap \left(\bigcap_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N E_{ij} \right),$$

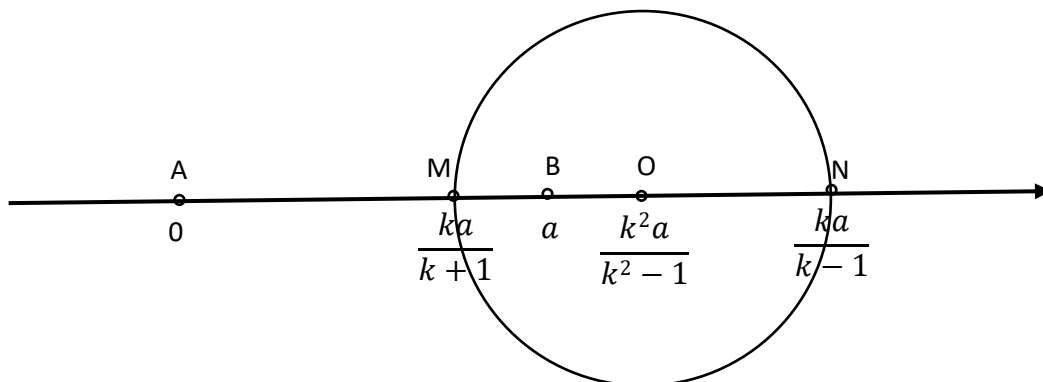
სადაც E_{ij} სიმრავლე განიმარტება შემდეგნაირად: A_i და A_j წერტილების შემაერთებელი მონაკვეთის შუამართობი სიბრტყეს ყოფს ორ ნახევარსიბრტყედ. E_{ij} აღნიშნავს ამ ორიდან იმ ნახევარსიბრტყეს, რომელშიც მდებარეობს A_i წერტილი (ნახ.2).



ნახ.2

ვორონოის დიაგრამის კლასიკური მეთოდი, გულისხმობს, რომ $A_i (i = 1, 2, \dots)$ ობიექტები ერთგვაროვანია. მაგალითად, ყველა ობიექტი წარმოადგენს მარკეტს, სადაც ერთიდაიგივე პროდუქტი იყიდება. რაც, რეალურად, ასე არ არის. ობიექტებს შესაძლებელია ჰქონდეს განსხვავებული პოტენციალები – იყიდებოდეს სხვადასხვა პროდუქცია, განსხვავდებოდეს საქონლის მრავალფეროვნებით და სხვ. ამიტომ, უდავოდ საინტერესოა პასუხი შემდეგ კითხვაზე: როგორ ავაგოთ ვორონოის დიაგრამა იმ შემთხვევაში, როცა სხვადასხვა ობიექტს (წერტილებს) აქვს არა ტოლი პოტენციალები (წონები), არამედ განსხვავებული. ნაშრომში [3], დამტკიცებულია შემდეგი თეორემა:

თეორემა: თუ სიბრტყის ორ A და B წერტილებს შორის მანძილია a და $k > 1$ რაიმე რიცხვია, მაშინ სიბრტყის ყველა იმ წერტილთა სიმრავლე, რომლებიც A წერტილიდან დაშორებულია k -ჯერ მეტი მანძილით, ვიდრე B წერტილიდან, წარმოადგენს წრეწირს, რომლის რადიუსია $\frac{ka}{k^2-1}$ და რომლის ცენტრი მდებარეობს $(A; B)$ სხივზე A წერტილიდან $\frac{k^2a}{k^2-1}$ მანძილზე (ნახ.3).



ნახ. 3

ჩვენ მიერ მიღებული შედეგი საშუალებას გვაძლევს ავსაგოთ ვორონოის დიაგრამა იმ შემთხვევაში, როცა განსხვავებული წერტილების პოტენციალები სხვადასხვაა. მე-4 და მე-5 ნახაზებზე მოცემულია ერთიდაიმავე რეგიონის (არეს) ვორონოის დიაგრამის ორი განსხვავებული შემთხვევა. კერძოდ, მე-4 ნახაზზე აგებულია ვორონოის დიაგრამა იმ შემთხვევისათვის, როცა ობიექტების (წერტილების) პოტენციალი ერთიდაიგივეა. ხოლო მე-5-ზე კი - იმ შემთხვევისათვის, როდესაც განსხვავებულ ობიექტებს (წერტილებს) აქვთ სხვადასხვა პოტენციალები (წონები).



ნახ. 4



ნახ. 5

3. დასკვნა

კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლების მიმდებარედ ინფრასტრუქტურული ობიექტების დაპროექტების მეთოდი, რომელიც ჩვენს მიერ მოდიფიცირებულ ვორონოის დიაგრამის

მათემატიკურ მოდელს ეფუძნება, საშუალებას იძლევა ოპტიმალურად განვალაგოთ, გავანაწილოთ მომსახურების ობიექტები საპროექტო არეალზე, რაც მაქსიმალურად ზრდის ტურისტებისათვის კომფორტს და ქმნის მათთვის უსაფრთხო გარემოს.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Kvitsinashvili G. (2023). Analysis of the Infrastructure Emerging in the Vicinity of the Cultural Heritage Monument - Ikalto Academy. GTU, Scientific-Technical Journal "BUILDING". Pp.25-28 (in Georgian)

2. Zakharkin I. (2016). Voronoi Diagram and Its Applications. Internet Resource: <https://habr.com/ru/post/309252/> (in Russian) (13.03.23)

3. Akhobadze M., Kurtskhalia E. (2022). Mathematical Model of Urban Planning for Sustainable Development and Reconstruction of the City. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 16, N1, pp.7-9.

(სტატია მიღებულია 14.03.2023)

OPTIMAL SPACE PLANNING AROUND CULTURAL HERITAGE SITES

Kvitsinashvili Gogi, Akhobadze Merab

Georgian Technical University

godaco@mail.ru, m.akhobadze@gtu.ge

Summary

The number of tourists in Georgia is increasing every year. More and more tourist bases, facilities and routes are being built. Accordingly, the role of architects in increasing the tourism industry, providing comfortable and safe conditions for tourists is increasing. All this requires the optimal placement of new infrastructure facilities near cultural monuments, a new arrangement of recreational spaces. Determine the shortest path from anywhere in the tourist area to the destination. All the questions raised above belong to the so-called class of spatial relations, which are effectively solved using our modified Voronoi diagram.

(Received 14.03.2023)

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА ВОКРУГ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Квицинашвили Г., Ахобадзе М.

Грузинский Технический Университет

godaco@mail.ru, m.akhobadze@gtu.ge

Резюме

Количество туристов в Грузии увеличивается с каждым годом. Строится все больше и больше туристических баз, объектов и маршрутов. Соответственно возрастает роль архитекторов в увеличении туристической индустрии, обеспечении комфортных и безопасных условий для туристов. Все это требует оптимального размещения новых инфраструктурных объектов вблизи памятников культуры, по-новому обустройства рекреационных пространств, определить кратчайший путь из любой точки туристической зоны в пункт назначения. Все поднятые выше вопросы относятся к так называемой к классу пространственных отношений, которые эффективно решаются с помощью нашей модифицированной диаграммы Вороного.

(Поступила 14.03.2023)

საინჟინრო სწავლების ინტერაქტიული ციფრული სილაბუსები პანდემიის და პოსტპანდემიის პერიოდში

ზაურ ადამია, ზურაბ წვერაიძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
z.adamia@gtu.ge; z.tsveraidze@gtu.ge

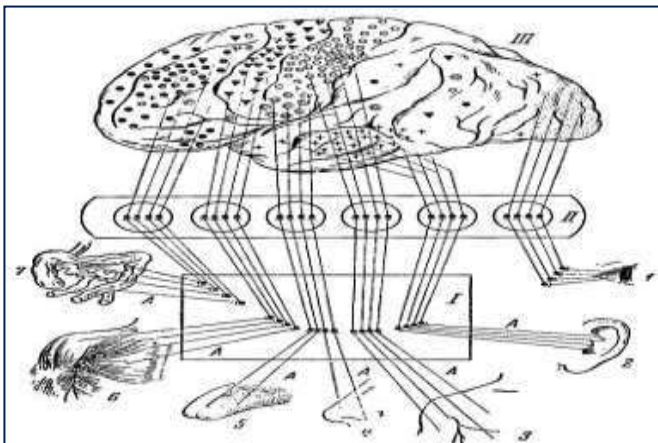
რეზიუმე

განხილულია ინტერაქტიული ციფრული სილაბუსების მნიშვნელობა განათლების შემფგომი სრულყოფის მიზნით. ისინი სავსებით ადეკვატურია „ჩვეულებრივი“ საკონტაქტო საათების. საყურადღებოა, რომ ვირტუალურ საკონტაქტო გარემოში, ვიდრე „ჩვეულებრივში“, სტუდენტი უფრო დემოკრატიულ გარემოში და კომფორტულ პირობებშია: დაკავებულია ინდივიდუალური სწავლებით, რაც მორგებულია მის ინტერესებზე და გონებაში იწვევს ადეკვატურ თვითშეფასების განცდას. ამავე დროს სტუდენტის არჩევანია სწავლების სასურველი დრო და ადგილი.

საკვანძო სიტყვები: განათლება. სილაბუსი. ინტერაქტიული სწავლება. თვითშეფასება. სწავლების საკონტაქტო ფორმატი. დისტანციური სწავლება. ტრენინგი.

1. შესავალი

„მხედველობა და სმენითი შეგრძნებების უნარი სხვა შეგრძნებებზე უფრო მეტ ცოდნას გვაძლევს და საგანთა მრავალ თვისებას ცხადყოფს“, ამბობს არისტოტელე, ხოლო ინტერაქტიულობა, ანუ დიალოგის რეჟიმი, ჯერ კიდევ სოკრატეს დროს, მასწავლებლებისათვის იყო ცნობილი და იგი მიმდინარეობდა კითხვა-პასუხის სტილში. ძველი საბერძნეთის ფილოსოფიას დღესაც არ დაუკარგავს თავისი მნიშვნელობა. იგი მრავალი საკითხის განხილვაში თანამედროვეობის დონეზე დგას. ინტერესს წარმოადგენს საერთაშორისო სპეციალისტების კვლევები წიგნიდან „საინჟინრო ფსიქოლოგიის საფუძვლები“, სადაც მოცემულია, რომ დამკვირვებლის აქტივობისთვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ვიზუალურ ანალიზატორს. მას მოსდევს სმენის და ტაქტილური ანალიზატორები [1-5].



ამ ანალიზატორების მონაწილეობა დამკვირვებლის საქმიანობაში მცირეა (სქემა იხ. ნახ.1 კ. ბიკოვის მიხედვით).

1-7 რეცეპტორები (ვიზუალური, სმენის, კანის, ყნოსვითი, გემო, მოტორული აპარატი, შინაგანი ორგანოები). ანალიზატორების ბირთვები აღინიშნება წმინდა სქემატურად, ასევე მითითებულია თითოეული ანალიზატორის უჯრედები, რომლებიც მიმოფანტულია მთელ ქერქში.

ნახ.1

კომპიუტერული მეცნიერებისა და ინფორმაციული ტექნოლოგიების განვითარებამ ბილ გეიტს მისცა საშუალება გამოეხატა ვირტუალური რეალობის გაგება წიგნი „გზა მომავალში“: „ვიზუალური და ბგერითი ელემენტების ხარისხის გაუმჯობესებით უფრო ზუსტად აისახება რეალურობის მოდელირება ყველა მის გამოვლინებებში“.

ამავე დროს მრავალი მოწინავე საგანმანათლებლო დაწესებულებისათვის ხელმისაწვდომი გახდა, კომპიუტერული მეცნიერებისა და ინფორმაციული ტექნოლოგიების ფუნდამენტური გამოყენებით, შეექმნათ ინტერდისციპლინური კვლევებისათვის კომპიუტერული ვირტუალურ/რეალური ციფრული მოდელები „ინტერაქტიული ციფრული სილაბუსების“ სახით [1,3,4].

ინტერაქტიურობა (ურთიერთმოქმედება) – არის საინფორმაციო კომუნიკაციური სისტემის თვისება აქტიურად და ადექვატურად მოახდინოს მომხმარებლის მოქმედებაზე რეაგირება. ასეთი თვისება ითვლება იმის მანიშნებლად, რომ სისტემა „ჭკვიანია“, ანუ აქვს ინტელექტი.

საყურადღებოა, საქართველოსთვის USAID-ის (იანვარი 2020 – იანვარი 2024 წლების) განათლების პროგრამა: პროგრამა გეგმავს თანამედროვე სასწავლო მეთოდების შემოღებას და ინტერაქტიული სასწავლო პროგრამების დანერგვას, რაც ხელს შეუწყობს მოსწავლეთა წიგნიერების, მათემატიკური აზროვნების, ამოცანის ამოხსნის და კრიტიკული აზროვნების უნარების განვითარებას [7].

საინჟინრო-საგანმანათლებლო სფეროში გადამწყვეტ როლს თამაშობს პრაქტიკული გამოცდილება, რაც დიდ მატერიალურ დანახარჯებს და დროის რესურსებს მოითხოვს. დღესდღეობით გაცილებით უფრო პრაგმატული იქნება ისეთ სფეროებზე კონცენტრირება, რომლებიც არ მოითხოვს დიდ რესურსებს. მაგალითად, კომპიუტერულ მეცნიერებაზე ან ისეთ სფეროებზე, სადაც გარკვეული აკადემიური პოტენციალი უკვე არსებობს.

2. ძირითადი ნაწილი

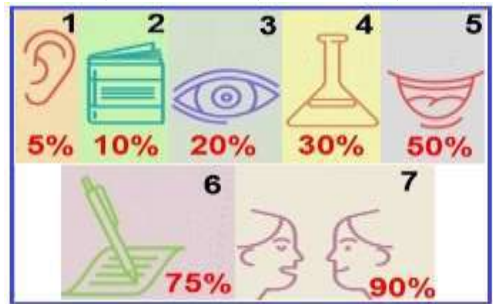
პანდემიის და პოსტპანდემიის პერიოდის პირობებში საგანმანათლებლო პროცესის გასაგრძელებლად *ონლაინ სწავლება* უალტერნატივო გზა აღმოჩნდა. ბოლო წელიწადნახევრის პანდემიის პირობებში ჩატარებული კვლევები იძლევა საშუალებას შევაფასოთ, თუ რამდენად შეიცვალა ადამიანთა გონება სოციალური იზოლაციის გარემოში. აქ უფრო მეტ ყურადღებას ითხოვს საინჟინრო სწავლება. მნიშვნელოვანი გამოწვევაა სტუდენტთა მეხსიერების გაზრდილი დაქვეითება. გაციფრულების საწყის ეტაპზე ციფრული სწავლება განიხილება როგორც მოდელი, რომელიც დღესდღეობით უკვე გარკვეულწილად ფუნქციონირებს, სადაც განათლების სფერო წარმოდგენილია როგორც „ტრადიციული“ სისტემა, რომელშიც ვირტუალური და რეალური სამყაროს ნაწილებს შორის ურთიერთმოქმედება ინტეგრირებულია და სადაც ვირტუალური გარემო ავსებს ჩვენ რეალობას. ეს იყო ციფრო-ანალოგური სასწავლო პროცესი. ტრადიციულ სწავლებაში, ციფრული ტექნოლოგიების გამოყენებით, შექმნილი იყო ცალკეული ციფრული პლატფორმები. მისი დისტანციური სწავლების მოდელი (ნახ.2).



ნახ.2. დამახსოვრების შვიდი დონე

აქვე შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ ადრე სწავლების ვირტუალური ნაწილი, რომელიც ადამიანის აზრობრივ რეალობაში თავსდება, არ იყო ის გარემო, სადაც იქმნებოდა ახალი იდეები და პროდუქტები. ცნობილია, რომ ინფორმაციის რაოდენობისა და სიმბოლოების რაოდენობის მატებასთან ერთად მეხსიერების რაოდენობა მცირდება, რაც დამახასიათებელია ციფრული პლატფორმების გაზრდილი რიცხვისთვის.

ახლა ვირტუალური ნაწილი შეთანხმებულია რეალურთან: შეიძლება შეიქმნას „რეალურ მოვლენებზე დაფუძნებული“ სწავლება, რომელიც თავადვე ქმნის „სწავლებას სწავლებაში“ ერთ ციფრულ პლატფორმაზე, სადაც წამყვან როლს თამაშობს ლექცია, მიუხედავად მისი მოკლევადიანი მეხსიერებისა (ნახ.3).



ნახ.3

ამ სამყაროს ღირსება იმაშია, რომ იქ „ყველაფერი შეიძლება“. ეს მნიშვნელოვანია გამოცდისათვის, სრულყოფისათვის, ახალი პროდუქტების აპრობირებისათვის და ა.შ. სწავლება განისაზღვრება შერეული მეთოდით ერთ ციფრულ პლატფორმაზე.

ფლორიდის ცენტრალურ უნივერსიტეტში, შერეული სასწავლო გარემო, ჩატარებული საერთაშორისო კვლევის თანახმად „სრულად ინტერაქტიული ან სრულად f2f [პირისპირ] სწავლის ტრადიციული ფორმით სწავლებასთან შედარებით სტუდენტური მიღწევები უფრო მაღალი იყო შერეული სწავლების დროს. -კვლევის უმეტესობის თანახმად განაცხადეს, რომ ფაკულტეტის 88%, რომელიც ასწავლიდა შერეულ კურსებს, კურსისგან კმაყოფილი იყო“.

განსაზღვრავს რა ტრენინგის დიდ ეფექტურობას, მ. მამარდაშვილი ამბობს: „აზროვნების პირობებში ყოფნა რთული პროცესია და ადამიანისგან მოითხოვს იმდენს, რამდენსაც ყველა ვერ დასძლევს, განსაკუთრებით მუდმივი ვარჯიშის გარეშე. ადამიანი თავის არსებაში უცვლელია“. კომპიუტერი სასწავლო პროცესის გააქტიურების, სტუდენტთა აქტივობის და შემეცნებითი გაძლიერების ერთ-ერთი საშუალებაა. ტექნოლოგიური მიღწევები არად ღირს, თუ პედაგოგები ვერ გამოიყენებენ მათ. კომპიუტერი კი - ამარტივებს მის არსებობას არა ფიზიკურად, არამედ გონებრივად.

ფსიქოლოგი ჰერმან ებინგჰაუსის კვლევები ადასტურებს, რომ როცა იგი მოწაფეს 36 უაზრო მარცვალს აწვდიდა დასამახსოვრებლად, საშუალოდ 55 გამეორება იყო საჭირო, ლექსის დამახსოვრებისას კი მხოლოდ 6-7 გამეორება.

ჩვენ შემთხვევაში წინა პლანზე გამოდის ინტერაქტიული ციფრული სილაბუსების მეცნიერულად დახვეწილი, შინაარსობრივად აღქმადი და გასაგები ნაშრომის შექმნა. ისინი შინაარსობრივად სრულად ადექვატურია, ზოგიერთ შემთხვევაში კი უფრო აღქმადი, რაც ინტეგრირებულია სწავლების „საკონტაქტო საათებთან“, რომელიც განთავსებულია ერთ პლატფორმაზე. ასეთი ნაშრომის შექმნა დიდი ტრადიციების მქონე უნივერსიტეტებში, ძალუძს მხოლოდ საკმაოდ გამოცდილ პედაგოგებს, სადაც დიდ წარმატებას აღწევენ ახალბედა პედაგოგებთან ერთად მოწვეული სპეციალისტები და პროფესორი ემერიტუსები თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენებით.

საყურადღებოა საქართველოს განათლების და მეცნიერების მინისტრის მიხეილ ჩხენკელის მთავარი მესიჯი თსუ-სათვის შვიდი ძირითადი გამოწვევის შესახებ, გამოწვევათა შორის მნიშვნელოვანია მოწვეულ სპეციალისტთა ცოდნათა რესურსების მაქსიმალური გამოყენება და სწავლების ელექტრონული სისტემების ფართო დანერგვა [6].

3. პრაქტიკული გამოცდილება

ციფრული სილაბუსები აგებულია ჩაშენებული ფიზიკური და მათემატიკური პროცედურების მოდელებით, გრაფიკებით, 3D-ფორმატებით, ანიმაციებით და ა.შ., რომლებიც გამოირჩევა ათვისებისა და გამოყენების სიმარტივით, ინტუიციურად გასაგები ინტერფეისით; ისინი მოცემულია „სარიგებელის“ სახით ალბომის ტიპის ფორმატით ერთი ფურცლის ორ გვერდზე, რომელთა რაოდენობა დისციპლინის საკურსო პროგრამით შეიძლება 7-ზე მეტი ან ნაკლები იყოს.

სასწავლო პროცესის დროს ინფორმაციული კომპიუტერული მოდელების გამოყენებისას მოითხოვება სტუდენტის მიერ უმაღლესი მათემატიკური და ფიზიკის განათლების აუცილებლობა. სტუდენტი ქვეცნობიერად უბრუნდება კომპიუტერული ტექნოლოგიების მათემატიკურ საფუძვლებს და უკვე მოდელებზე მუშაობის დროს ხდება მისი ფუნდამენტური განმტკიცება. ამ პროცესში მას დიდ დახმარებას უწევს კომპიუტერულ მოდელებში ჩაშენებული ფიზიკური მოდელების და მათემატიკური პროცედურების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ცალკეული ელექტრონული მოდელების და მათემატიკური ფუნქციების რეალიზებას ახდენს.

ამ შემთხვევაში, სტუდენტთათვის ძალიან მიმზიდველია ვირტუალური მიკროსქემის საინჟინრო მოდელების მცირე მოცულობის საგანმანათლებლო პროგრამები (ბევრი მათგანი ხშირად უფასოა), ინტეგრირებული ინტერაქტიულ გარსში, რაც სტუდენტს საშუალებას აძლევს

წრფივი ინტერპოლაციის პროცესების მოდელირება ანიმაციის რეჟიმში.

დისპლეის ეკრანზე გამოსახულების მიმდევრობითი ასახვა დროში განვითარებული მიმდევრობითი კადრების წარმოადგენს ანიმაციის უწყობდა.

MathCAD-პროგრამაში ანიმაციის რეჟიმში, წრფივი ინტერპოლაციის პროცესების მოდელირებისას, თავდაპირველად საჭიროა გამოვიტანოთ პროგრამის ინსტრუმენტების პანელიდან ფანჯარა „ანიმაციის ჩაწერა“. შემდეგ მოვნიშნათ ობიექტი(ნახ.4.), რომლის შიგთავსი უნდა იყოს ცვლადი FRAME(დისკრეტა)-ს. შვეიტანით ფანჯარის ველში დისკრეტის საწყისი და ბოლო მნიშვნელობები, და შემდეგ, ავამოქმედოთ ანიმაციის დილაგი. მოხდება პროცესის ჩაწერა და შემდეგ მისი ჩვენება მიმდევრობითი კადრებით დიაგრამის სახით 10 კადრ/წამში სიხშირით.

უბან-უბან წრფივი ინტერპოლაცია ანიმაციის ფორმატში(რეჟიმში)

$f(x) = x^3 - x^2$ -არაპერიოდული ფუნქცია

$a=0, b=3, h = \frac{a+b}{5} = 0.6, i=0,5$ -გამსახვებრივი ფუნქცია $f(x)$ 6 კადრზე წერტილში 0.6 სიღრმე [0,3] პირველობა

$f_1 = a + hi, y_1 = f(x_1), x = 0,0,1,3,8$ -ცვლადი Z გამსახვებრივი [0, 3,8] პირველობა, ჩაგრ უფრო ნაკლები -0,0,1 სიღრმე ვიდრე X

$f(x) = \text{interp}(x, y, z)$ -წრფივი ინტერპოლაცია -ავტომატურად უნდა იყოს შეყვანილი წერტილები X ინტერპოლაციის განმარტების შიგნით.

$f_2 = \text{FRAME}$ -ცვლადი მ/40 გამსახვებრივი [0, 3,8] პირველობა, ჩაგრ უფრო ნაკლები -0,0,1 სიღრმე ვიდრე X

$f(x) = \text{interp}(x, y, \frac{h}{40})$ -ავტომატურად უნდა იყოს შეყვანილი წერტილები X ინტერპოლაციის განმარტების შიგნით.

ნახ. 5 წრფივი ინტერპოლაციის პროცესების მოდელირება ანიმაციის რეჟიმში

ანალიტიკური სივრცის ციფრული დასუშავება უბან-უბან წრფივი ინტერპოლაციის გამოყენებით

უბან-უბან წრფივი ინტერპოლაცია დოკალური ინტერპოლაციის მარტივი და ხშირად გამოყენებული მეთოდია. როცა საჭიროა ორ ნებისმიერ მოცემულ წერტილზე შორის მნიშვნელობათა ინტერპოლაცია, იგი გამოიხატება ფუნქციის $f(x)$ მოცემულ ყოველ ორ მუხრამეულ წერტილზე $M(x_i, y_i) (i=0,1,...,n)$ გამოყენებით სწორხაზოვანი მონაკვეთების შეერთებით, ხადაც მოცემული ფუნქცია უახლოვდება მონაკვეთთა წერტილების მნიშვნელობებს. მონაკვეთის განტოლვას რომელიც გადის (x_i, y_i) და (x_{i+1}, y_{i+1}) წერტილებზე აქვს შემდეგი სახე: $(y - y_i)(x_{i+1} - x_i) = (x - x_i)(y_{i+1} - y_i)$. აქედან $y = a x + b$, $x = x_{i+1} - x_i$ (1). გამოვიყენოთ ცოცხიციფრებზე $a = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}$ და $b = y_i - a x_i$.

უბან-უბან წრფივი ინტერპოლაციის გამოყენების დროს უნდა განისაზღვროს ინტერვალი, რომელშიც თავსდება არგუმენტის (x) მნიშვნელობა. შესდეგ ფორმულა (1) ამოხსნით მოიძებნოს მოახლოებათა მნიშვნელობა საბიბეგულ წერტილში. პროგრამა MathCAD -ში მოცემულია ნახ.1. საცდელი ფუნქციის $\sin(x)$ -ის ნახეყარაერიოლი ნახ.2. ყ ფუნქცია და ტოლი ინტერვალებით ცხრადი x_0 ნახ.3. ინტერპოლაციული ფუნქცია და ცხრადი z შემტარებული ინტერვალით. ინტერვალისა და წერტილების რაოდენობის ოპტიმალური ცვლადებით მიიღწევა $f(x)$ ფუნქციის სასურველი სიხუხუთი ნახეგ.

უბან-უბან წრფივი ინტერპოლაცია

$a=1, b=3, h = \frac{a+b}{5} = 0.6, i=0,5$ -გამსახვებრივი ფუნქცია $f(x)$ 6 კადრზე წერტილში 0.6 სიღრმე [0,3] პირველობა

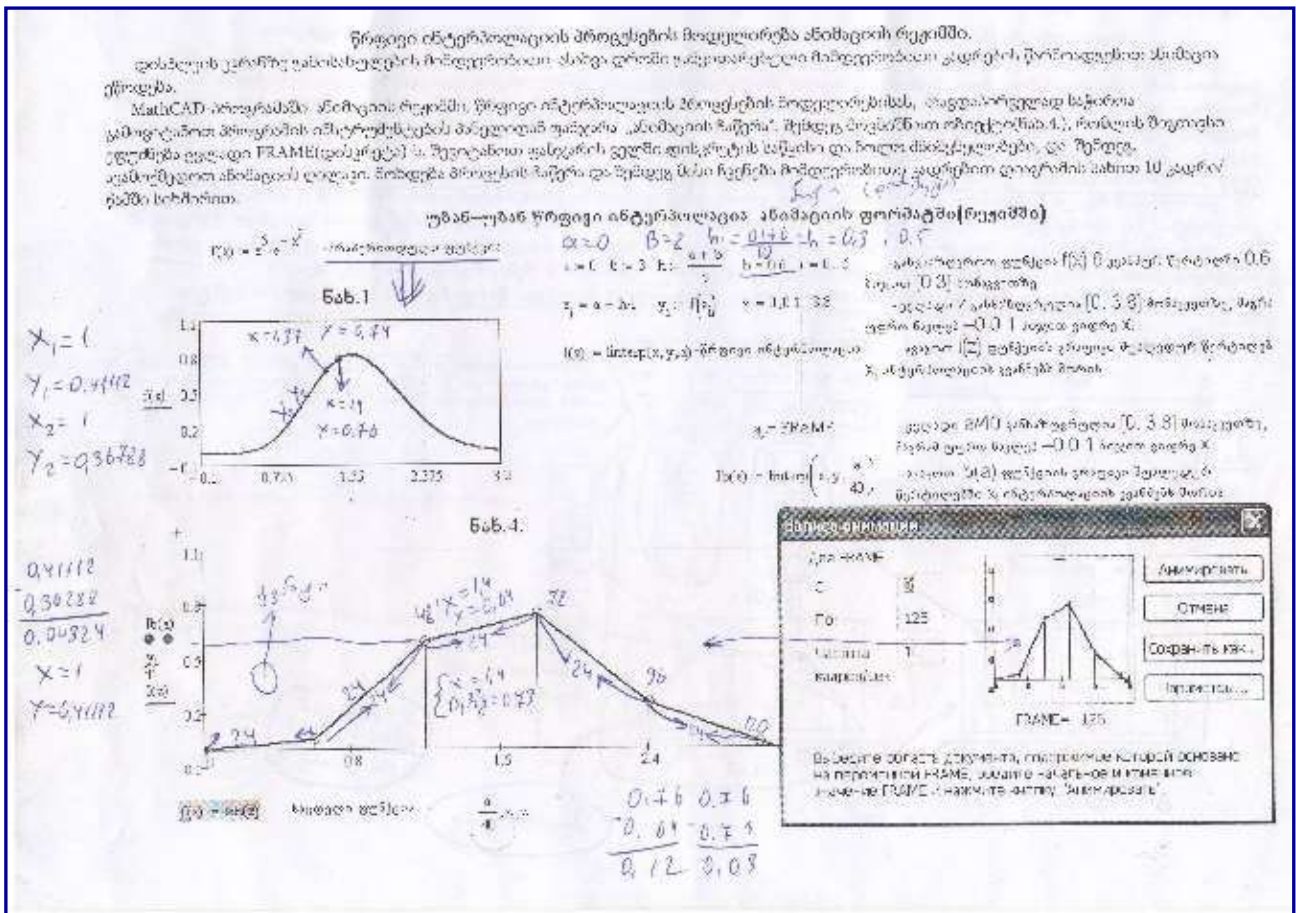
$f_1 = a + hi, y_1 = f(x_1), x = 0,0,1,3,8$ -ცვლადი Z გამსახვებრივი [0, 3,8] პირველობა, ჩაგრ უფრო ნაკლები -0,0,1 სიღრმე ვიდრე X

$f(x) = \text{interp}(x, y, z)$ -წრფივი ინტერპოლაცია -ავტომატურად უნდა იყოს შეყვანილი წერტილები X ინტერპოლაციის განმარტების შიგნით.

$f_2 = \text{FRAME}$ -ცვლადი მ/40 გამსახვებრივი [0, 3,8] პირველობა, ჩაგრ უფრო ნაკლები -0,0,1 სიღრმე ვიდრე X

$f(x) = \text{interp}(x, y, \frac{h}{40})$ -ავტომატურად უნდა იყოს შეყვანილი წერტილები X ინტერპოლაციის განმარტების შიგნით.

ნახ. 6. სტუდენტის ნამუშევრის მაგალითი



ნახ. 7. სტუდენტის ნამუშევრის მაგალითი

4. დასკვნა

შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ ადრე სწავლების ვირტუალური ნაწილი, რომელიც ადამიანის აზრობრივ რეალობაში თავსდება, არ იყო ის გარემო, სადაც იქმნებოდა ახალი იდეები და პროდუქტები. ახლა ვირტუალური ნაწილი შეთანხმებულია რეალურთან. შეიძლება შეიქმნას „რეალურ მოვლენებზე დაფუძნებული“ სწავლება რომელიც თავადვე ქმნის „სწავლებას სწავლებაში“ ერთ ციფრულ პლატფორმაზე.

სწავლებაში გამოიყენება ინკლუზიური განათლება და უზრუნველყოფს ტრენინგზე თანაბარ ხელმისაწვდომობას, რაც ძირითადად ყურადღებას ამახვილებს სტუდენტთა ძლიერი მხარეებისა და ნიჭის განვითარებაზე და არა მათ პრობლემებზე.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Adamia Z. (2013). Creating an Interactive Information-Learning Environment of Engineering Education Using Information Technology. Transact. of Georgian Technical Univ. Automated Control Systems, No3(16), Tbilisi, pp.76-79 (in Georgian)
2. Adamia Z. (2016). Interactive Learning or Chinese Parable in Engineering Education. Transact. of Georgian Technical Univ. Automated Control Systems, No 2(22), Tbilisi, pp.209-212 (in Georgian)
3. Adamia Z, Kutsia T. (2017). Interactive Computer Models, as one of the Basic Means of Development of Engineering Education. Transact. of Georgian Technical Univ. Automated Control Systems, No1(23). Tbilisi, pp.225-231 (in Georgian)

4. Adamia Z, Kutsia T., Tevdorashvili N. (2019). Interactive digital syllabuses in engineering education (Digital Teaching).No1(28), Tbilisi, pp.118-122 (in Georgian)
5. Adamia Z., Tsveraidze Z.(2020) Digital dividends in engineering education. Transact. of Georgian Technical Univ. Automated Control Systems, No 2(31)2020, Tbilisi, pp. - (in Georgian)
6. Chkhenkeli M. (2021).The main message of the Minister of Education and Science of Georgia: Seven main challenges for TSU.
7. USAID General Education Program, Jan.20–Jan.24, RTI International www.rti.org(link is external)

(სტატია მიღებულია 19.03.2023)

INTERACTIVE DIGITAL SYLLABUSES FOR ENGINEERING EDUCATION DURING THE PANDEMIC AND POST-PANDEMIC PERIOD

Aadamia Zaur, Tsveraidze Zurab
Georgian Technical University

Summary

In relation to social isolation in the background of the coronavirus and its consequences, the risks for science are increasing, where the most common cause of forgetting is insufficient quality of memorization and poor consolidation of received information. Consideration of the need for state support to provide additional assistance to students, which led to their need for additional classroom hours. In this regard, interactive is important. Digital syllabuses that are adequate for "regular" contact hours. It is noteworthy that in the virtual contact environment, rather than in the "normal" one, the student is in a more democratic environment and in comfortable conditions: he is engaged in individual learning, which is adjusted to his interests and causes in his mind a feeling of adequate self-esteem. At the same time, the student chooses the desired time and place of teaching.

(Received 19.03.2023)

ИНТЕРАКТИВНЫЕ ЦИФРОВЫЕ СИЛАБУСЫ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ И ПОСТПАНДЕМИИ

Адамия З., Цвераидзе З.
Грузинский технический университет
z.adamia@gtu.ge; z.tsveraidze@gtu.ge
Резюме

Обсуждается важность интерактивных цифровых силабусов для дальнейшего совершенствования образования. Их вполне достаточно для «нормальных» контактных часов. Примечательно, что в виртуальной контактной среде, а не в «обычной», студент находится в более демократичной среде и в комфортных условиях: он занимается индивидуальным обучением, которое подстраивается под его интересы и вызывает в его сознании чувство адекватной самооценки. При этом студент сам выбирает желаемое время и место обучения.

(Поступила 19.03.2023)

მზის ფოტოელექტრული სადგურების პროექტების განვითარების პერსპექტივები

პაატა ჯოხაძე, ნიკა ბერიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

paata_j@yahoo.com, nika.beridze@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია მზის ფოტოელექტრული სადგურების პროექტების განვითარების როლი გლობალური კლიმატის ცვლილებასთან (გლობალურ დათბობასთან) დაკავშირებული მოსალოდნელი მძიმე შედეგების თავიდან აცილების ქმედებებში. განხილულია მზის ფოტოელექტრული მოდულების წარმოების ტექნოლოგიების განვითარების გეგმები, მათი მარგი ქმედების კოეფიციენტების (მქკ) ზრდის ტენდენციები და მისი მნიშვნელობის ცვლილების გამომწვევი ფაქტორები, მზის ფოტოელექტრული სადგურების პროექტების განვითარების პერსპექტივები.

საკვანძო სიტყვები: კლიმატი. ცვლილება. გლობალური დათბობა. განახლებადი ალტერნატიული ენერჯის. მზის ფოტოელექტრული სადგური. მზის ფოტოელექტრული მოდული.

1. შესავალი

ნებისმიერი წარმოება და ზოგადად კაცობრიობის პრაქტიკული საქმიანობა, მოღვაწეობის ნებისმიერ სფეროში, შეიძლება განხილული იქნეს როგორც ენერჯის ნაკადების კონცენტრაციაზე დამოკიდებული პროცესი. პრაქტიკული საქმიანობის წარმატებულად განხორციელებისთვის კაცობრიობას ესაჭიროება ელექტროენერჯია, რომელშიც მოთხოვნილება განუწყვეტილად იზრდება.

წიაღისეულ საწვავზე მომუშავე ელექტროსადგურები სატრანსპორტო საშუალებებთან ერთად, დედამიწის ატმოსფეროს დაბინძურების მნიშვნელოვანი წყაროა, რაც წარმოადგენს გლობალური კლიმატის ცვლილების ერთ-ერთ ძირითად მიზეზს და რამაც შეიძლება პლანეტა კლიმატური კატასტროფის წინაშე დააყენოს.

კლიმატის ცვლილების მთავრობათაშორის ექსპერტთა ჯგუფის (IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change) აზრით ჯერ კიდევ არსებობს გლობალური დათბობის მიერ გამოწვეული მძიმე შედეგების თავიდან აცილების შანსი, თუ ჩატარებული იქნება ენერგორესურსების მოხმარების არსებული სისტემების მოდიფიცირების და ჩანაცვლების ღონისძიებები.

უკვე აქტიურად მიმდინარეობს ეკოლოგიურად სუფთა სატრანსპორტო საშუალებების შემუშავება და წარმოება. ევროკავშირის 2023 წლის რიგ დადგენილებათა თანახმად 2035 წლიდან აიკრძალება წიაღისეულ საწვავზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალებების რეგისტრაცია და შესაბამისად წარმოება, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს ელექტროენერჯის მოთხოვნილების მკვეთრ ზრდას და განახლებად წყაროებზე მომუშავე ელექტროსადგურების პროექტების განვითარების აუცილებლობას.

2. ძირითადი ნაწილი: მზის ფოტოელექტრული მოდულები

გლობალური კლიმატის ცვლილების ფონზე, განსაკუთრებული ყურადღების ქვეშ მოექცა განახლებადი ენერჯის ალტერნატიული წყაროს – მზის გამოსხივების, ფაქტობრივად

ულევიენერგის გამოყენების პროექტების განვითარება, რომელიც დღეის მდგომარეობით ერთ-ერთი ძირითადი პრიორიტეტია ევროკავშირისთვის. მზის ფოტოელექტრული სადგურების პროექტების განვითარება უპირველეს ყოვლისა ემსახურება დედამიწის ატმოსფეროში ე.წ. „სათბურის გაზების“ ემისიის შემცირებასა და შესაბამისად კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებული პრობლემების გადაწყვეტას. საქართველომ 2014 წელს ასოცირების ხელშეკრულებით აიღო ევროკავშირის ენერგეტიკული კანონმდებლობის მესამე პაკეტთან ჰარმონიზების ვალდებულება და ამით საქართველო ჩაერთო კლიმატის ცვლილების შედეგად გამოწვეული პრობლემების მოგვარებაშიც [1, 2].

არც თუ ისე მორეულ წარსულში, მზის ფოტოელექტრული სადგურის მუშა ელემენტს, ფოტოელექტრულ მოდულს (PV Module – Photovoltaic Module) გააჩნდა დაბალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ–Efficiency), რომელიც საუკეთესო შემთხვევაში არ აღემატებოდა 15%-ს, სიცოცხლის (მუშაობის) ხანგრძლივობა (Lifetime) განისაზღვრებოდა 10-14 წლით. მაშინდელი გამოყენებული ტექნოლოგიების გამო მისი ღირებულებაც საკმაოდ მაღალი იყო, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებდა რენტაბელობას, ამ მიზეზით ფერხდებოდა ქსელთან მიერთებული მძლავრი მზის ფოტოელექტრული სადგურების პროექტების განვითარება. ფოტოელექტრული მოდულები ძირითადად გამოიყენებოდა ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე საოჯახო (ინდივიდუალურ) მზის ელექტროსადგურებში.

გლობალური კლიმატის ცვლილებებთან დაკავშირებულმა გამოწვევებმა მნიშვნელოვანი ბიძგი მისცა მზის ფოტოელექტრულ მოდულების წარმოების ტექნოლოგიების მაღალი ტემპებით განვითარებას. 2016 წელს, აშშ-ს ენერგეტიკის სამინისტროს (DEO–Department of Energy) მზის ენერჯის ტექნოლოგიების ოფისმა (SETO–Solar Energy Technologies Office) დაისახა მიზანი: 2030 წლისთვის შეამციროს ფოტოელექტრული დანადგარების ელექტროენერჯის არასუბსიდირებული დონის ღირებულება (LCOE–levelized cost of electricity) 2020 წლისთვის არსებული 5 ცენტ/კვტ-სთ-დან 3 ცენტ/კვტ-სთ-მდე.

დასახული მიზნის მისაღწევად, უნდა გაუმჯობესდეს PV მოდულების სისტემების ეკონომიკური მაჩვენებლები რამდენიმე პარამეტრის მიხედვით, სიცოცხლის ხანგრძლივობის მთელი პერიოდისთვის. ერთ-ერთ მთავარი პარამეტრია PV მოდულის მინიმალური მდგრადი ფასი (MSP– minimum sustainable price), რომლის შემცირებაც, ძირითადად, დამოკიდებულია წარმოების ტექნოლოგიების დახვეწაზე.

2019 წლისთვის მეტად გავრცელებული სილიციუმის პოლიკრისტალური და მონოკრისტალური PV მოდულების ღირებულება შედარებით დაბალი იყო და შეადგენდა შესაბამისად \$0.25/W და \$0.28/W, მათი მქკ-ები იცვლებოდა შესაბამისად 13%-დან 17%-მდე და 18%-დან 22,5%-მდე. გრძელვადიან პერსპექტივაში (2030 წლისთვის) მოსალოდნელია მათი ღირებულების შემცირება \$0.17/W-\$0.18/W-მდე [3].

განსხვავება PV მოდულების მქკ-ებში განპირობებულია ფოტო-ელემენტების მასალის სიწმინდეზე, სინათლის სხივის არეკვლის/შთანთქმის უნარზე, მაგალითად: მონოკრისტალური მოდულის ფოტოელექტრული გარდამქმნელი ელემენტების ზედაპირს აქვს სინათლის სხივის არეკვლის შედარებით ნაკლები კოეფიციენტი, მისი ზედაპირი შედარებით მუქი, თითქმის შავი ფერისაა. ზოგადად კი ყველა ტიპის ფოტოელექტრული მოდულის დაბალი მქკ-ის ერთ-ერთი მიზეზის ისაა, რომ მზის სხივის ენერჯის გარკვეული ნაწილი იხარჯება ფოტოელექტრული მოდულის კონსტრუქციის გათბობაზე.

მზის ფოტოელექტრული მოდულების ზემოთ მოყვანილი მქკ-ის მნიშვნელობები არ წარმოადგენს იმ ზღვარს, რომელიც შეიძლება გააჩნდეს მოდულს. ვაშინგტონის უნივერსიტეტის სუფთა ენერჯიების ინსტიტუტის (Clean Energy Institute – University of Washington) მიერ 2021 წლის მიწურულში გავრცელებული ინფორმაციის თანახმად მკვლევარებმა შეძლეს სილიციუმ-პეროვსკიტის (კალციუმ ტიტანიუმის ოქსიდის მინერალი CaTiO_3 – Perovskite) ე.წ. ტანდემით შეექმნათ მზის ფოტოელექტრული გარდამქმნელი ელემენტის საცდელი ნიმუში, რომლის მქკ 29.1%-ის ტოლია და მოსალოდნელია მისი შემდგომი ზრდა, ამასთანავე მოსალოდნელია, რომ ეს ელემენტები უახლოეს მომავალში გადაიქცევა ჩვეულებრივი სილიციუმის მონოკრისტალური მზის ფოტოელექტრული მოდულების იაფიან ალტერნატივად.

2022 წლის 18 მაისს აშშ-ს ენერჯეტიკის სამინისტროს განახლებადი ენერჯიის ეროვნული ლაბორატორიის (NREL–National Renewable Energy Laboratory) მიერ გავრცელებული იქნა ინფორმაცია იმის შესახებ, რომ მკვლევარებმა შექმნეს მზის ფოტოელექტრული გარდამქმნელი ელემენტი მქკ-ის რეკორდული მნიშვნელობით 39,5% დედამიწის და 34,2% კოსმოსის პირობებში (<https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/82374.pdf>).

ზემოთ მოყვანილი დაბალი ფასები და მქკ-ის მაღალი მნიშვნელობები ახლო მომავალში გაცილებით მიმზიდველს გახდის მზის ფოტოელექტრული სადგურების პერსპექტივას, მაგრამ მზის ფოტოელექტრული მოდულის შედარებით მაღალი მქკ ჯერ კიდევ არ ნიშნავს, რომ შესაბამისად გაიზრდება ფოტოელექტრული სადგურის გამომუშავება. მწარმოებლები მზის ფოტოელექტრული მოდულების მქკ-ს განსაზღვრავენ ტესტირების სტანდარტული პირობებისთვის (STC – Standard Test Conditions), რომლისთვის გარემოს ტემპერატურა $+25^{\circ}\text{C}$ -ის ტოლია, შემდეგი ფორმულით:

$$\eta(\%) = \frac{P_{max25^{\circ}}}{(S_m \cdot 1000\text{W}/\text{m}^2)} \cdot 100$$

სადაც: $P_{max25^{\circ}}$ – მოდულის მაქსიმალური სიმძლავრეა მოცემული პირობებისთვის, ხოლო S_m – მოდულის ზედაპირის ფართობი.

ტემპერატურის ცვლილება გავლენას ახდენს მოდულის მაქსიმალურ სიმძლავრეზე, შესაბამისად მოდულის მქკ-ზე, ყოველი მწარმოებელი ადგენს თავისი პროდუქციის k_t სიმძლავრის ტემპერატურულ კოეფიციენტს, რომლითაც დგინდება მოდულის სიმძლავრე ნებისმიერი t° ტემპერატურისთვის შემდეგი ფორმულით:

$$P(t^{\circ}) = P_{max25^{\circ}} \cdot (100\% + \text{sgn}(25 - t^{\circ}) \cdot (25 - t^{\circ}) \cdot k_t),$$

რომელიც გვიჩვენებს, რომ ტემპერატურის ზრდისას მოდულის სიმძლავრე კლებულობს, ხოლო ტემპერატურის შემცირებისას მოდულის სიმძლავრე მატულობს. მაგალითად: კომპანია AE SOLAR-ის მზის ფოტოელექტრული მოდულის AE550HM6L-72 გამომავალი სიმძლავრე ტესტირების სტანდარტული პირობებისთვის 550 ვტ-ის ტოლია, სიმძლავრის ტემპერატურული კოეფიციენტი არის $0.35\%/^{\circ}\text{C}$, ხოლო მისი გამომავალი სიმძლავრე კი 35°C :

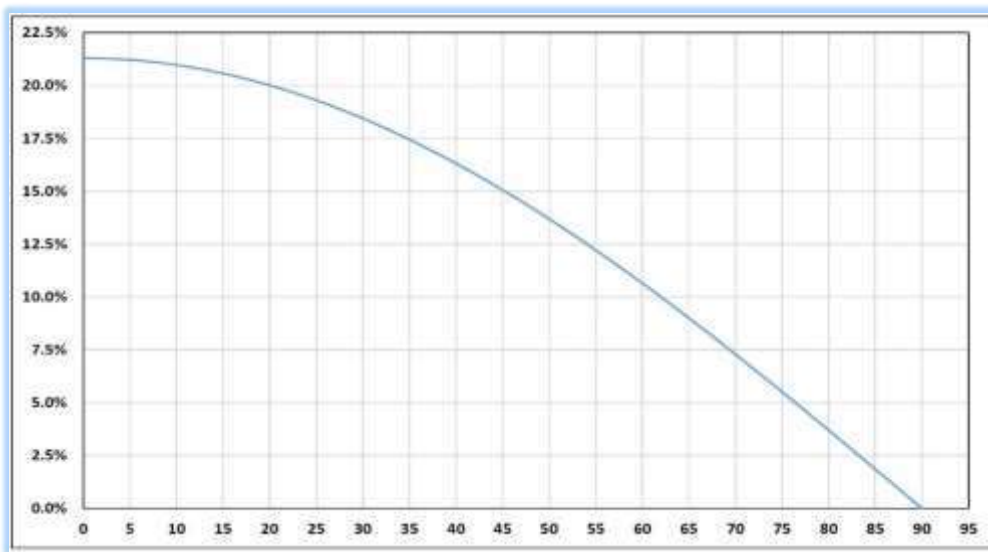
$$P(35^{\circ}\text{C}) = 550 \cdot (100\% - 10 \cdot 0.35\%) = 530 \text{ ვტ}$$

ხოლო 5°C -ზე ტოლი იქნება:

$$P(5^{\circ}\text{C}) = 550 \cdot (100\% + 20 \cdot 0.35\%) = 589 \text{ ვტ}$$

თუ გავითვალისწინებთ მაქსიმალური სიმძლავრის გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ფაქტს, მაშინ პირველი პრინციპი მზის ფოტოელექტრული სადგურის ეფექტურობის გაზრდაში მდგომარეობს იმაში, რომ იგი უნდა განთავსდეს არა ცხელ კლიმატურ ზონაში, არამედ ზომიერად გრილ კლიმატურ ზონაში, სადაც ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა შედარებით ნაკლებია.

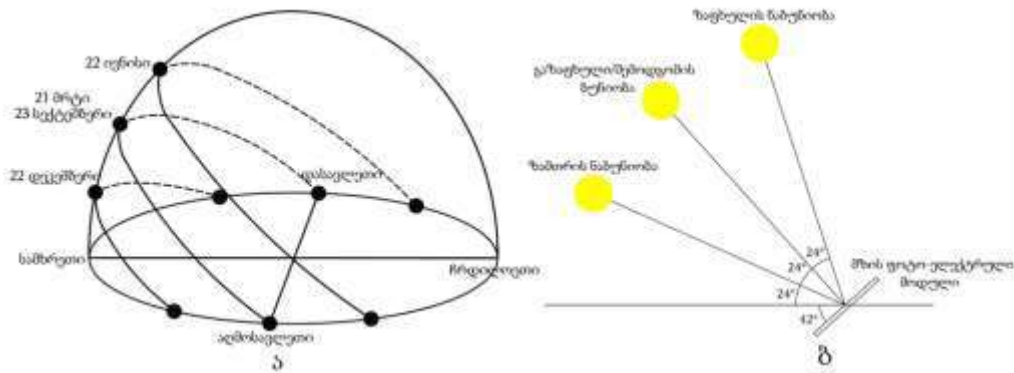
ტემპერატურის გარდა, მზის ფოტოელექტრული მოდულის მქვ დამოკიდებულება მის ზედაპირზე დაცემული სხივების კუთხეზე მოდულის ზედაპირის ნორმალისადმი, რაც მეტია ეს კუთხე, მით ნაკლებია მქვ, ნახაზზე 1 მოცემულია მზის ფოტოელექტრული მოდულის მქვ-ის დამოკიდებულება მის ზედაპირზე სხივის დაცემის კუთხეზე მოდულისთვის, რომლის მქვ-ის ბაზური მნიშვნელობა ტოლია 21.3%.



ნახ. 1. ფოტოელექტრული მოდულის მქვ-ს დამოკიდებულების გრაფიკი სხივის დაცემის კუთხეზე

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ფოტოელექტრული მოდულის მქვ სხივის მისი ზედაპირის ნორმალის მიმართ 90° -იანი კუთხით დაცემისას უტოლდება 0-ს, ამ დროს მზის პირდაპირი სხივები მიმართულია მოდულის ზედაპირის პარალელურად და არ ხდება მათი მოდულის ფოტოელექტრული ელემენტის ზედაპირზე დაცემა. ასეთ შემთხვევაში ფოტოელექტრული ელემენტის ზედაპირამდე აღწევს მხოლოდ მზის გაფანტული გამოსხივება, რომლის წყაროს არა მზე, არამედ დედამიწის ატმოსფეროა და რომლის მიერ გადატანილი ენერგია მზის სხივების მიერ გადატანილი სრული ენერგიის 25%-ს არ აღემატება.

მოწმენდილი ცის პირობებში მზის გაფანტული გამოსხივების ენერგია გაცილებით ნაკლებია ღრუბლიანი ცის პირობებთან შედარებით. მზის პირდაპირი სხივების დაცემის კუთხე ფიქსირებული დახრის კუთხით (საქართველოსთვის წარმოადგენს ჰორიზონტისადმი 42° -ს) დამონტაჟებულ მზის მოდულის ზედაპირზე განუწყვეტლივ იცვლება მზის მოძრაობისას აღმოსავლეთიდან დასავლეთისკენ და მზის მოდულის განთავსების მოცემული ლოკაციისთვის შესაძლო მაქსიმუმს აღწევს მხოლოდ გაზაფხული/შემოდგომის ბუნობის დღეებში, როცა მზე იმყოფება ზენიტში (ნახ.2-ა, ბ).



ნახ. 2. მზის მოძრაობის ტრაექტორიები ბუნიობის და ნახუნიობის დღეებში

3. დასკვნა

ფიქსირებული კუთხით დამონტაჟებული მზის ფოტოელექტრული მოდულის ზედაპირზე მზის პირდაპირი სხივების დაცემის კუთხის ცვლილება არსებით გავლენას ახდენს ფოტოელექტრული სადგურის წლიურ გამომუშავებაზე, თუ გავითვალისწინებთ მოდულის მკკ-ის ცვლილებას მზის ყოველდღიური მოძრაობისას აღმოსავლეთიდან დასავლეთისკენ და მზის მოძრაობის ტრაექტორიის სეზონურ ცვლილებებს, შეიძლება ითქვას, რომ უხეში შეფასებით, წლიურად გამომუშავებული ენერჯის დანაკარგები, მხოლოდ მზიან ამინდში, შეადგენს შესაძლო მაქსიმალური გამომუშავების თითქმის ნახევარს და ამის დასაბუთება მათემატიკურადაც არის შესაძლებელი.

ქსელთან მიერთებული, მძლავრი ელექტროსადგურების მზის ფოტოელექტრული მოდულების დამონტაჟება ფიქსირებული კუთხით ეკონომიის მიღების თვალსაზრისით ყოველნაირად გაუმართლებელია, ვინაიდან ამ შემთხვევაში ენერჯის რეალიზებიდან მიღებული შემოსავლები თითქმის ნახევრდება. გაცილებით ნაკლები, მაგრამ გასათვალისწინებელია დანაკარგები, რომელსაც ადგილი აქვს გარემოს 25°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ამ ფაქტორების გათვალისწინება საქართველოსთვის, რომლის უმეტეს რეგიონებში წლის განმავლობაში საშუალოდ 220-დან 280-მდე დღე მზიანია, რაც გულისხმობს წლის განმავლობაში მზის ნათებას 2000 საათიდან 2500 საათამდე [4].

ლიტერატურა – References – ЛитератураЖ

1. Devadze M. (2020). Solar energy in Georgia: problems, challenges and necessary measures. Research conducted with the support of the Tbilisi office of the Heinrich Böll Foundation - South Caucasus region. Tbilisi: Heinrich Boell Foundation. 2020, -47 p. (in Georgian)
2. Georgia's Third National Communication to the UNFCCC. Tbilisi: Ministry of Environment and Natural Resources Protection of Georgia. 2015, -266 p.
3. Brittany L. Smith, Michael Woodhouse, Kelsey A. W. Horowitz, Timothy J. Silverman, Jarett Zuboy, and Robert M. Margolis. Photovoltaic (PV) Module Technologies: 2020 Benchmark Costs and Technology Evolution Framework Results. Report. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Denver, USA. 2021, -66 p (<https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/78173.pdf>).
4. Technical regulation: "Building Climatologist", Appendix 5. Tbilisi: 2008, -88 p. (in Georgian)

(სტატია მიღებულია 24.03.2023)

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANT PROJECTS

JokhadzePaata, BeridzeNika

Georgian Technical University

paata_j@yahoo.com, nika.beridze@gtu.ge

Summary

This article discusses the role of the development of Solar Photovoltaic Plant Projects in actions to prevent the expected severe consequences associated with global climate change (global warming). Plans for the development of technologies for the production of solar photovoltaic modules, trends in the growth of their efficiency coefficients and factors causing a change in its value, prospects for the development of projects of solar photovoltaic plants are discussed.

(Received 24.03.2023)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТОВ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

ДжохадзеП., БеридзеН.

Грузинский Технический Университет

paata_j@yahoo.com, nika.beridze@gtu.ge

Резюме

Рассматривается роль развития проектов солнечных фотоэлектрических станций в действиях по предотвращению ожидаемых тяжелых последствий, связанных с глобальным изменением климата (глобальным потеплением). Обсуждаются планы развития технологий производства солнечных фотоэлектрических модулей, тенденции роста их коэффициентов полезного действия (КПД) и факторы, вызывающие изменение его величины, перспективы развития проектов солнечных фотоэлектрических станций.

(Поступила 24.03.2023)

მიკრო ჰიდროელექტროსადგურების როლი გლობალური დათბობის ზრდის ტემპების შემცირებაში

პაატა ჯოხაძე, დავით გოქაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

paata_j@yahoo.com, gokadze.d@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია კლიმატის ცვლილების საკითხი, როგორც 21-ე საუკუნის ყველაზე დიდი გამოწვევა. ბოლო წლებში, მსოფლიო მასშტაბით, მნიშვნელოვნად იმატა აისბერგების დნობამ და ჩამოშლამ, მყინვარების დნობამ, რასაც შეიძლება მოყვეს ოკეანეების და ზღვის დონის მატება; იმატა სტიქიური მოვლენების რაოდენობამ, როგორცაა: მიწისძვრები, ქარიშხლები და ქარბორბალები, წყალდიდობები, გვალვები, გარემოს არანორმალურად მაღალი ტემპერატურა და სხვა. ყოველივე ხსენებული უკავშირდება გლობალური დათბობის ფენომენს. გლობალური დათბობის ძირითადი მიზეზი ადამიანის პრაქტიკულ საქმიანობაში წიაღისეული ენერგომატარებლების გამოყენება და შედეგად, დედამიწის ატმოსფეროში ე.წ. „სათბურის გაზების“ ემისიები და შესაბამისად მათი კონცენტრაციების ზრდაა. აქედან გამომდინარე, სათბური გაზების ემისიის შემცირების ნებისმიერი მცდელობა მეტად მნიშვნელოვანია, რისთვისაც მაქსიმალურად უნდა იქნეს გამოყენებული ენერჯის განახლებადი წყაროები. ნაშრომში განხილულია გლობალური დათბობის პრობლემები დამიკროჰიდროელექტროსადგურების როლი კლიმატის ცვლილებებთან მიმართებაში.

საკვანძო სიტყვები: მიკრო ჰიდროელექტროსადგური. კლიმატის ცვლილება. „სათბური გაზები“. გლობალური დათბობა.

1. შესავალი

2023 წლის 20 მარტს შვეიცარიის ქალაქ ინტერლაკენში (Interlaken) კლიმატის ცვლილების საერთაშორისო ექსპერტთა ჯგუფის შეხვედრაზე ითქვა, რომ მიუხედავად იმისა, რომ კაცობრიობამ პლანეტა კლიმატური კატასტროფის წინაშე მიიყვანა, ჯერ კიდევ რჩება შანსი გლობალური ტემპერატურის უსაფრთხო საზღვრებში მოსაქცევად. მოქმედებისთვის დრო ჯერ კიდევ არის – გაერო-ს 2023 წლის კლიმატური მოხსენების საკვანძო გზავნილი.

ჯერ კიდევ შესაძლებელია გლობალური დათბობის მიერ გამოწვეული მძიმე შედეგების თავიდან აცილება, თუ ჩატარებულ იქნება ენერგორესურსების მოხმარების არსებული სისტემების მოდიფიცირების და ჩანაცვლების ღონისძიებები.

უკვე აქტიურად მიმდინარეობს ეკოლოგიურად სუფთა (მეგობრული) წყალბადსა და ელექტროენერჯიაზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალებების შემუშავება და წარმოება, ენერჯის განახლებად და ალტერნატიულ წყაროებზე (ჰიდროენერჯია; ოკეანის ენერჯია; ქარის ენერჯია; გეოთერმული ენერჯია; ბიო-ენერჯია; მზის ენერჯია) მომუშავე ელექტროსადგურების პროექტების განვითარება.

ენერჯის განახლებადი წყაროები ამოუწურავია და მათ გააჩნია დიდი პოტენციალი, რათა მნიშვნელოვნად შემცირდეს წიაღისეული საწვავის მოხმარება და მისგან მიღებული „სათბურის გაზების“ ემისია და ამით ხელი შეეწყოს გლობალური დათბობის ზრდის ტემპების შემცირებას.

კორექტულად რეალიზების შემთხვევაში ენერჯის განახლებად წყაროებს შეუძლია შეიტანოს მნიშვნელოვანი წვლილი საზოგადოების სოციალურ/ეკონომიკურ განვითარებაში, ენერჯისთან წვდომაში, ენერჯის უსაფრთხო და მდგრადი წყაროების განვითარებაში და ენერჯოუზრუნველყოფის გარემოსა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზემოქმედების შედეგების შემცირებაში.

კლიმატური კატასტროფების თავიდან აცილების მთავარი მექანიზმი ჯერ კიდევ კაცობრიობის ხელშია. „გვაქვს ნოუჰაუ, ტექნოლოგია, ხელსაწყოები, ფინანსური რესურსები - ყველაფერი, რაც საჭიროა იმ კლიმატური პრობლემების დასაძლევად, რომელთა შესახებაც უკვე დიდი ხანია ვიცით. ამ მომენტში გვაკლია მხოლოდ ძლიერი პოლიტიკური ნება, რათა ეს პრობლემები ერთხელ და სამუდამოდ გადავჭრათ“, - აღნიშნავს თავის გამოსვლაში IPCC (კლიმატის ცვლილების სამთავრობათშორისო ექსპერტთა ჯგუფი) თავმჯდომარე Hoesung Lee. ინტერლაკენში IPCC მეექვსე ანგარიშს თითქმის 200 ქვეყნის მთავრობა დათანხმდა, გარდა საუდის არაბეთისა, რომელიც სრულიად დაუსაბუთებლად ცდილობდა ამოეღოთ ანგარიშიდან წიაღისეული საწვავები გლობალურ დათბობის მთავარ მიზეზად. დღეის მდგომარეობით, წიაღისეული საწვავების წილი მთლიანი მოხმარებული ენერჯის 34%-ს შეადგენს, რაც მნიშვნელოვნად აზიანებს გარემოს და იწვევს კლიმატის ცვლილებას.

ზოგიერთი მეცნიერის აზრით, ოპტიმისტურ სცენარში, ანუ იმ შემთხვევაში, თუ არ დავუშვებთ ტემპერატურის 1,8 °C-ზე მეტით აწევას, კვლევები მიუთითებს, რომ 2100 წლისთვის, მსოფლიოს ნახევარზე მეტი საკუთარ თავზე გამოცდის სიცოცხლისთვის საშიშ უკიდურეს სიცხეს და შეიქმნება სასმელი წყლის დეფიციტი.

2. ძირითადი ნაწილი

დედამიწის ატმოსფეროში არსებული ძირითადი სათბური გაზები და მათი წვლილი გლობალურ დათბობაში მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში:

გაზი	ფორმულა	წვლილი (%)
წყლის ორთქლი	H ₂ O	36 – 72
ნახშირორჟანგი	CO ₂	9 – 26
მეთანი	CH ₄	4 – 9
ოზონი	O ₃	3 – 7
აზოტის ოქსიდი	N ₂ O	– 7

როგორც ცხრილიდან ჩანს, წყლის ორთქლი წარმოადგენს მთავარ ბუნებრივ სათბურ გაზს, რომელიც განაპირობებს დედამიწის ატმოსფეროზე ზემოქმედების 60%-ზე მეტს. სხვა ფაქტორებით გამოწვეული დედამიწის ტემპერატურის მატება ზრდის აორთქლებას და წყლის ორთქლის მთლიან კონცენტრაციას ატმოსფეროში, რაც თავის მხრივ ზრდის სათბურის ეფექტს. ამრიგად, ჩნდება ე.წ. დადებითი უკუკავშირი, როდესაც ატმოსფეროს საშუალო ტემპერატურის მატებასთან ერთად, მსოფლიო ოკეანეების აორთქლების მოცულობა იზრდება, რაც კიდევ უფრო აძლიერებს სათბურის ეფექტს. მეორეს მხრივ, ტენიანობის მატება ხელს უწყობს ღრუბლიანობის ზრდას, ხოლო ატმოსფეროში ღრუბლები ირეკლავენ მზის პირდაპირ რითაც

ზრდის დედამიწის ალბედოს (ზედაპირიდან არეკლილი სხივური ნაკადის ფარდობა მასზე დაცემულ სხივურ ნაკადთან). გაზრდილი ალბედო იწვევს სათბურის საწინააღმდეგო ეფექტს, რაც გარკვეულწილად ამცირებს დედამიწის ზედაპირამდე მიღწეულ მზის გამოსხივების ჯამურ რაოდენობას და ატმოსფეროს ქვედა ფენების ყოველდღიურ გათბობას.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, მეტად მნიშვნელოვანია ჰიდროელექტროსადგურების პროექტების რეალიზება განხორციელდეს გარკვეული მიდგომების დაცვით, კერძოდ, მძლავრი ჰიდროელექტროსადგურების პროექტები, რომლებსაც აქვს სეზონური რეგულირების, წყლის ზედაპირის დიდი ფართობის მქონე, წყალსაცავები, საიდანაც აორთქლებას არსებითი ზემოქმედება გააჩნია ლოკალურ გარემოზე, უნდა ჩანაცვლდეს გარემოზე უმნიშვნელო ზემოქმედების მქონე, მდინარის ბუნებრივ მოდინებაზე მომუშავე, მცირე და მიკრო ჰიდროელექტროსადგურების პროექტებით.

წყალსაცავიანი ჰიდროელექტროსადგურები მაქსიმალურად იყენებს არსებულ ჰიდრორესურსებს, აგროვებენ რა წყალს წყალსაცავში წლის წყალუხვ პერიოდებში. მდინარის ბუნებრივ მოდინებაზე მომუშავე ჰესები იყენებს მდინარის მხოლოდ იმ წყლის პოტენციალს რისი გატარებაც შესაძლებელია ტურბინაში. წყალმცირე პერიოდებში შეინიშნება წყლის დეფიციტი, ხოლო წყალუხვ პერიოდებში ტურბინა ატარებს იმდენ წყალს, რისი გატარებაც შეუძლია, ხოლო ზედმეტი წყალი კი მიედინება ჰესის გვერდის ავლით მდინარის კალაპოტში, ამ წყლის პოტენციალი ჰესის მიერ აუთვისებელი რჩება. ასეთი ჰესების გამომუშავება მერყეობს სეზონურად, ხშირად დღე-ღამურადაც. რა თქმა უნდა, ენერგეტიკული თვალსაზრისით ასეთი მიდგომა წამგებიანია, მაგრამ ეს წარმოადგენს ერთ-ერთ გამოსავალს, რათა გლობალური დათბობის შედეგად, სამომავლოდ არ დაშრეს მდინარეების მკვებავი, მყინვარებიდან გამომდინარე, წყაროები და მცირე მდინარეები.

საქართველოში სულ 25074 მდინარეა, მათგან ენერგეტიკული ღირებულება 2500-ზე მეტ მდინარეს გააჩნია, რაც ნიშნავს, რომ მათზე შესაძლებელია მცირე და საშუალო სიმძლავრის, ინვესტორებისთვის ეკონომიკურად მიზანშეწონილი, ჰიდროელექტროსადგურების აგება. არსებული შეფასებით, საქართველოს ჰიდროენერჯის სრული პოტენციალი წელიწადში საშუალოდ 80 ტერავტ-სთ-ს შეადგენს, საიდანაც ეკონომიკურად მიზანშეწონილი პოტენციალი 27 ტერავტ-სთ-ია, რაც არსებული პოტენციალის თითქმის მესამედია [3].

ენერგოსექტორში სწორი და თანმიმდევრული პოლიტიკის გატარების შემთხვევაში შესაძლებელია არსებული რესურსების, არანაკლებ 80%-ით ათვისება. ანუ მცირეწყლიანი მდინარეების პოტენციალის ათვისება, რომლებზედაც შესაძლებელია მხოლოდ მცირე სიმძლავრის, 100 კილოვატამდე დადგმული სიმძლავრის მქონე მიკრო ჰიდროელექტროსადგურების აგება.

ამ მიმართულებით ჰიდროენერჯეტიკის განვითარების დაჩქარების მიზნით შემუშავებული იქნა მიკრო ჰიდროელექტროსადგურების განვითარების სახელმწიფო პროგრამა, რომლის თანახმადაც ფიზიკურ პირებს და/ან მცირე საწარმოებს, სოფლის მოსახლეობას, რომლებიც ასეთი ჰიდროელექტროსადგურების აშენებას გადაწყვეტენ, არ ესაჭიროებათ მშენებლობის ნებართვების აღება და ბუნებრივ და სოციალურ გარემოზე ზემოქმედების შესწავლის ოქმის შედგენა, შესაბამისად ნებართვის აღებისთვის საკმაოდ ძვირადღირებული კვლევების და პროცედურების შესრულება, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ხარჯებს და ზრდის მიკრო ჰიდროელექტროსადგურების მიმართ ინტერესს და ხელმისაწვდომობას.

მიკრო ჰიდროელექტროსადგურების უპირატესობანი:

- 100 კვტ-იანი დადგმული სიმძლავრის მქონე ჰიდროელექტროსადგურის საშუალებით შესაძლებელია საშუალოდ 50 – 60 ოჯახის იაფი (უფასო) ელექტროენერჯით მომარაგება;
- ასეთი სადგურის მშენებლობა შესაძლებელია საქართველოს ბევრ რეგიონში, მათ შორის მაღალმთიან რეგიონებში, სადაც არაა გაყვანილი ელექტრო გადამცემი ხაზები (თუშეთი, ხევსურეთი) და სადაც არაა წყალუხვი მდინარეები;
- ქსელთან მიერთებული მიკრო ჰიდროელექტროსადგური შეიძლება აღიჭურვოს ენერჯის ორმხრივი აღმრიცხველით, ანუ შესაძლებელია დამატებითი შემოსავლების მიღება ჭარბი ენერჯის ენერგობაზარზე რეალიზების გზით;
- არ მოითხოვს მნიშვნელოვან დანახარჯებს ექსპლუატაციაზე, არ საჭიროებს მომსახურე პერსონალის დიდ შტატს;
- ერთი და იგივე სიმძლავრის შემთხვევაში მიკრო ჰიდროელექტროსადგური უფრო ეფექტურია მზისა და ქარის ელექტროსადგურებთან შედარებით.

ერთი შეხედვით მიკრო ჰიდროელექტროსადგურის როლი ატმოსფეროში სათბური გაზების ემისიის შემცირებაში უმნიშვნელოა, მაგრამ ასეთ ჰიდროელექტროსადგურების რაოდენობამ, დაინტერესების შემთხვევაში, რომელიც ყოველდღიურად იზრდება, შეიძლება მიაღწიოს რამდენიმე ასეულს, ასეთ შემთხვევაში კი ატმოსფეროში სათბური გაზების ემისია უკვე მნიშვნელოვნად შემცირდება. რჩება გადაწყვეტის მხოლოდ ერთი ძირითადი პრობლემა – მიკრო ჰიდროელექტროსადგურის აგებისათვის საჭირო ხარჯების მაქსიმალურად შემცირება, რისი მიღწევაც სავსებით რეალურია დანადგარების ავტომატური მართვის სისტემების ადგილობრივი წარმოების განვითარების გზით.

3. დასკვნა

გლობალური დათბობის ბოლო მონაცემები ნათლად ცხადყოფს, რომ კაცობრიობა ისეთიგამოწვევების წინაშე აღმოჩნდა, რომლის გადაწყვეტაც მოითხოვს გადაუდებელ ქმედებებს. IPCC მოხსენების მიხედვით გლობალური კლიმატის ცვლილების თავიდან ასაცილებლად სწრაფი ტრანსფორმაციაა საჭირო, რომელშიც ყველა ქვეყანამ უნდა შეიტანოს თავისი წვლილი, მათ შორის საქართველომაც, რომლისთვისაც ენერგოდამოუკიდებლობის მიღწევა ასევე აუცილებელი საჭიროებაა. ამის მიღწევა კი შესაძლებელია ჰიდრორესურსების მაქსიმალურად გამოყენების გზით, ისე რომ ზიანი არ მიადგეს გარემოს. ამისთვის უნდა შეიქმნას ისეთი მიკრო ჰიდროელექტროსადგურების პროექტები, რომელთა მოდიფიკაცია მუდმივად შესაძლებელი იქნება.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/press/IPCC_AR6_SYR_PressRelease_en.pdf IPCC C Press Release 20 March 2023
2. https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
3. Chokladze M. (2013). Challenges of hydropower in Georgia. green alternative. Tbilisi. Internet resource: http://greenalt.org/wp-content/uploads/2013/06/Energo_sektori.pdf (in Georgian)
4. Resolution of the National Energy and Water Supply.(2014). Regulatory Commission of Georgia No. 10 April 17, 2014 Tbilisi on approval of "Network Rules". Tbilisi (in Georgian)

5. State Program "Renewable Energy 2008". (2010). Rules for Ensuring the Construction of New Renewable Energy Sources in Georgia, Resolution of the Government of Georgia No. 107, Tbilisi: April 18. Small Hydro Power Development. A Manual for Project Developers in Georgia. Developed by: Norsk Energy, Gauldal Consult, Energy Efficiency Center, Georgia (in Georgian)

6. Ramos H. (2000). Guideline for Design of Small Hydropower plants. Western Energy Agency & Network (WREAN), Department of Economic Development (DED), Belfast, North Ireland.

(სტატია მიღებულია 14.03.2023)

THE ROLE OF MICRO-HYDROELECTRIC PLANTS IN REDUCING THE GROWTH RATES OF GLOBAL WARMING

Paata Jokhadze, Davit Gokadze
Georgian Technical University
paata_j@yahoo.com, gokadze.d@gtu.ge

Summary

Climate change is the biggest challenge of the 21st century. In recent years, worldwide, there has been a significant increase in the melting and melting of icebergs, the melting of glaciers, which may result in the rise of oceans and sea levels; The number of natural events has increased, such as: earthquakes, storms and blizzards, floods, droughts, abnormally high temperature of the environment and others. All of the above is related to the phenomenon of global warming. The main cause of global warming is the use of fossil energy carriers in human practical activities, and as a result, the so-called Emissions of "greenhouse gases" and, accordingly, the increase in their concentrations. Therefore, any attempt to reduce the emission of greenhouse gases is very important, for which renewable energy sources should be used as much as possible. In this writing, we discuss the problems of global warming and the role of micro-hydroelectric plants in relation to climate change.

(Received 14.03.2023)

РОЛЬ МИКРО-ГЭС В СНИЖЕНИИ ТЕМПОВ РОСТА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Джохадзе П., Гокадзе Д.
Грузинский Технический Университет
paata_j@yahoo.com, gokadze.d@gtu.ge

Резюме

Изменение климата является самой большой проблемой 21-го века. В последние годы во всем мире наблюдается значительное усиление таяния айсбергов, таяние ледников, что может привести к повышению уровня океанов и морей. Увеличилось количество природных явлений, таких как: землетрясения, бури и метели, наводнения, засухи, аномально высокая температура окружающей среды и другие. Все вышеперечисленное связано с явлением глобального потепления. Основной причиной глобального потепления является использование ископаемых энергоносителей в практической деятельности человека и, как следствие, так называемые выбросы «парниковых газов» и, соответственно, увеличение их концентрации. Поэтому любая попытка уменьшить выброс парниковых газов очень важна, для чего следует максимально использовать возобновляемые источники энергии. В этой статье обсуждаются проблемы глобального потепления и роль микро-ГЭС в связи с изменением климата.

(Поступила 14.03.2023)

ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მიკროჰესების მართვის პრინციპები

დავით გოქაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

gokadze.d@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მიკროჰესის ტექნოლოგიური პრობლემები და მათი გადაწყვეტის ეფექტური მართვის პრინციპები. 100 კილოვატამდე დადგმული სიმძლავრის მქონე, მდინარის ბუნებრივ მოდინებაზე მომუშავე, მიკროჰესებს საქართველოს ჰიდრორესურსების სრულად ათვისებაში გააჩნია მნიშვნელოვანი როლი. იგულისხმება იმ მცირე ხარჯის მქონე მდინარეების რესურსების ათვისება, რომლებზედაც მინი, მცირე და საშუალო სიმძლავრის ჰესების მოწყობაა შეუძლებელი. საქართველოში მრავლადაა ისეთი რეგიონები, სადაც მიკროჰესების მოსაწყობად არსებობს სათანადო გეოლოგიური და ჰიდროლოგიური პირობები. მათ გარკვეულ ნაწილში კი არ არსებობს ქსელთან მიერთების შესაძლებლობები, მაგალითად მაღალმთიან რეგიონებში, როგორცაა თუშეთი და ხევსურეთი, ასეთ შემთხვევებში მხოლოდ ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ჰესების აგებაა შესაძლებელი. ძირითადი პრობლემა, რომელიც აფერხებს ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მიკროჰესების პროექტების განვითარებას, მდგომარეობს ძვირადღირებულ, უცხოური წარმოების, მართვის ავტომატურ სისტემების არსებობაში. მათი გამართვა-გაშვების, საგარანტიო თუ შემდგომი პერიოდის მომსახურების სამუშაოები დაკავშირებულია მწარმოებელი კომპანიის სპეციალისტების გამოძახებასთან და/ან მწყობრიდან გამოსული ნაწილების უცხოეთიდან გამოწერასთან. ეს მოითხოვს მნიშვნელოვან დანახარჯებს, როგორც ფინანსური, ასევე დროითი თვალსაზრისით. აქედან გამომდინარე, მეტად მნიშვნელოვანია ასეთი ტიპის ჰესებისთვის შეიქმნას ადგილობრივი წარმოების მართვის სისტემები, რაც გამორიცხავს ზემოაღნიშნულ მნიშვნელოვან დანახარჯებს.

საკვანძო სიტყვები: მიკროჰესი. მართვის სისტემა. ავტონომიური რეჟიმი.

1. შესავალი

სოფლის მეურნეობის პროდუქციის მწარმოებელი მცირე ფერმების და საწარმოების განვითარება მეტწილად დამოკიდებულია მათი საქმიანობის რენტაბელობაზე, რომელიც თავის მხრივ მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მათი საქმიანობისათვის აუცილებელი ენერგოუზრუნველყოფის ფასზე, რომელზედაც ტარიფები წლიდან-წლამდე იზრდება. დღეისათვის უკვე არსებობს ამ მხრივ გაწეული ხარჯების შემცირების შესაძლებლობები მიკროჰესების პროექტების განვითარების სახელმწიფო პროგრამის სახით, რომლის თანახმადაც საკმაოდ გამარტივებულია მიკროჰესების მშენებლობაზე ნებართვების აღების წესები, შესაბამისად მცირდება მათი აგების ხარჯებიც და ხელმისაწვდომი ხდება მათი აგების მსურველთათვის.

მუშაობის პრინციპის მიხედვით განარჩევენ მიკროჰესების ორ ნაირსახეობას: ქსელთან პარალელურ რეჟიმში მომუშავე მიკროჰესები და ქსელისგან იზოლირებულ რეჟიმში (ავტონომიურ რეჟიმში) მომუშავე მიკროჰესები. ქსელთან პარალელურ რეჟიმში მომუშავე ჰესის

მართვა შედარებით მარტივია და მისი აგება ეკონომიკურად უფრო ხელსაყრელია, მაგრამ რიგ შემთხვევებში ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ჰესების აგება გარდაუვალია, მაგალითად თუშეთში და ხევსურეთში, სადაც ელექტროგადამცემი ხაზების ქსელი მიუწვდომელია და სადაც განვითარებულია მეცხვარეობა; მსხვილფეხა საქონლის ფერმები; ყველისა და ხორცპროდუქტების წარმოება და კერძო სასტუმროები ეკო-ტურიზმისთვის.

ქსელთან პარალელში მომუშავე ჰესის აგრეგატების მართვისას ძაბვის სიდიდისა და სიხშირის რეგულატორის საჭიროება არ არსებობს, ვინაიდან იგი გარე ქსელთან არის „ჩაჭიდებული“ და მიყვება მის პარამეტრებს - ძაბვის სიდიდესა და სიხშირეს. ამ შემთხვევაში მართვისა და დაცვის სისტემა ამოწმებს მხოლოდ აგრეგატის მუშა პარამეტრებს, მექანიკური ნაწილების ტემპერატურას, ძაბვისა და დენების ნომინალურ მნიშვნელობებს და სხვა.

შედარებით რთულია ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ჰესების აგრეგატის მართვა, ამ შემთხვევაში მართვისა და დაცვის სისტემა ყველა სხვა ფუნქციების შესრულების გარდა გამუდმებით არეგულირებს აგრეგატის გამომავალი ძაბვის სიდიდეს და სიხშირეს ინარჩუნებს რა მათ დასაშვებ ფარგლებში, შესაბამისად ასეთი სისტემის ფასი შედარებით მაღალია და საგრძნობლად ზრდის ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მიკრო ჰესის აგების ღირებულებას.

2. ძირითადი ნაწილი

როდესაც მიკროჰესის აგრეგატები (ტურბინა-გენერატორის ერთობლიობა) მუშაობს ენერგოსისტემიდან იზოლირებულ რეჟიმში, მაშინ დატვირთვის სიმძლავრის განუწყვეტლივი და არა პროგნოზირებული ცვლილების გამო, მოსალოდნელია ძაბვის ამპლიტუდის და სიხშირის ცვალებადობა. თუ ტურბინაში გამავალი წყლის პოტენციალი, იგივე ტურბინის მიმდინარე მექანიკური სიმძლავრე, აღემატება დატვირთვის სიმძლავრეს, მაშინ გენერატორის როტორის ბრუნთა რიცხვი მატულობს, შესაბამისად იზრდება მის გამოსასვლელზე ძაბვის სიხშირე და ამპლიტუდა, როდესაც დატვირთვის სიმძლავრე აღემატება ტურბინის მიმდინარე მექანიკურ სიმძლავრეს, მაშინ გენერატორი მუხრუჭდება, მისი როტორის ბრუნთა რიცხვი კლებულობს, შესაბამისად გენერატორის გამოსავალზე ძაბვის სიხშირე და ამპლიტუდა კლებულობს.

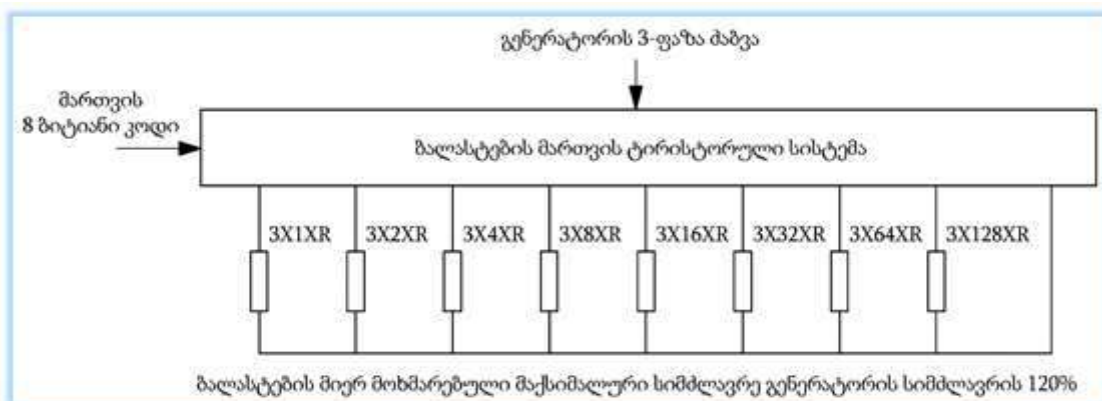
ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მიკროჰესის მართვის სისტემის სიძვირე გამოწვეულია დატვირთვის ცვლილებით გამოწვეული სიხშირის ცვლილებაზე სწრაფი რეაგირების აუცილებლობით, რისთვისაც ტურბინის მიმმართველი აპარატის (ტურბინაში წყლის ხარჯის - სიმძლავრის რეგულირების მოწყობილობა) მართვისთვის უმეტესად გამოიყენება ძვირად ღირებული ჰიდრავლიკური ამძრავები, რომლებიც იკვებებიან, ასევე ძვირად ღირებული, მაღალი წნევის ზეთდამჭირხლავი დანადგარიდან. სიძვირის გარდა მართვის ასეთი სისტემების უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მათი მომსახურების სირთულე და სიძვირე. გაცილებით იაფი ჯდება მართვის სისტემა ელექტრული ამძრავების გამოყენებით, მაგრამ ამ შემთხვევაში სიხშირის ცვლილებაზე სისტემის რეაგირების დრო გაცილებით მეტია, რის გამოც როგორც სიხშირე, ასევე გამომავალი ძაბვის ამპლიტუდა იცვლება გაცილებით დიდ ფარგლებში, რაც არასასურველ მოვლენას წარმოადგენს. შექმნილი სიტუაციიდან ერთ-ერთ გამოსავალს წარმოადგენს დატვირთვის პარალელურად მიერთებული ბალასტური დატვირთვის გამოყენება.

ბალასტური დატვირთვის მართვის სისტემის დანიშნულებაა დატვირთვის ცვლილების კომპენსირება, რაც ნიშნავს მომხმარებლის დატვირთვის შემცირებისას შესაბამისი სიმძლავრის დამატებითი ბალასტური დატვირთვის ჩართვას და მომხმარებლის დატვირთვის ჩართვისას

შესაბამისი სიმძლავრის ბალასტური დატვირთვის გამორთვის, რითაც ხორციელდება ტურბინის მიმდინარე მექანიკურ სიმძლავრესა და დატვირთვის შორის ბალანსის შენარჩუნება მანამ, სანამ მიმდინარეობს მიმმართველი აპარატის საშუალებით ტურბინის მიმდინარე მექანიკურ სიმძლავრის ნელი რეგულირება. მართვის ასეთი პრინციპი უზრუნველყოფს გენერატორის გამომავალი ძაბვის სიხშირისა და ამპლიტუდის ცვლილებას უმნიშვნელო ფარგლებში.

ბალასტურ დატვირთვაში გამავალი საშუალო დენის მართვისთვის ხშირად გამოიყენებენ განივ იმპულსურ მოდულაციას. ასეთი პრინციპის გამოყენებისას, მაღალი იმპულსური დენების გამო, გენერატორის გამომავალი ძაბვის ფორმა მახინჯდება, მასში მნიშვნელოვნად იზრდება მაღალი რიგის ჰარმონიკების წონითი კოეფიციენტები, რაც თავის მხრივ არასასურველ მოვლენას წარმოადგენს, ვინაიდან ამ დროს გენერატორის როგორც მაგნიტო-გამტარების ასევე გრაგნილების თერმული რეჟიმები ირღვევა, იზრდება დანაკარგები, ამის გარდა უარყოფითად მოქმედებს მომხმარებლის ისეთი რეაქტიული ხასიათის მქონე დატვირთვაზე, როგორცაა მაგალითად ძრავები, კომპიუტერების კვების ბლოკები და სხვა. ჰარმონიკების გაჩენის თავიდან აცილების მიზნით, ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მიკროჰესის გენერატორის გამომავალი ძაბვის სიხშირის რეგულირება, სასურველია განხორციელდეს ნაწილობრივ მიმმართველი აპარატისა (ნელი რეგულირება) და ნაწილობრივ რანჟირებული ბალასტური დატვირთვის კომუტაციების მართვის საშუალებით (სწრაფი რეგულირება).

შემოთავაზებულ შემთხვევაში აგრეგატებთან მიერთებული ბალასტური დატვირთვის სიმძლავრის მართვა ხორციელდება 2-ის ხარისხების მიხედვით რანჟირებული ბალასტური დატვირთვის აქტიური წინაღობების ბლოკების უწყვეტი კომუტაციებით შემხვედრ-პარალელურად მიერთებული ტირისტორული მოდულების საშუალებით. მართვისთვის გამოიყენება 8 თანრიგა ორობითი კოდი, აქედან გამომდინარე, ყოველ ფაზაზე ბალასტების რანჟირებული დატვირთვის (აქტიური წინაღობების) ბლოკების რაოდენობა იქნება 8, ხოლო ბალასტებზე გაბნეული სიმძლავრის საფეხურების რაოდენობა იქნება $2^8=256$, რაც ნიშნავს რომ სიხშირის მყისიერი რეგულირება განხორციელდება $\frac{1}{256} \cdot 100 = 0,39\%$ -ის სიზუსტით, ანუ მაქსიმუმ 0,2 ჰც სიზუსტით, რაც ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ჰესისათვის საკმაოდ მაღალი მაჩვენებელია. სიხშირის რეგულირება ხდება 200 მილიწამიანი დროის დისკრეტით (ნახ. 1).



ნახ. 1. ბალასტური დატვირთვის სქემა

მიმმართველი აპარატის მართვის სისტემის მუშაობის ალგორითმი უზრუნველყოფს, რომ ბალასტური დატვირთვის გარკვეული ნაწილი, კერძოდ კი მომხმარებლის გაზომილი სიმძლავრის 20%, იყოს მუდმივად ჩართული, ანუ გამომუშავებული სიმძლავრე იყოს

მოთხოვნილზე მეტი. ეს ნიშნავს, რომ მომხმარებლის სიმძლავრის გაზრდისას შემცირებას დაიწყებს ბალასტურ დატვირთვაზე გაბნეული სიმძლავრე და მიმმართველი აპარატის ამძრავი სიხშირის რეგულირებაში მონაწილეობას არ ღებულობს, ის გაჩერებულია. როდესაც ჩართულ ბალასტებზე გაბნეული სიმძლავრე მცირდება მოხმარების გაზომილი სიმძლავრის 5%-მდე, მიმმართველი აპარატი გაზრდის ტურბინის მექანიკურ სიმძლავრეს და ისევ გაზრდის ბალასტურ დატვირთვას მოთხოვნილი სიმძლავრის 20%-მდე.

როდესაც მომხმარებლის დატვირთვა იწყებს შემცირებას, ჭარბი ენერჯის გაბნევას თავის თავზე იღებს ბალასტური დატვირთვა, ამით მიმმართველი აპარატის ამოქმედების გარეშე ნარჩუნდება გენერატორის გამომავალი ძაბვის სიხშირე. როდესაც ბალასტურ დატვირთვაზე გაბნეული სიმძლავრე გადააჭარბებს მომხმარებლის მოხმარებული სიმძლავრის 35%-ს მიმმართველი აპარატი იწყებს ტურბინაში გამავალი წყლის ნაკადის ანუ ტურბინის მექანიკური სიმძლავრის შემცირებას მანამ, სანამ ბალასტურ დატვირთვაზე გაბნეული სიმძლავრე არ შემცირდება მომხმარებლის მოხმარებული სიმძლავრის 20%-მდე. ამრიგად მიმმართველი აპარატი სიხშირის რეგულირების პროცესში მონაწილეობს სიმძლავრის გარკვეული ჰისტერეზისით, ძირითადად სიხშირე რეგულირდება ბალასტურ დატვირთვის კომუტაციების ხარჯზე, რაც უზრუნველყოფს მექანიკური ნაწილის მინიმალურ დატვირთვას, მისი ექსპლუატაციის შეღავათიან რეჟიმს და მნიშვნელოვნად ამცირებს მექანიკური ნაწილების მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობას.

3. დასკვნა

ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მიკროჰესების მართვის შემოთავაზებული სისტემა გაცილებით იაფი ჯდება უცხოური წარმოების მართვის სისტემებთან შედარებით, გარდა ამისა მისი დადებითი მხარეა შემსრულებელი მოწყობილობების მექანიკური ნაწილების მინიმალური დატვირთვა, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს მათი მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობას, ტექნიკური მომსახურების საჭიროებას და შესაბამისად, საექსპლუატაციო დანახარჯებს. აქვე უნდა აღინიშნოს ის ფაქტიც, რომ ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მიკროჰესის მართვის აღნიშნული პრინციპებით გამოირიცხება ჰესის აგრეგატების გაქანება მომხმარებლის დატვირთვის ავარიული გათიშვის შემთხვევებში, რაც ამ სისტემის ერთ-ერთ უმთავრესი დადებითი მხარეა.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. European Small Hydropower Association – ESHA, 2004, 286 p.
2. Celso Penche. Layman's Handbook on how to develop a Small Hydro Site (Second Edition). European Small Hydropower Association – ESHA, Commission of the European Communities – Directorate-General for Energy (DG XVII), 1998, 266 p.
3. Resolution of the National Energy and Water Supply. (2014). Regulatory Commission of Georgia No. 10 April 17, 2014 Tbilisi on approval of "Network Rules". Tbilisi (in Georgian)
4. Hofmann M. Microcontrollers for beginners. Translation from German. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2010 – 304 pages: with illustrations (in Russian) (in Russian)
5. G. Gromov. Graphical software development environment for microcontrollers with AVR architecture "Algorithm Builder". User guide. (in English)

(სტატია მიღებულია 20.03.2023)

PRINCIPLES OF MANAGEMENT FOR AUTONOMOUS MICRO HYDRO-POWER PLANTS

Davit Gokadze
Georgian Technical University
gokadze.d@gtu.ge

Summary

The technological problems of micro-power plants operating in autonomous mode and the effective control principles of their solution are discussed. Micro hydro-power stations with installed capacity of up to 100 kilowatts, working on the natural flow of the river, play an important role in the full utilization of Georgia's hydro resources. It is meant to utilize the resources of those low-cost rivers, on which it is impossible to arrange mini, small and medium capacity hydroelectric power stations. There are many regions in Georgia where there are appropriate geological and hydrological conditions for the construction of micro-hydroelectric power plants, but in some of them there are no opportunities to connect to the grid, for example, in mountainous regions such as Tusheti and Khevsureti, in such cases it is possible to build only autonomous hydroelectric power plants. The main problem, which hinders the development of autonomous micro hydro-power plants projects, lies in expensive, foreign-made, automatic management systems. Their commissioning, warranty or subsequent service works are related to the calling of the specialists of the manufacturing company and/or ordering the out-of-order parts from abroad, which requires significant costs from both a financial and time point of view. Therefore, it is very important to create local production management systems for such type of hydro power plants, which excludes the significant costs mentioned above.

(Received 20.03.2023)

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРО – ГЭС, РАБОТАЮЩИМИ В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ

Гокадзе Д.
Грузинский Технический Университет
gokadze.d @gtu.ge

Резюме

Обсуждаются технологические проблемы микро электростанций, работающих в автономном режиме, и их решения принципами эффективного управления. Микро электростанции с установленной мощностью до 100 киловатт, работающие на естественном течении реки, играют важную роль в полном использовании гидроресурсов Грузии. Он предназначен для использования ресурсов тех малозатратных рек, на которых невозможно разместить мини-, малой и средней мощности ГЭС. В Грузии есть много регионов, где есть подходящие геологические и гидрологические условия для строительства микро-ГЭС, но в некоторых из них нет возможности подключения к сети, например, в горных районах, таких как Тушети и Хевсурети. В таких случаях можно строить только автономные ГЭС. Основная проблема, сдерживающая разработку проектов автономных микро электростанций, заключается в дорогостоящих системах автоматического управления иностранного производства. Их ввод в эксплуатацию, гарантийное или последующее сервисное обслуживание связано с вызовом специалистов компании-производителя и/или заказом неисправных деталей из-за границы, что требует значительных затрат как с финансовой, так и с временной точки зрения. Поэтому очень важно создавать локальные системы управления производством для такого типа ГЭС, что исключает упомянутые выше значительные затраты.

(Поступила 20.03.2023)

ნეიროქსელური ალგორითმების შემუშავება სამთო საქმესა და გეოლოგიაში

ვალიდა სესაძე, გელა ჭიკაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

v_sesadze@gtu.ge; gelachikadze1@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია ადაპტური Pi რეგულატორი ნეირონული ქსელის რადიალური (RBF) საბაზო ფუნქციის საფუძველზე. იგი გამოყენებულია ვექტორულად მიმართული ასინქრონული ძრავის სიჩქარის მართვისათვის. მართვის სქემის სტრუქტურა შედგება ეტალონური Pi კონტროლერის RBF იდენტიფიკატორისაგან, რომელიც გამოიყენება ასინქრონული ძრავის იაკობიანური მნიშვნელობის ონლაინ იდენტიფიკაციისათვის. ნეირონული ქსელის პარამეტრების „ონლაინ“ ცვლილება ხორციელდება გრადიენტული დაშვების მეთოდით წინასწარი მომზადების გარეშე. Pi კონტროლერის მომზადება ხორციელდება „ონლაინ“ იდენტიფიკაციური RBF მოდელის საშუალებით. სასურველია მოცემული კონტროლერის სხვადასხვა პირობებში ტესტირება, რათა საბოლოოდ დავრწმუნდეთ ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მართვის ტექნოლოგიის საიმედოობაში. კვლევით დადასტურებულ იქნა, რომ შემოთავაზებული კონტროლერი უზრუნველყოფს მართვის სისტემის კარგ მდგრადობასა და სტაბილურობას, იმასთან შედარებით რასაც უზრუნველყოფს ჩვეულებრივი Pi კონტროლერი.

საკვანძო სიტყვები: RBF ნეირონული ქსელი. Pi რეგულატორი. მართვის Pi ალგორითმი. Pi კონტროლერი. ინვერსიული ნეირომართვა. ასინქრონული ძრავი.

1. შესავალი

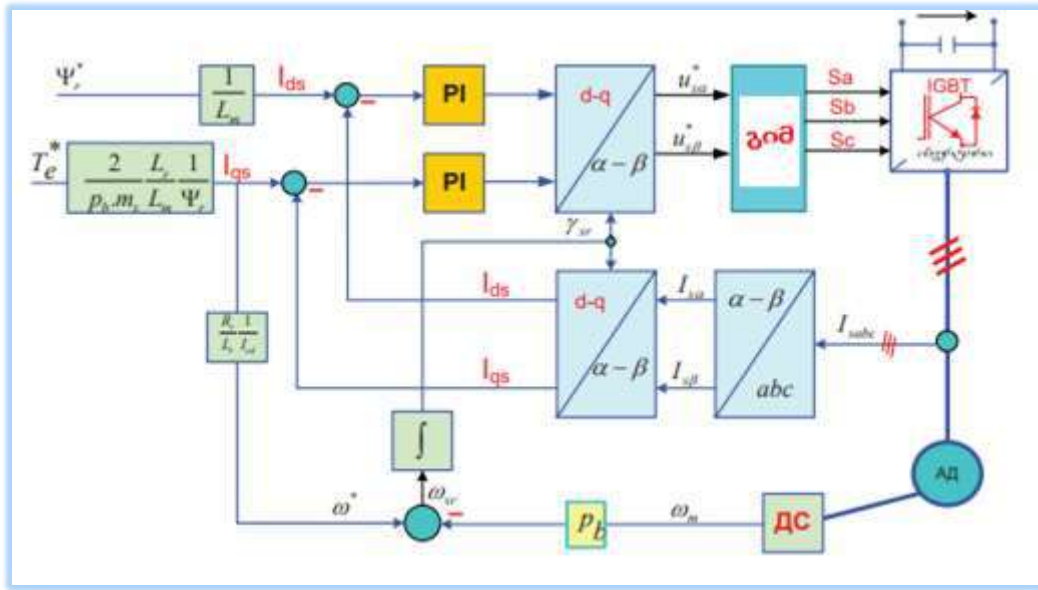
დღეისათვის ინტელექტუალური გამოთვლების თეორიაში განსაკუთრებული დინამიურობით ვითარდება ხელოვნური ნეირონული ქსელების (*ხნქ*) გამოყენებითი ტექნოლოგიები. შეიძლება აღინიშნოს ნეიროქსელური მიდგომების შემდეგი უპირატესობები:

- ინფორმაციის პარალელური დამუშავების შედეგად მიღებული სწრაფქმედება;
- მართვის ობიექტისა და გარემოს პარამეტრების ცვლილებებისადმი მდგრადობა;
- სისტემის ელემენტების სიმრავლისაგან გამოწვეული საიმედოობა;
- მართვის ობიექტზე დაფარული ინფორმაციის გამოყენების საშუალება.

ამ მიმართულებით შექმნილია მრავალდონიანი ქსელური მოდელები, რომელთა პროტოტიპებია ბიოლოგიური ნერვული სისტემების სტრუქტურებისა და მექანიზმების ფუნქციონირება. ისინი გამოიყენება სხვადასხვა ტექნიკური მოწყობილობების მართვის სიჩქარის გაზრდის დროს საბაზო მეთოდოლოგიად, რაც საბოლოო ჯამში შედეგად გვაძლევს ზესწრაფი მართვის სისტემების შექმნის შესაძლებლობას.

პრაქტიკამ გვაჩვენა, რომ რთული ობიექტების მართვის სისტემების შექმნის პროცესში მთლიანად დაყრდნობა ერთგვაროვანი ნეირონული ქსელის თეორიის გამოყენებაზე, ვერ უზრუნველყოფს სასურველ შედეგს, ანუ მართვის იმ ნეირონული სისტემის შექმნას, რომელიც ახლოს იქნება ან გადააჭარბებს იმ შედეგებს, რაც მიიღწევა კლასიკური მართვის სისტემების გამოყენებით. ასეთი ქსელების მოდელირებისას საჭიროა დიდი მოცულობის გამოთვლითი

რესურსები. ამისათვის მიზანშეწონილია ნეიროქსელური მოწყობილობების, მართვის სისტემის ერთ-ერთ კომპონენტად გამოყენება, ან გადაწყვეტილების მიღებისიმოდულების გამოყენება, რომლებიც გადასცემს გამოსასვლელ სიგნალს, უშუალოდ არ დაკავშირებულს ხელოვნურ ნეიროქსელთან. ახლა გავანალიზოთ ხელოვნური ნეიროქსელის გამოყენება, ნეიროქსელური დამკვირვებლის როლში ქვანახშირის შახტების ასინქრონული ელექტროამძრავებით ვენტილაციის პროცესზე.ამ პროცესის ვექტორულ მოდელს შეიძლება მიეცეს შემდეგი სახე (ნახ.1).



ნახ. 1. სავლე მართვის ირიბი ბლოკ-სქემა

განივი იმპულსური მოდულაცია (გიმ), S_a, S_b, S_c - ინვერტორის ძაბვის წყაროს გადამრთველის მდგომარეობები;სადაც P_p -ძრავის პოლუსების რაოდენობაა ; γ_{sr} -როტორული ნაკადის ვექტორული კუთხე; ω_{sr} - როტორული ნაკადის ვექტორის კუთხური სიჩქარე; R_r -როტორის წინაღობა მოკლე ჩართვის დროს; L_r -როტორის გაბნევის ინდუქტიურობა; L_m - როტორის მთავარი ინდუქტიურობა; ψ_s -სტატორის ნაკადის ვექტორი; ψ_r -როტორის ნაკადის ვექტორი; T_e -ელექტრო-მაგნიტური მომენტი; M_c -დატვირთვის სტატიკური მომენტი; ω_m -როტორის ბრუნვის კუთხური სიხშირე; J -ელექტრო ამძრავის ინერციის მომენტი.

პირდაპირი ვექტორული მართვისაგანგანსხვავებით, ირიბი ვექტორული მართვა ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული მეთოდია საწარმოო სფეროში, სადაც:

$$\begin{aligned}
 U_{qs} &= R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \Psi_{qs} + \omega_{sr} \psi_{qs} \\
 U_{ds} &= R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \Psi_{ds} + \omega_{sr} \psi_{qs} \\
 U_{qr} &= R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \Psi_{qr} + (\omega_{sr} - \omega_m) \psi_{dr} \\
 U_{dr} &= R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \Psi_{dr} + (\omega_{sr} - \omega_m) \psi_{qr}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Field Oriented Control (FOC) სავლე მართვისთვისძირითადი მეთოდია გარდაქმნის კორდინატის მეთოდი. დენის ვექტორი იზომება უძრავი კორდინატით $\alpha - \beta$ -თი.

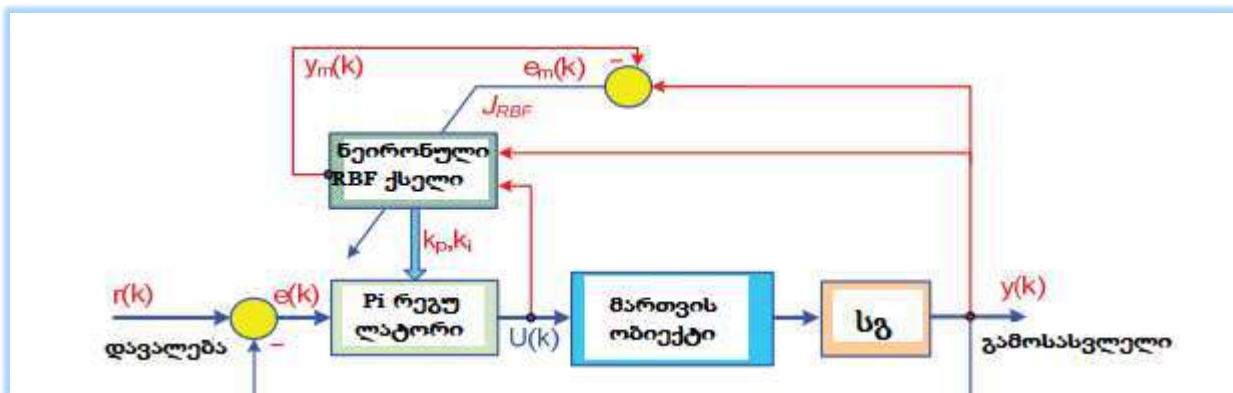
ამიტომ დენის კომპონენტები $I_{s\alpha}, I_{s\beta}$ გარდაქმნილ უნდა იქნას ბრუნვად d-q სისტემად. ანალოგიურად საყრდენი სტარტის ძაბვის ვექტორები $U_{s\alpha}, U_{s\beta}$ უნდა გარდაიხსნონ d-q სისტემიდან $\alpha - \beta$ სისტემაში. ამ გარდაქმნებისათვის საჭიროა როტორის ნაკადის Y_{sr} კუთხე. ამ კუთხის (გამოთვლით მიღებული) შედეგის მიხედვით მართვა შეიძლება იყოს ორგვარი პირდაპირი ThoseareDirect Field Oriented Control (DFOC) და ირიბი Indirect Field Oriented Control (IFOC) მეთოდები. როტორის ნაკადის Y_{sr} კუთხე მიიღება ეტალონური I_{ds}, I_{qs} დენებით. როტორის ნაკადის ვექტორის კუთხური სიჩქარე გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\omega_{rs} = \omega_{sl} + p_b \omega_m \quad (2)$$

$$\omega_{rs} = \omega_{sl} = \frac{1}{I_{sd}} \frac{R_r}{L_r} I_{sq} \quad (3)$$

2. ასინქრონული ძრავის სიჩქარის მართვისათვის Pi რეგულატორის პარამეტრების ნეიროქსელური ადაპტაციის ალგორითმების შემუშავება

დინამიკური ობიექტების მართვაში Pi რეგულატორები ფართოდ გამოიყენება, კერძოდ კი ასინქრონული ძრავების მართვაში. კლასიკური Pi რეგულატორების გამოიყენებას მაინც გარკვეული შეზღუდვები აქვს. სტატიაში განხილულია Pi რეგულატორი, რომელიც ემყარება ნეირონული RBF ქსელის გამოყენებას, ასინქრონული ძრავის მართვისას. ნეირონული RBF ქსელის გამოყენებით სისტემის მართვის სტრუქტურა (პარამეტრების მართვისათვის) მოცემულია მე-2 ნახაზზე. ეს არის ინტელექტუალური Pi რეგულატორი, რომელიც იყენებს ნეირონული RBF ქსელის ფუნქციონირებას.

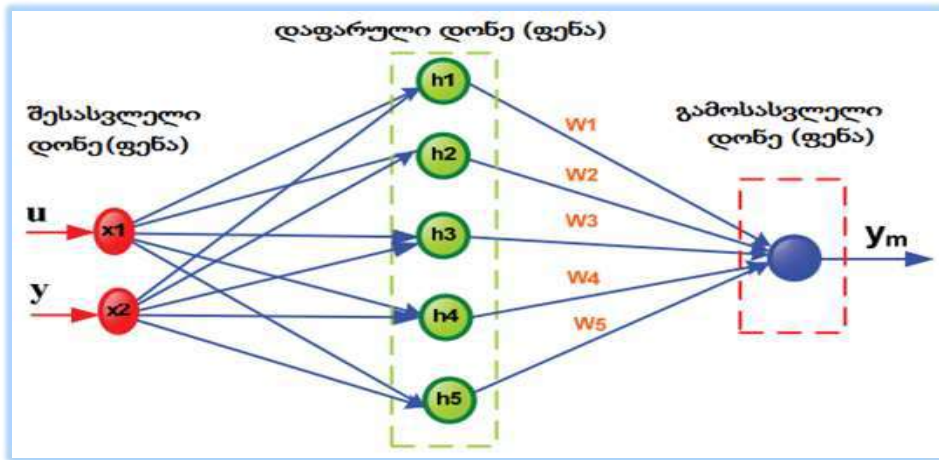


ნახ. 2. RBF ქსელზე დამოკიდებული Pi რეგულატორი
 $r(k)$ - დავალება, $e(k)$ - შეზღუდვები, $U(k)$ - სიგნალის მართვა, $y(k)$ - მართვის ობიექტზე გასვლა, $y_m(k)$ - RBF იდენტიფიკატორი გამოსასვლელზე

რადიალური საბაზო ფუნქციის RBF-ის ქსელი არის ხელოვნური ნეირონის სამფენიანი მიწოდება. იგი რადიალურ ფუნქციას გამოიყენებს, როგორც აქტივირების ფუნქციას. ქსელიდან გამომავალი სიგნალი წრფივი კომბინაციაა შესასვლელზე რადიალური საბაზო ფუნქციისა და ნეირონის (როგორც პარამეტრებისას). რადიალურ საბაზო ფუნქციონალურ ქსელს აგრეთვე აქვს მრავალგვარი გამოყენება, აპროქსიმირების ფუნქცია, დროითი მწკრივების პროგნოზირება, კლასიფიცირება და სისტემური კონტროლი. მას გააჩნია თვითსწავლების სწრაფი უნარი და აგრეთვე ლოკალური მინიმუმების პრობლემის თავიდან აცილება სისტემის მართვის მიდამოში.

მაშასადამე RBF- ნეირონული ქსელი გამოიყენება Pi რეგულატორის პარამეტრების გაწყობისას კონტროლის სტრატეგიის შემუშავებისას. RBF - ნეირონულ ქსელს აქვს სამი დონე:

შესასვლელი, დაფარული და გამოსასვლელი. დაფუძვით, რომ ჩვენ *RBF* - ნეირონულ ქსელს აქვს 2 შესასვლელი დონე, 5 ფარული დონე და 1 გამოსასვლელი დონე. ქსელის სტრუქტურა მოცემულია მე-3 ნახაზზე.



ნახ.3. ნეირონული ქსელი RBF

გარდა ამისა, *აკობიანის მატრიცა* მართვის სტრატეგიაში გამოიყენება *Pi* რეგულატორის პარამეტრების გაწყობისას.

დასაპროექტებელი ქსელი *RBF*, როგორც უკვე ვთქვით, შეიცავს სამ დონეს(ფენას): შესასვლელს, დაფარულს და გამოსასვლელს (ნახ.2). ამ ქსელში გვაქვს ორი შესასვლელი ამიტომ შესასვლელ ვექტორს ექნება სახე:

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_i]^T = [u, y]^T; \quad \{i = 1, 2\} \quad (4)$$

RBF ნეირონულ ქსელში აქტივირების ფუნქციის როლს ასრულებს *გაუსის ფუნქცია*. *გაუსის ფუნქციის* დაფარული ნეირონების რეალიზებას ახდენს, როგორც ბაზისური ფუნქციები და რადიალური საბაზისო ვექტორები $H = [h_1, h_2, \dots, h_j, \dots, h_s]^T$. იგი შეიძლება გამოვსახოთ *გაუსის ფუნქციით*:

$$h_j(x) = \exp \left[\frac{-\|x - c_j\|}{2b_j^2} \right]; \quad \{i = 1, 2, \dots, 5\} \quad (5)$$

სადაც X - არის ნეირონული ქსელის შემავალი ვექტორი, $C_j = [c_{j1}, c_{j2}]$ - არის დაფარულ ფენაზე j -ური კვანძის ვექტორი, b_j არის დაფარული ფენის j -ური კვანძის სიგანე a_j - არის დაფარულ დონეზე ნეირონების რაოდენობა (ეს ინდექსებიანი ცვლადები გამოიყენება მე-17 ფორმულაში).

მაშასადამე ქსელის გამოსასვლელი ფორმალიზებულად შეიძლება აღიწეროს ასე:

$$y_m(k) = \sum_{j=1}^j w_j h_j(x) \quad (6)$$

სადაც w_j - არიან *RBF* ნეირონული ქსელის წონები. პროდუქტიულობის ინდექსის ფუნქციას შეგვიძლია მივცეთ შემდეგი სახე:

$$E(t) = \frac{1}{2} [y(k) - y_m(k)]^2 \quad (7)$$

სადაც $y(k)$ - არის იდეალური გამოსასვლელი. თუ გამოვიყენებთ გრადიენტული დაშვების მეთოდს, *RBF* ნეირონული ქსელის პარამეტრების განახლება მოხდება შემდეგნაირად:

$$w_j(k+1) = w_j(k) + \eta [y(k) - y_m(k)] h_j + \alpha [w_j(k) + w_j(k-1)]$$

$$c_{ij}(k+1) = c_{ij}(k) + \eta[y(k) - y_m(k)]h_j w_j \frac{(x_i - c_{ij})}{b_j^2} + \alpha[c_{ij}(k) + c_{ij}(k-1)] \quad (8)$$

$$b_j(k+1) = b_j(k) + \eta[y(k) - y_m(k)]h_j w_j \frac{\|x_i - c_{ij}\|^2}{b_j^3} + \alpha[b_j(k) + b_j(k-1)]$$

$$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \approx \frac{\partial y_m(k)}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^m w_j h_j \frac{c_{1j} - x_1}{b_j^2}$$

სადაც $x_1 = u(k)$, $\eta \in (0, 1)$ - არის ქსელის სწავლების სისწრაფე, $\alpha \in (0, 1)$ - არის იმპულსის კოეფიციენტი. იაკობის მატრიცული ალგორითმი მოცემულია ფორმულებით [13,15]. Pi რეგულატორის პარამეტრები განისაზღვრება მაკონტროლებელი მოწყობილობის იაკობის მატრიცით, რომლებიც მიიღება *RBF* ნეირონული ქსელის იდენტიფიკაციის საშუალებით.

ცნობილია, რომ Pi რეგულატორის მწარმოებლობა დამოკიდებულია k_p და k_i პარამეტრებზე. ამ პარამეტრების სწორ შერჩევაზე ბევრადაა დამოკიდებული Pi რეგულატორის ეფექტური ფუნქციონირება. *RBF* ნეირონული ქსელში შესაძლებელია k_p და k_i პარამეტრების შერჩევა სხვადასხვა სიტუაციების დროს იაკობის მატრიცის გამოყენებით (7-14 ფორმულები).

უპირველეს ყოვლისა განისაზღვრება ქსელში მოსალოდნელი შეცდომის ფუნქცია:

$$E(k) = \frac{1}{2}[r(k) - y(k)]^2 \quad (9)$$

შემდეგ ხორციელდება k_p და k_i პარამეტრების შერჩევა გრადიენტული დაშვების იტერაციული მეთოდით შემდეგნაირად:

$$\Delta k_p = -\eta \frac{\partial E}{\partial k_p} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial k_p} = \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \cdot xc_1(k) \quad (10)$$

$$\Delta k_i = -\eta \frac{\partial E}{\partial k_i} = -\eta \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial k_i} = \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \cdot xc_2(k) \quad (11)$$

სადაც $\frac{\partial y}{\partial u}$ - არის იაკობის მატრიცა, რომელიც მოიცემა (8) განტოლებით. $xc_1(k)$ და $xc_2(k)$ - სიდიდეები წარმოადგენენ Pi რეგულატორის შესასვლელს მათ გამოსათვლელ ფორმულებს მოვიყვანო ქვემოთ.

3. მართვის Pi ალგორითმი

ამ ალგორითმში ცდომილება სასურველ და ფაქტობრივ მნიშვნელობებს შორის, როგორც ნაჩვენებია მე-2 ნახაზზე, განისაზღვრება ფორმულებით (12,13) ასე:

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (12)$$

$$e_m(k) = y(k) - y_m(k) \quad (13)$$

Pi რეგულატორის შესასვლელები სეიდლება გამოვსახოთ ასე:

$$xc_1(k) = e(k) - e(k-1) \quad (14)$$

$$xc_2(k) = e(k) \quad (15)$$

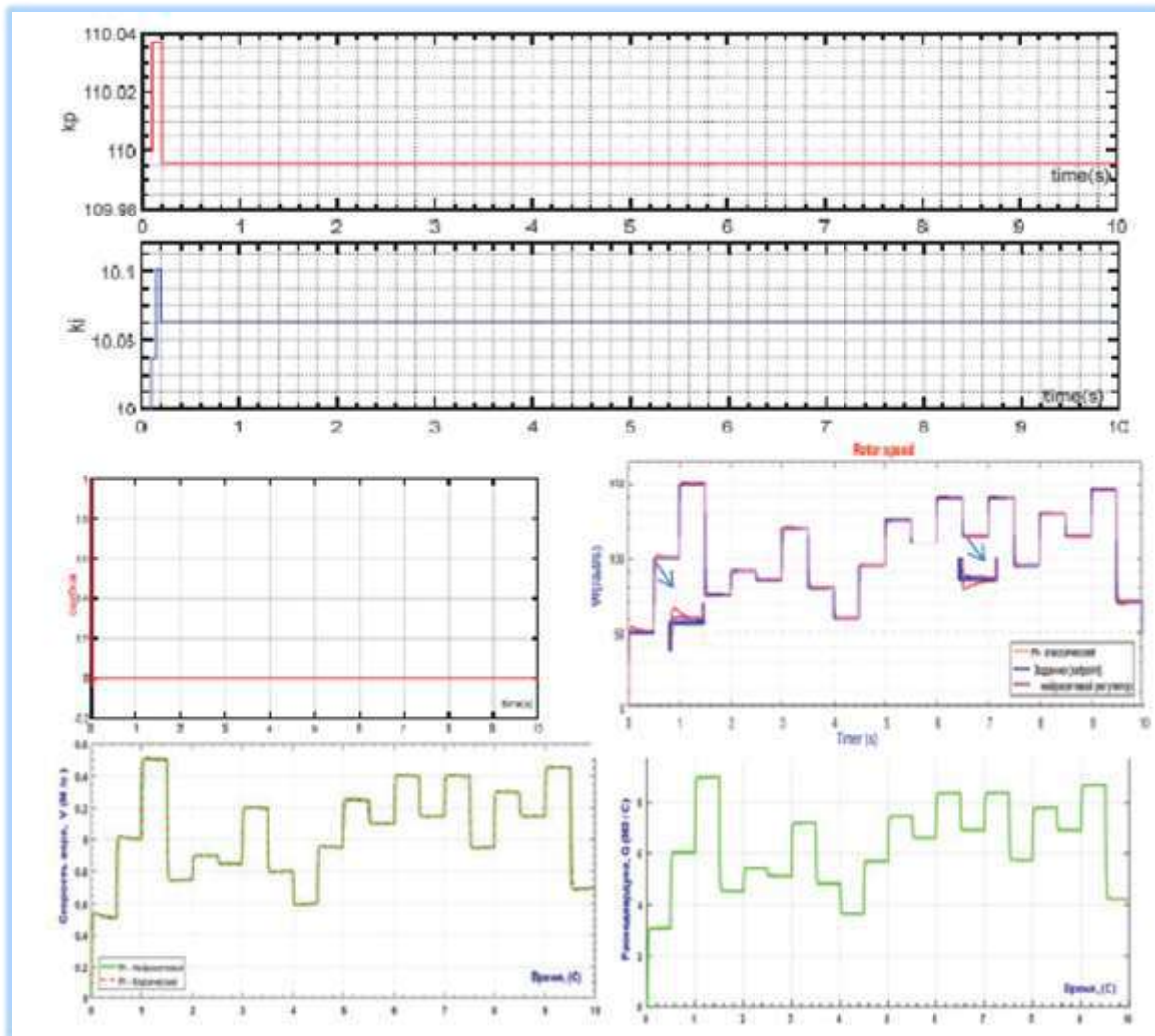
გრადიენტული დაშვების მეთოდი გამოიყენება პროპორციის k_p და ინტეგრალური k_p პარამეტრების განსაზღვრისათვის.

$$k_p(k+1) = k_p + \Delta k_p = k_p + \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \cdot xc_1(k) \quad (16)$$

$$k_i(k+1) = k_i + \Delta k_i = k_i + \eta e(k) \frac{\partial y}{\partial u} \cdot xc_2(k) \quad (17)$$

Pi რეგულატორის სტანდარტული პარამეტრების შერჩევა მოვახდინეთ ცდისა და შეცდომის მეთოდით, რომლებსაც ვარჩევდით შესაბამისი კოეფიციენტების საშუალებით. სიჩქარის კონტროლისთვის ეს პარამეტრებია $k_p = 110$, $k_i = 10$. ამორჩევის ინვერტორის სიხშირეა 5კგც, შუალედური კონტურის ნომინალური ძაბვაა 100ვ. მოდელირებისას ამორჩევის დროითი ინტერვალი $T_s = 0,02$ მლწ.

მე-6 ნახაზიდან ჩანს, რომ ძრავის ინდუქციური ამძრავი, რომელიც აწყობილია ნეირონულ ქსელზე საჭიროებს ნაკლებ დარეგულირებას და შეიცავს უფრო ნაკლებ სტაციონარულ შეცდომას, ვიდრე ჩვეულებრივი მართვისას. ნეირონული ქსელური რეგულირებისას კონტროლის პარამეტრების შერჩევა შესაძლებელია Online რეჟიმში.



ნახ.6. ნეიროკონტროლით მოდელირების შედეგები

6. დასკვნა

სამთო საწარმოებში შახტების ვენტილაციის პროცესის მართვის განხორციელება ნეირონული ქსელების გამოყენებით, უზრუნველყოფს ნორმალური საწარმოო (სამუშაო) კლიმატის შექმნას ამ საწარმოებში და თანაც საგრძნობლად ამცირებს ეკონომიკურ ხარჯებს ენერგომომხმარებაზე.

პარამეტრის დასახელება და განზომილების ერთეული	მნიშვნელობა
სიმძლავრე, კვტ	25
ძაბვა ვოლტებში	380/660
ბრუნვის სისწრაფე, ბრ/წთ	3000
ქსელის სიხშირე ,ჰრც	50-60
cos φ	0,88
საწყისი გამშვები ამძრავი ბრუნვითი მომენტის ჯერადობა ნომინალთან	1,9
მინიმალური მომენტის ჯერადობა ნომინალთან	1,3
მაქსიმალური მომენტის ჯერადობა მინიმალურთან	2,5
ინერციის მომენტი(J) , კგ/მ ²	0,085
ფარდობითი მასა , კგ/კვტ	9,5
სტატორის აქტიური ფაზის წინაღობა R_s, O_M	0,455
როტორის მოყვანილი აქტიური წინაღობა R_r, O_M	0,413
სტატორისა და როტორის განფენილობის ინდუქტიურობა	0,0048
ურთიერთინდუქტიურობა L_{μ}	0,698
ვენტილატორის დიამეტრი, მ	0,6
მუშა ფართობი , მ ²	12,1

ლიტერატურა—References – Литература:

- 1.KusumaGottapu U., SwantosKiran, U.Srikanth Raju3 P.Nagasai,S.Prasad,P. TejeswaraRao. Design And Analysis Of Artificial Neural Network Based Controler For Speed Control Of induction Motor Using DTC. ISSN : 2248-9622,Vol.4,issue 4(Version 1), April 2014,pp.259-264. C.259.
2. Taifour Ali1, Abdelaziz Y.M. Abbas2, EkramHassaboAbaid Osman3. Control of induction Motor Drive using Artificial Neural Network. SUST Journal of Engineering and Computer Science (JECS), vol. 15,No. 2, 2014.
3. Sesadze V., Chikadze G, (2021). Fundamentals of Control Engineering. ISBN 978-9941-8-3534-6. GTU, Tbilisi, (in Georgian)
4. Chikadze G., Sesadze V. (2021). Mathematics on the Computer. ISBN 978-9941-8-3533-9. GTU, Tbilisi (in Georgian).

DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK ALGORITHMS IN MINING AND GEOLOGY

Valida Sesadze, Gela Chikadze
 Georgian Technical University
 v_sesadze@gtu.ge; gelachikadze1@gtu.ge

Summary

His article discusses the adaptive Pi regulator based on the basic function of a neural network (RBF) and it is used to control the velocity of a vector directional asynchronous motor. The structure of the control circuit consists of the RBF identifier of the standard Pi controller. The RBF Identifier is used to identify the Jacobian meaning of the asynchronous motor online. The "online" change of neural network parameters is performed by the gradient access method without prior training. Pi controller training is performed by using the "online" identification RBF model. It is advisable to test this controller under different conditions to finally make sure the reliability of the management technology we offer. Research has shown that the proposed controller provides good steadiness and stability of the steering system compared to what a conventional Pi controller provides.

IPsec VPN ქსელის უსაფრთხოების სერვისები, კონფიდენციალურობა, შიფრაცია დამისი ალგორითმების ანალიზი

მიხეილ დარჩაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

misha8003123@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია IPsec VPN ქსელის უსაფრთხოების სერვისები, კონფიდენციალურობა და შიფრაცია, შიფრაციის ალგორითმები. დღეისათვის არავინაა დაცული იმისგან, რომ მისინფორმაციას ბოროტმოქმედის ხვადასხვა ტექნიკის საშუალებით ხელში ჩაიგდეს და გამოიყენებს ცუდი მიზნებისთვის.

ამ საფრთხისგან თავის დასაცავად საჭიროა ვიზუალური და ცემული მონაცემების დაცულობაზე, რომლისთვისაც ქსელში მონაცემების გადაცემისთვის გამოიყენება სხვადასხვა დაცული პროტოკოლები. VPN ქსელს აქვს დაცვის სხვადასხვა მექანიზმის მხარდაჭერა და უზრუნველყოფს უსაფრთხოების უმაღლეს დონეს. ამისთვის იყენებს შიფრაციისა და აუთენტიფიკაციის რთულ პროტოკოლებს, რომლებიც უზრუნველყოფს მონაცემთა დაცვას არასანქცირებული წვდომისაგან.

საკვანძო სიტყვები: IPsec VPN ქსელი. უსაფრთხოების სერვისები. კონფიდენციალურობა. შიფრაციის ალგორითმები. აუთენტიფიკაცია. კრიპტოგრაფია.

1. შესავალი

IPsec VPN ქსელი უზრუნველყოფს მასშტაბირებულ და მოქნილ კავშირს. IPsec VPN-ს დახმარებით ინფორმაცია კერძო ქსელიდან საჯარო ქსელში გადაეცემა დაცულ რეჟიმში. მონაცემთა კონფიდენციალურობის დაცვის უზრუნველსაყოფად ტრაფიკი იშიფრება.

IPsec – არის IETF სტანდარტი, რომელიც განსაზღვრავს VPN ქსელის კონფიგურაციის მეთოდს დაცულ რეჟიმში IP პროტოკოლის დახმარებით.

IPsec ღია სტანდარტების სტრუქტურაა, რომელიც განსაზღვრავს წესებს ორგანიზაციის ქსელური კავშირის უსაფრთხოებისთვის. IPsec პროტოკოლი არაა დაკავშირებული რომელიმე კონკრეტულ შიფრაციის და აუთენტიფიკაციის მეთოდებთან, უსაფრთხოების ალგორითმების ან გასაღებების გაცვლის ტექნოლოგიებთან. კავშირის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად IPsec პროტოკოლში გამოიყენება არსებული ალგორითმები. IPsec უზრუნველყოფს ახალი ხარისხიანი ალგორითმების შექმნას, რომელთა დამუშავებისათვის საჭირო არ გახდება IPsec-ის არსებული სტანდარტების კორექტირება [1].

2. ძირითადი ნაწილი

IPsec ფუნქციონირებს ქსელურ დონეზე და უზრუნველყოფს IP პაკეტების დაცვასა და აუთენტიფიკაციას ურთიერთქმედ IPsec მოწყობილობებს შორის. IPsec უზრუნველყოფს მარშრუტის დაცვას წყვილ კომპიუტერებს, წყვილ მარშრუტიზატორებს და ასევე კომპიუტერსა

და მარშრუტიზატორს შორის. ეს საშუალებას იძლევა, რომ IPsec-მა დაიცვას პრაქტიკულად ნებისმიერი ტრაფიკი და დაცვის რეალიზაცია მოახდინოს 4-დან 7-დონემდე.

IPsec პროტოკოლის ყველა რეალიზაციაში გამოიყენება დაუშიფრავი მე-3 დონის თავსართი, შესაბამისად მარშრუტიზაციასთან დაკავშირებით არანაირი პრობლემა არ იქმნება. IPsec ფუნქციონირებს ნებისმიერი მე-2 დონის პროტოკოლის: Ethernet, ATM, Frame Relay ზედა დონეზე.

- IPsec – არის ღია სტანდარტების სტრუქტურა, ალგორითმებისგან დამოუკიდებელი;
- IPsec უზრუნველყოფს მონაცემთა კონფიდენციალურობას და მთლიანობას, ასევე წყაროს აუთენტიფიკაციას;
- IPsec მოქმედებს, როგორც ქსელური დონის პროტოკოლი და იცავს IP პაკეტებსა და ამოწმებს მათ მთლიანობას.

კონფიდენციალურობა (შიფრაცია)– VPN ქსელში ტრაფიკი გადაეცემა საჯარო ქსელის გავლით, ამიტომ ძირითადი ამოცანაა, მონაცემთა კონფიდენციალურობის უზრუნველყოფა. ამისთვის ქსელში გადაცემამდე ხდება მონაცემთა შიფრაცია. შიფრაცია - ესაა ერთი კომპიუტერიდან მეორეზე გაგზავნილი მონაცემების კოდირება ისეთი ფორმით, რომ მისი დეკოდირება შეძლოს მხოლოდ მიმღებმა კომპიუტერმა. თუ ჰაკერი ხელში ჩაიგდებს ტრაფიკს, ვერ შეძლებს მის წაკითხვას. IPsec მოიცავს უსაფრთხოების გაფართოებულ ფუნქციებს (მაგ, კრიპტოგრაფიული შიფრაციის ალგორითმები).

მონაცემთა მთლიანობა– მიმღებს შეუძლია დარწმუნდეს, რომ მონაცემები ნორმალურად გადაეცა ინტერნეტში და არ შეცვლილა გზაში. მნიშვნელოვანია არა მარტო მონაცემთა შიფრაციის უზრუნველყოფა, არამედ იმაში დარწმუნებაც, რომ ისინი გზაში არ შეცვლილა. IPsec-ში გათვალისწინებულია პაკეტის დაშიფრულ ნაწილში, მთლიან თავსართში ან პაკეტის მონაცემთა ტანში ცვლილების არარსებობის შემოწმების მექანიზმი. IPsec მონაცემთა მთლიანობის გარანტიას იძლევა საკონტროლო ჯამის საშუალებით. შეცდომის აღმოჩენის შემთხვევაში პაკეტი იშლება.

აუთენტიფიკაცია– საშუალებას იძლევა შემოწმდეს, თუ ვინ იყო გამოგზავნილი მონაცემების წყაროდ. ეს აუცილებელია სპუფინგ (წყაროს გაყალბება) შეტევისგან დასაცავად. აუთენტიფიკაცია ქსელში საჭირო პარტნიორთან კავშირის დამყარების გარანტიას იძლევა. მიმღებს შეუძლია შეამოწმოს პაკეტის წყაროს უტყუარობა. IPsec-ში გამოიყენება ინტერნეტში გასაღებების გაცვლის ტექნოლოგია (Internet Key Exchange, IKE) მომხმარებლების და მოწყობილობების უტყუარობის შესამოწმებლად, რომლებსაც შეუძლია კავშირის დამყარება ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად (ნახ.1). IKE-ში გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის აუთენტიფიკაცია (კერძოდ, გამოიყენება მომხმარებლის სახელი და პაროლი, ერთჯერადი პაროლი, ბიომეტრია, წინასწარ შეთანხმებული საერთო გასაღები (Pre-Shared Key, PSK) და ციფრული სერტიფიკატები).

განმეორებისგან დაცვა – საშუალებას იძლევა აღმოვაჩინოთ და უარყოთ განმეორებადი პაკეტები., ასევე თავიდან ავიცილოთ სპუფინგი. მისი საშუალებით შეგვიძლია დავრწმუნდეთ, რომ პაკეტი არის უნიკალური და არა დუბლირებული. IPsec პაკეტების დაცვა ხდება მიღებული ე.წ. „მოდრავი“ ფანჯრის მქონე პაკეტის რიგითი ნომრის საშუალებით მიმღების კომპიუტერში. ისეთი რიგითი ნომრის მქონე პაკეტები, რომლებიც „მოდრავი“ ფანჯრის უკანაა, ითვლება შეყოვნებულად ან დუბლირებულად. ასეთი პაკეტები იშლება.



ნახ. 1. IPsec-ის ფუნქციები

VPN ტრაფიკის კონფიდენციალურობა ხორციელდება შიფრაციით. ღია (დაუშიფრავი) მონაცემები, რომლებიც ინტერნეტის გავლით გადაეცემა, შეიძლება ხელში ჩაიგდონ და წაიკითხონ. მონაცემთა პირადულობის შესანარჩუნებლად გამოიყენება შიფრაცია. მონაცემთა ციფრული შიფრაციის წყალობით, ისინი რჩება წაუკითხავი მანამ, სანამ არ გაიშიფრება ავტორიზებული მიმღების მიერ.

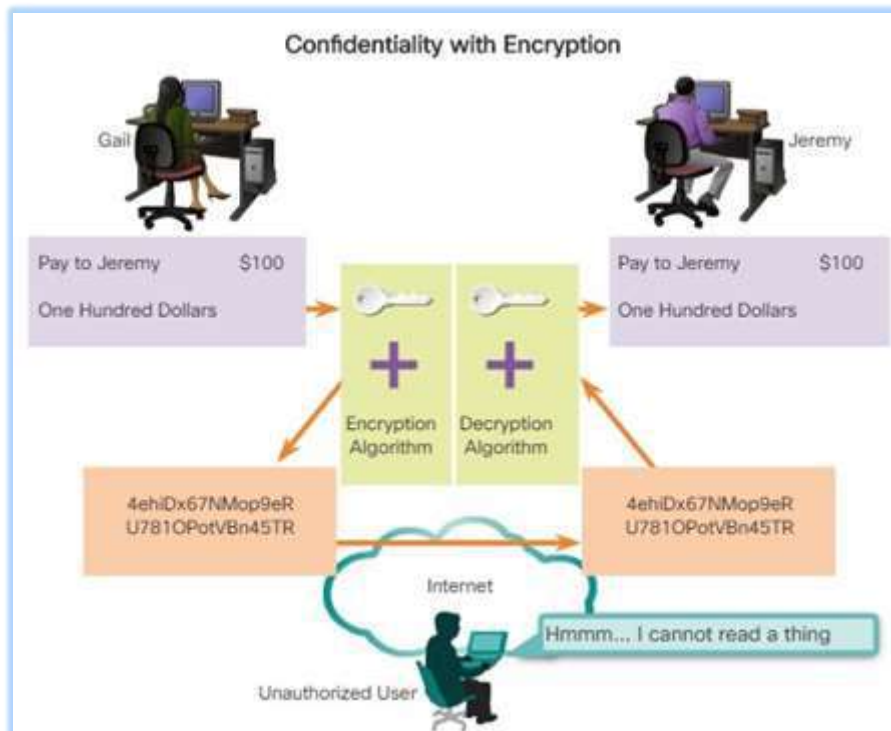
დაშიფრული რეჟიმის კავშირის უზრუნველსაყოფად, გამგზავნამაც და მიმღებმაც უნდა იცოდეს წესები, რომლებიც გამოიყენება ტექსტური შეტყობინების კოდირებულ ფორმაში გარდასაქმნელად. წესები დაფუძნებულია ალგორითმებზე და შესაბამის გასაღებებზე. შიფრაციის კონტექსტში ალგორითმი წარმოადგენს მოქმედების მათემატიკურ მიმდევრობას., რომელშიც შეტყობინება, ტექსტი, ციფრები კომბინირებულია გასაღებთან. გამომავალი მონაცემები წარმოადგენილია დაშიფრული წინადადების სახით, რომელიც არ იკითხება. შიფრაციის ალგორითმი ასევე განსაზღვრავს დაშიფრული შეტყობინების გაშიფვრის მეთოდს. სწორი გასაღების გარეშე მონაცემთა გაშიფვრა პრაქტიკულად შეუძლებელია.

ლოკალურ მხარეს დოკუმენტი ერთიანდება გასაღებთან და გადის შიფრაციის პროცედურას. გამომავალი მონაცემები წარმოადგენენ შიფროტექსტს. შემდეგ ეს შიფროტექსტი იგზავნება ინტერნეტში. მიმღების მხარეს შეტყობინება ისევ ერთიანდება გასაღებთან და ეშვება შიფრაციის ალგორითმში საპირისპირო მიმართულებით. გამომავალი მონაცემები წარმოადგენენ ფინანსურ დოკუმენტს.

კონფიდენციალურობა მიიღწევა ტრაფიკის შიფრაციით VPN ქსელში გაგზავნისას. უსაფრთხოების ხარისხი დამოკიდებულია გასაღების ზომაზე შიფრაციის ალგორითმში და თვითონ ამ ალგორითმის სირთულეზე. თუ ჰაკერი შეეცდება გასაღების გატეხვას მიმდევრობითი მეთოდის გამოყენებით, ვარიანტების რაოდენობა დამოკიდებული იქნება გასაღების ზომაზე. ყველა ვარიანტის გადასამუშავებლად საჭირო დრო დამოკიდებულია შემტევის კომპიუტერის გამოთვლით სიმძლავრეზე. ამიტომაც რაც მცირეა გასაღების ზომა, მით

ადვილია მისი გატეხვა. მაგალითად, თუ 64-ბიტანი გასაღების გასატეხად მძლავრ კომპიუტერს სჭირდება დაახლოებით 1 წელი, 128 ბიტანის გასატეხად იგივე სიმძლავრის მქონე კომპიუტერს დასჭირდება 10-19 წელი.

შიფრაციის ალგორითმში უსაფრთხოების ხარისხი დამოკიდებულია გასაღების ზომაზე. გასაღების ზომის გაზრდასთან ერთად მცირდება მისი გატეხვის შანსიც, თუმცა რაც დიდი ზომისაა გასაღები, მით მეტი პროცესორის რესურსი დასჭირდება მონაცემთა შიფრაციასა და გაშიფვრას (ნახ.2).



ნახ. 2. კონფიდენციალურობა დაშიფვრით

DES და 3DES ალგორითმები უკვე აღარ ითვლება საიმედოდ, ამიტომ შიფრაციისთვის პროტოკოლ IPsec-ში რეკომენდირებულია AES-ის გამოყენება. უსაფრთხოების უმაღლესი დონე VPN ქსელის შიფრაციისთვის Cisco-ს აპარატურებს შორის პროტოკოლ IPsec-ის გამოყენებით მიიღწევა AES-ის 256-ბიტანი ვარიანტით. გარდა ამისა, RSA-ს (Rivest-Shamir-Adleman) 512 და 768 ბიტანი გასაღებების გატეხვის ფაქტს თუ გავითვალისწინებთ, კომპანია Cisco რეკომენდაციას იძლევა, რომ გამოყენებულ იქნას RSA-ს 2048-ბიტანი გასაღებები (თუ ის გამოიყენება აუთენტიფიკაციის IKE ეტაპზე).

შიფრაციის ალგორითმებში, მაგალითად AES-ში საჭიროა საერთო საიდუმლო გასაღები, როგორც შიფრაციისთვის, ასევე გაშიფვრისთვის. ინფორმაციის დეკოდირებისთვის გასაღების შესახებ უნდა იცოდეს ორივე ქსელურმა მოწყობილობამ. სიმეტრიული გასაღებით შიფრაციის დროს (შიფრაცია საიდუმლო გასაღების გამოყენებით) თითოეული მოწყობილობა შიფრავს მონაცემებს ქსელში სხვა მოწყობილობასთან გაგზავნამდე. სიმეტრიული გასაღებით შიფრაციის დროს საჭიროა იმის ცოდნა, თუ რომელი მოწყობილობები ეკონტაქტებიან ერთმანეთს, რომ თითოეულ მოწყობილობაზე ერთი და იგივე გასაღები დაყენდეს [2].

მაგალითად, გამგზავნი ქმნის კოდირებულ შეტყობინებას, რომელშიც თითოეული ანბანის ასო იცვლება რიგში 2-ით დაშორებული შემდეგი ასოთი (მაგ, A იცვლება C-თი, B

იცვლება D-თი და ა.შ). ამ შემთხვევაში სიტყვა SECRET ხდება UGETGV. გამგზავნმა უკვე შეატყობინა მიმღებს, რომ საიდუმლო გასაღები არის ანბანის ასოს 2-ით ცვლილება (ზრდა). როდესაც მიმღები იღებს შეტყობინებას UGETGV, მისი კომპიუტერი დეკოდირებას უკეთებს ამ შეტყობინებას თითოეულ ასოზე 2-ის გამოკლებით და იღებს სიტყვა SECRET-ს. სხვა ნებისმიერი მომხმარებელი ამ შეტყობინებას ხედავს დაშიფრული სახით.

სიმეტრიული ალგორითმის თავისებურებანი:

- კრიპტოგრაფია გამოიყენება სიმეტრიულ გასაღებზე დაყრდნობით;
- შიფრაციისა და გაშიფვრისთვის გამოიყენება ერთი და იგივე გასაღები;
- ძირითადად გამოიყენება ტექსტური შეტყობინების დასაშიფრად;
- მაგალითები: DES, 3DES და AES.

ასიმეტრიული შიფრაციის დროს, შიფრაციისა და გაშიფვრისთვის გამოიყენება სხვადასხვა გასაღები. ერთ-ერთი გასაღების ცოდნა ჰაკერს საშუალებას არ აძლევს, რომ გაიგოს მეორე და ინფორმაციის დეკოდირება მოახდინოს. ერთი გასაღები ემსახურება შეტყობინების დაშიფვრას, ხოლო მეორე მის გაშიფვრას. შიფრაციის და გაშიფვრის ოპერაციის შესრულება ერთი და იმავე გასაღებით შეუძლებელია.

ასიმეტრიული შიფრაციის ერთერთი ვარიანტია შიფრაცია ღია გასაღებით, სადაც გამოიყენება ღია და საიდუმლო გასაღებების წყვილი. მიმღები ღია გასაღებს აცნობს ნებისმიერ გამგზავნს, რომელთანაც უნდა იკონტაქტოს. შეტყობინების შიფრაციისთვის გამოიყენება მიმღების ღია გასაღები. გარდა ამისა, გამგზავნმა მიმღებს უნდა მისცეს თავისი ღია გასაღები, რომ მისთვის გაგზავნილი შეტყობინება დაიშიფროს მისივე გასაღების გამოყენებით.. გაშიფვრისთვის მიმღები გამოიყენებს თავის საიდუმლო გასაღებს.

ასიმეტრიული ალგორითმის თავისებურებანი:

- კრიპტოგრაფია გამოიყენება ღია გასაღებზე დაყრდნობით;
- შიფრაციისა და გაშიფვრისთვის გამოიყენება სხვადასხვა გასაღები;
- ძირითადად გამოიყენება ციფრული სერტიფიკატების და გასაღებების მართვი დროს;
- მაგალითი: RSA.

3. დასკვნა

ადამიანთა უმრავლესობა VPN ტექნოლოგიას მიიჩნევს ერთერთ ყველაზე მძლავრ და მოსახერხებელ საშუალებად გლობალურ ქსელში სხვადასხვა ტიპის კავშირების დასამყარებლად. კონფიდენციალურობა მიიღწევა ტრაფიკის შიფრაციით VPN ქსელში გაგზავნისას. წამოჭრილი საკითხი უარესადაქტუალურია, ვინაიდან საიმედო კავშირი, რომლის საშუალებითაც გადაიცემა კონფიდენციალური ინფორმაცია, აუცილებელია ადამიანის მოღვაწეობის უამრავ სფეროში. შიფრაციის ალგორითმში უსაფრთხოების ხარისხი დამოკიდებულია გასაღების ზომაზე. გასაღების ზომის გაზრდასთან ერთად მცირდება მისი გატეხვის შანსიც, თუმცა რაც დიდი ზომისაა გასაღები, მით მეტი პროცესორის რესურსი დაჭირდება მონაცემთა შიფრაციასა და გაშიფვრას.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Darchashvil M., Kartvelishvil I., Okhanashvili M. (2021). Virtual Private Network VPN Technology and the Advantages of its use in the Network. Transactions of Georgian Technical University "Automated Control Systems ". No1(32), pp.215-218. DOI.org/10.36073/1512-3979

2. Darchashvili M., Kartvelishvili I., Okhanashvili M. (2022). Advantages of Using a Virtual Private Network (VPN), Description of Different Protocols and their Classification. International scientific-practical conference "innovations and modern challenges 2022", ISBN 978-9941-28-944-6, "Technical University", Tbilisi, pp.178-180.

(სტატია მიღებულია 31.03.2023)

IPsec VPN NETWORK SECURITY SERVICES, PRIVACY, ENCRYPTION AND ANALYSIS OF ITS ALGORITHMS

Darchashvili Mikheil
Georgian Technical University
misha8003123@gmail.com

Summary

The paper discusses IPsec VPN network security services, privacy and encryption, encryption algorithms. Today, no one is safe from the fact that his information will be captured by a malicious person through various techniques and used for bad purposes. To protect against this threat, we need to take care of the security of the transmitted data, for which various secure protocols are used for data transmission in the network. The VPN network supports various protection mechanisms and provides the highest level of security. For this, it uses complex encryption and authentication protocols that ensure data protection from unauthorized access.

(Received 31.03.2023)

СЛУЖБЫ СЕТЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ IPsecVPN, КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТЬ, ШИФРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЕЕ АЛГОРИТМОВ

Дарчашвили М.
Грузинский Технический Университет
Миша8003123@gmail.com

Резюме

Рассматриваются сервисы безопасности сети IPsecVPN, конфиденциальность и шифрование, алгоритмы шифрования. Сегодня никто не застрахован от того, что его информация будет перехвачена злоумышленником с помощью различных технологий и использована в неблагоприятных целях. Для защиты от этой угрозы нам необходимо позаботиться о безопасности передаваемых данных, для чего используются различные безопасные протоколы передачи данных в сети. Сеть VPN поддерживает различные механизмы защиты и обеспечивает высочайший уровень безопасности. Для этого используются сложные протоколы шифрования и аутентификации, обеспечивающие защиту данных от несанкционированного доступа.

(Поступила 31.03.2023)

სამხედრო ქსელებში კიბერუსაფრთხოების რისკების ანალიზის მათემატიკური მოდელი

ავთანდილ მიგინეიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

migineishvili.avtandil@gtu.ge

რეზიუმე

წარმოდგენილია სამხედრო ქსელებში კიბერუსაფრთხოების რისკების ანალიზის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს ისეთ ფაქტორებს, როგორცაა ქსელის ტოპოლოგია, შეტევის მეთოდები და წარმატებული შეტევის ალბათობა. ამ მოდელის გამოყენებით სამხედრო ორგანიზაციებს შეუძლია გამოავლინოს შესაძლო სისუსტეები თავიანთ ქსელებში და განახორციელოს უსაფრთხოების შესაბამისი ზომები, რათა შეამციროს რისკები კიბერშეტევების დროს.

საკვანძო სიტყვები: სამხედრო ქსელები. კიბერუსაფრთხოების რისკი. ქსელის მათემატიკური მოდელი.

1. შესავალი

კიბერუსაფრთხოების რისკები სამხედრო ქსელებში არის მუდმივი გამოწვევა. თანამედროვე სამხედრო ქსელების სირთულე და დინამიური ბუნება მათ მგრძობიარეს ხდის ფართო მაშტაბის კიბერშეტევების დროს. ამ რისკების შესამცირებლად, მათემატიკური მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას შესაძლო დაუცველობის გასაანალიზებლად და უსაფრთხოების სხვადასხვა ზომების ეფექტურობის შესაფასებლად.

თანამედროვე ომებში ტექნოლოგიებზე მზარდი დამოკიდებულების გამო, სამხედრო ქსელები გახდა კიბერშეტევების მთავარი სამიზნე. სამხედრო ქსელზე წარმატებული კიბერშეტევის შესაძლო შედეგები მძიმეა, დაწყებული საიდუმლო ინფორმაციის დაკარგვიდან დასრულებული კრიტიკული ოპერაციების შეფერხებამდე. ამიტომ, სამხედრო ქსელების კიბერუსაფრთხოების უზრუნველყოფა მთელ მსოფლიოში მთავრობების მთავარი პრიორიტეტია.

სამხედრო ქსელების სირთულე და დინამიკურობა დაუცველს ხდის მას კიბერშეტევების ფართო სპექტრის მიმართ. კიბერუსაფრთხოების ტრადიციული ზომები, როგორცაა ბრანდმაურერი (firewall) და ანტივირუსული პროგრამული უზრუნველყოფა, არ არის საკმარისად მდგრადი კიბერ საფრთხეებისგან თავის დასაცავად. კიბერუსაფრთხოების რისკების ეფექტურად შესამცირებლად საჭიროა მრავალმხრივი მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს ქსელის ტოპოლოგიას, შეტევის მეთოდებს და წარმატებული შეტევის ალბათობას. მათემატიკური მოდელების გამოყენებით, ორგანიზაციებს შეუძლია შეაფასოს უსაფრთხოების სხვადასხვა ზომების ეფექტურობა და გამოავლინოს შესაძლო სისუსტეები სამხედრო ქსელებში.

დღევანდელ სამყაროში სამხედრო ქსელები კიბერშეტევის ძირითადი სამიზნეა. სამხედრო ქსელების კიბერუსაფრთხემ შეიძლება გამოიწვიოს დამანგრეველი შედეგები, მათ შორის სენსიტიური ინფორმაციის დაკარგვა, კრიტიკული ინფრასტრუქტურის დაზიანება და სიცოცხლის დაკარგვაც კი. ამ რისკების შესამცირებლად, სამხედრო ორგანიზაციებმა უნდა განახორციელონ ეფექტური დაცვა კიბერშეტევებისგან. ამ გამოწვევის ერთ-ერთი მიდგომა არის

მათემატიკური ანალიზის გამოყენება უსაფრთხოების შესაძლო სტრატეგიების მოდელირებისა და შეფასებისთვის.

ჩვენ მიერ შემოთავაზებული მოდელი ითვალისწინებს სხვადასხვა ფაქტორებს, როგორცაა ქსელის ტოპოლოგია, შეტევის მეთოდები და წარმატებული შეტევების ალბათობა. მოდელი ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას უსაფრთხოების არსებული ზომების ეფექტურობის შესაფასებლად და კიბერუსაფრთხოების ახალი სტრატეგიებისა და პოლიტიკის შემუშავებისთვის.

2. ძირითადი ნაწილი

მათემატიკური მოდელირება იძლევა საიმედო ინსტრუმენტს კიბერშეტევებისგან თავდაცვის სხვადასხვა სტრატეგიის ეფექტურობის ანალიზისა და შეფასებისთვის. ამ მოდელს შეუძლია სხვადასხვა სცენარების სიმულაცია, რათა უზრუნველყოს სხვადასხვა სტრატეგიის გავლენა ქსელის უსაფრთხოებაზე. აქ მოცემულია რამდენიმე მაგალითი იმისა, თუ როგორ შეიძლება მათემატიკური ანალიზის გამოყენება სამხედრო ქსელების დაცვის გასაუმჯობესებლად:

1) *თამაშის თეორიის მოდელი*: თამაშის თეორია არის მათემატიკური მოდელი, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა მოთამაშეებს შორის სტრატეგიული ურთიერთქმედების მოდელირებისთვის, როგორცაა თავდასხმელი და დამცველი კიბერუსაფრთხოების კონტექსტში. ამ მოდელში დამცველის ოპტიმალური სტრატეგია განისაზღვრება თავდასხმელის სავარაუდო სტრატეგიების ანალიზით და საუკეთესო პასუხის არჩევით. თამაშის თეორიის მოდელების გამოყენებით, სამხედრო ორგანიზაციებს შეუძლია შეიმუშაოს სტრატეგიები, რომლებიც მდგრადია მთელი რიგი შესაძლო კიბერშეტევების წინააღმდეგ;

2) *Markov Chain-ის მოდელი*: მარკოვის ჯაჭვი არის სტოქასტიკური მოდელი, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას სისტემის აღსაწერად დროთა ინტერვალის განმავლობაში. ეს მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას სამხედრო ქსელზე კიბერშეტევების შესაძლო ანალიზისთვის და სხვადასხვა თავდაცვის სტრატეგიის ეფექტურობის გაზრდისათვის და საფრთხეების შესამცირებლად. სხვადასხვა სცენარის სიმულაციისა და კიბერშეტევების ალბათობის შეფასებით, Markov Chain-ის მოდელებს შეუძლია დაეხმაროს სამხედრო ორგანიზაციებს ქსელის ტერიტორიების იდენტიფიცირებაში, რომლებიც საჭიროებს დამატებით დაცვას;

3) *Bayesian Network Model*: ბაიესის ქსელები არის გრაფიკული მოდელები, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა ცვლადებს შორის სავარაუდო ურთიერთობების წარმოსაჩენად. ეს მოდელი გამოიყენება გარკვეული ინდიკატორების არსებობის საფუძველზე კიბერშეტევის ალბათობის გასაანალიზებლად. ამ ურთიერთობების ანალიზით, სამხედრო ორგანიზაციებს შეუძლია დაადგინოს, რომელი ინდიკატორებია ყველაზე მნიშვნელოვანი კიბერშეტევების გამოვლენისა და რეაგირებისთვის;

4) *ქსელის ნაკადის მოდელი* – არის მათემატიკური მოდელი, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას ქსელში მონაცემთა ნაკადის გასაანალიზებლად. სხვადასხვა სცენარის სიმულაციისა და მონაცემთა ნაკადის შეფასებით, ქსელის ნაკადის მოდელები დაეხმარება სამხედრო ორგანიზაციებს გამოავლინოს შესაძლო სისუსტეები ქსელში და შეიმუშაოს ეფექტური თავდაცვის სტრატეგიები კიბერშეტევების თავიდან ასაცილებლად.

ერთი მათემატიკური მოდელი, რომელიც ჩვეულებრივ გამოიყენება სამხედრო ქსელებში კიბერუსაფრთხოების რისკების შესაფასებლად, არის *რისკების შეფასების ალბათობის მოდელი*.

ეს მოდელი ეფუძნება პრინციპს, რომ კიბერუსაფრთხოების რისკების რაოდენობრივი დადგენა შესაძლებელია ალბათობის თეორიის გამოყენებით და მოიცავს სამხედრო ქსელებზე კიბერშეტევების შესაძლო საფრთხეების, სისუსტეებისა და შესაძლო შედეგების იდენტიფიცირებას.

რისკების შეფასების ალბათობის მოდელი მუშაობს სამხედრო ქსელების შესაძლო საფრთხეების იდენტიფიცირებისათვის, როგორცაა მანვე პროგრამები ან არაავტორიზებული წვდომის მცდელობები. შემდეგ მოდელი აფასებს ქსელის დაუცველობას ამ საფრთხეების მიმართ და აფასებს შეტევების შესაძლო შედეგებს, როგორცაა მონაცემთა დაკარგვა ან ოპერაციული შეფერხება. და ბოლოს, მოდელი ითვლის ქსელზე კიბერ შეტევის საერთო რისკს.

კიდევ ერთი მათემატიკური მოდელი, რომელიც გამოიყენება კიბერუსაფრთხოებაში, არის *შეტევის გრაფიკული მოდელი*. ეს მოდელი ეფუძნება გრაფიკის თეორიას და წარმოადგენს ქსელს, როგორც მიმართულ გრაფიკს, კვანძებით, რომლებიც სისტემის კომპონენტებია, როგორც *შესაძლო შეტევის სცენარები*. მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ქსელში შესაძლო სისუსტეების დასადგენად და კიბერუსაფრთხოების სხვადასხვა ზომების გავლენის შესაფასებლად ქსელის საერთო უსაფრთხოებაზე.

მათემატიკური ფორმულა, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას სამხედრო ქსელებში კიბერუსაფრთხოების რისკების გასაანალიზებლად:

რისკი = საფრთხე x დაუცველობა x შედეგი

ეს ფორმულა ითვლის კიბერთავდასხმის საერთო რისკს, საფრთხის წარმოქმნის ალბათობის გამრავლებით სისტემის დაუცველობაზე და შეტევის შედეგებზე ან ზემოქმედებაზე.

სამხედრო ქსელებში კიბერუსაფრთხოების რისკების ანალიზის სქემის ტოპოლოგია, როგორც წესი, მოიცავს ქსელის სხვადასხვა კომპონენტის იდენტიფიცირებას და მათ შორის ურთიერთობებს. ის შეიძლება შეიცავდეს შემდეგს:

- ქსელური მოწყობილობები: ეს მოიცავს მარშრუტიზატორებს, გადამრთველებს, ფეიერვოლებს და სხვა მოწყობილობებს, რომლებიც ქმნიან ქსელის ხერხემალს;
- ბოლო წერტილები: ეს არის მოწყობილობები, რომლებიც უკავშირდებიან ქსელს, როგორცაა კომპიუტერები, მობილური მოწყობილობები და სერვერები;
- ქსელის პროტოკოლები: ეს არის წესები, რომლებიც არეგულირებს, თუ როგორ ხდება მონაცემთა გადაცემა ქსელში, როგორცაა TCP/IP, DNS და HTTPS;
- უსაფრთხოების ზომები: ეს მოიცავს ბუხარებს, შეჭრის აღმოჩენისა და პრევენციის სისტემებს და უსაფრთხოების სხვა პროგრამულ უზრუნველყოფას, რომელიც გამოიყენება ქსელის დასაცავად;
- საფრთხეები: ეს არის რისკები, რომელთა წინაშეც დგას ქსელი, მათ შორის მანვე პროგრამები, ფიზიკური შეტევები და კიბერშეტევების სხვა ფორმები.

ქსელის ტოპოლოგიისა და ამ სხვადასხვა კომპონენტებს შორის ურთიერთობების გააზრებით, შესაძლებელია შემუშავდეს უფრო ეფექტური კიბერუსაფრთხოების სტრატეგია, რომელიც დაეხმარება ქსელის დაცვას პოტენციური საფრთხეებისგან.

სამხედრო ქსელებისთვის კიბერუსაფრთხოების რისკის ანალიზის ეფექტური მოდელის შემუშავებისთვის აუცილებელია, პირველ რიგში, იმ კრიტიკული აქტივების იდენტიფიცირება, რომლებიც საჭიროებს დაცვას. ეს აქტივები შეიძლება შეიცავდეს მგრძობიარე მონაცემებს, საკომუნიკაციო ქსელებს და აპარატურულ და პროგრამულ კომპონენტებს. კრიტიკული

აქტივების იდენტიფიცირების შემდეგი ბიჯია ამ აქტივებზე კიბერსაფრთხეების ალბათობისა და გავლენის შეფასება.

კიბერუსაფრთხოების რისკების შეფასების საერთო მიდგომა არის მათემატიკური მოდელების გამოყენება. რისკის დონის გამოსათვლელად ეს მოდელები იყენებს სხვადასხვა მონაცემს, როგორცაა საფრთხის წარმოქმნის ალბათობა, საფრთხის პოტენციური გავლენა და სისტემაში არსებული დაუცველობა. ზოგიერთი გავრცელებული მათემატიკური მოდელი, რომელიც გამოიყენება კიბერუსაფრთხოების რისკის ანალიზში, მოიცავს მონტე-კარლოს მეთოდს, ხარვეზის ხის ანალიზს და თავდასხმის ხის ანალიზს.

კიბერუსაფრთხოების რისკის ანალიზის მოდელის შემუშავების კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ასპექტი არის ადამიანის ფაქტორის გათვალისწინება. ადამიანურმა შეცდომებმა და ქცევამ ასევე შეიძლება გამოიწვიოს კიბერუსაფრთხოების მნიშვნელოვანი რისკები და აუცილებელია ადამიანის შეცდომის გათვალისწინება კიბერუსაფრთხოების რისკების შეფასებისას.

კიბერუსაფრთხოების რისკების შერბილება: კიბერუსაფრთხოების რისკების იდენტიფიცირებისა და ანალიზის შემდეგი ბიჯია შემარბილებელი გეგმის შემუშავება რისკის მისაღებ დონეზე შესამცირებლად. ეს გეგმა შეიძლება მოიცავდეს უსაფრთხოების კონტროლის დანერგვას, როგორცაა firewalls, შეჭრის აღმოჩენის სისტემები და მონაცემთა დაშიფვრა, კრიტიკული აქტივების დასაცავად.

მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ კიბერუსაფრთხოების რისკის ანალიზის მოდელი და შემარბილებელი გეგმა რეგულარულად უნდა განიხილებოდეს და განახლდეს კიბერუსაფრთხოების საფრთხეებისა და ტექნოლოგიური მიღწევების ცვალებად ადაპტაციაზე.

3. დასკვნა

კიბერუსაფრთხოების რისკების ანალიზი გადამწყვეტი ნაბიჯია სამხედრო ქსელების სხვადასხვა კიბერსაფრთხეებისგან დასაცავად. კიბერუსაფრთხოების რისკის ანალიზის ეფექტური მოდელის შემუშავებით შესაძლებელია კრიტიკული აქტივების იდენტიფიცირება და კიბერუსაფრთხოების რისკების შეფასება, რაც შესაძლებელს გახდის შესაბამისი შემარბილებელი გეგმის შემუშავებას რისკის მისაღებ დონეზე შესამცირებლად. კიბერუსაფრთხოების რისკის ანალიზის მოდელისა და შემარბილებელი გეგმის რეგულარული განხილვა და განახლება აუცილებელია კიბერუსაფრთხოების განვითარების საფრთხეების წინააღმდეგ მუდმივი ეფექტურობის უზრუნველსაყოფად.

ლიტერატურა - References – Литература:

1. Kasprzyk B., Łuczak S., Sliwa R. (2019). A mathematical model of cyber security risk assessment for military networks. Computers & Security, vol. 85, pp. 35-51
2. Kim J., Kim H.J., Lee J. (2016). A mathematical model for evaluating the risk of cyber attack in military networks. Journal of the Korean Society for Simulation, vol. 25, no. 1, pp. 1-10
3. Kim D.S., Yoo S.M. (2017). A mathematical model for cyber security risk analysis in military networks. In Proceedings of the 2017 International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon), pp. 1-4.

4. Koochakzadeh M., Hosseinzadeh M. (2016). A game-theoretic model for cyber security risk assessment in military networks. In Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI), pp. 122-124

5. Saha S.S., Ruj S., Roy B. (2017). A novel mathematical model for cybersecurity risk assessment of military networks, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 12, no. 9, pp. 2171-2186.

(სტატია მიღებულია 26.04.2023)

MATHEMATICAL MODEL OF CYBERSECURITY RISK ANALYSIS OF MILITARY NETWORKS

Migineishvili Avtandil

Georgian Technical University

migineishvili.avtandil@gtu.ge

Summary

A mathematical model for the analysis of cyber security risks in military networks is presented, which takes into account such factors as network topology, attack methods and the probability of a successful attack. Using this model, military organizations can identify possible weaknesses in their networks and implement appropriate security measures to reduce risks during cyber attacks.

(Received 26.04.2023)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА РИСКОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ВОЕННЫХ СЕТЯХ

Мигинеишвили А.

Грузинский Технический Университет

migineishvili.avtandil@gtu.ge

Резюме

Представлена математическая модель анализа рисков кибербезопасности в военных сетях, учитывающая такие факторы, как топология сети, методы атаки и вероятность успешной атаки. Используя эту модель, военные организации могут выявлять возможные слабые места в своих сетях и применять соответствующие меры безопасности для снижения рисков во время кибератак.

(Поступила 26.04.2023)

მანქანური დასწავლის მეთოდების გამოყენება კომპიუტერულ ქსელში ანომალიების გამოსავლენად

ბესიკ ბერიძე¹, მიხეილ დონაძე²

1-საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

2- ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

b.beridze@bsu.edu.ge; mikheil.donadze@bsu.edu.ge

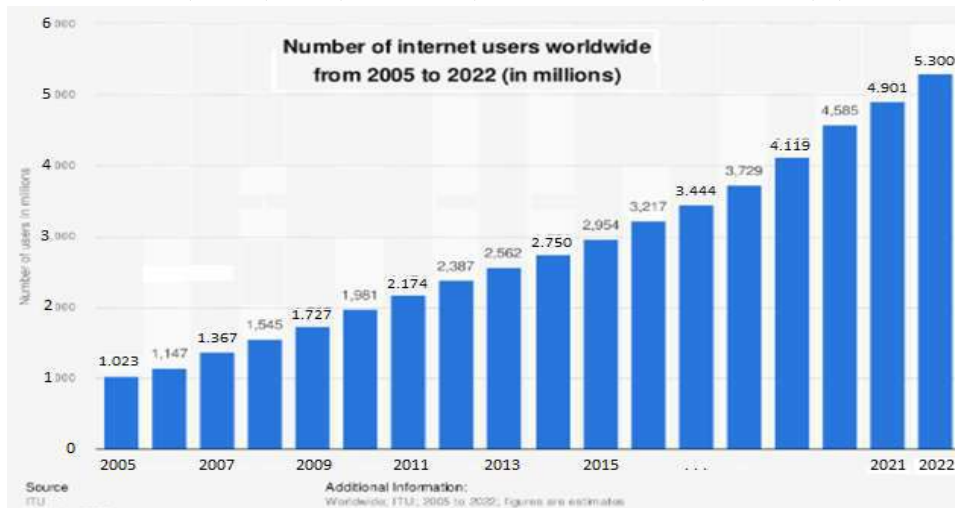
რეზიუმე

განხილულია მანქანური დასწავლის ალტერნატიული მეთოდები და ალგორითმები, რომლებიც გამოიყენება კომპიუტერულ ქსელში ანომალიების გამოსავლენად და კვლევისათვის. გაანალიზებულია ამ მეთოდების ეფექტიანობა ქსელური შეტევებისგან დასაცავად. შემოთავაზებულია მანქანური დასწავლის ალგორითმის მრავალშრიანი, იერარქიული სტრუქტურა, რომელსაც შედარებით მაღალი პრაქტიკული ღირებულება აქვს. ასეთი სტრუქტურის საშუალებით შესაძლებელია დროისა და გამოთვლითი რესურსების სიმძლავრეების დაზოგვა.

საკვანძო სიტყვები: მანქანური დასწავლა. ინტერნეტი. კომპიუტერული ქსელი. ქსელის უსაფრთხოება. ქსელის ანომალია. ანომალიის გამოვლენა.

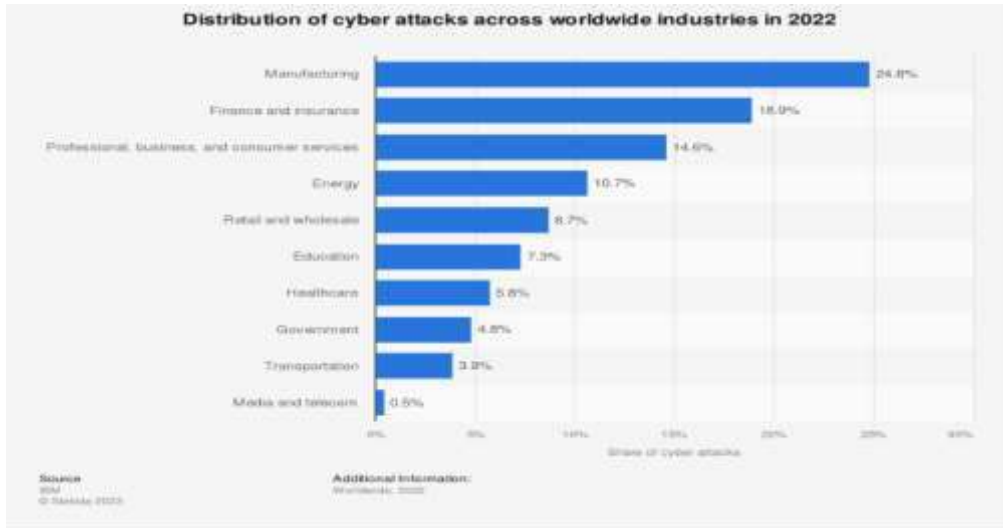
1. შესავალი

ყოველდღიურად მილიონობით ადამიანი და ასობით ათასი დაწესებულება ურთიერთობენ ერთმანეთთან ინტერნეტის საშუალებით. ბოლო ორი ათწლეულის განმავლობაში, ინტერნეტით მოსარგებლეთა რაოდენობა ძალიან სწრაფად გაიზარდა, დღეს ამ რიცხვმა 5 მილიარდს გადააჭარბა და ეს სწრაფი ზრდა გრძელდება [1, 2].



დიაგრამა 1. ინტერნეტის მომხმარებელთა რაოდენობის ზრდა წლების მიხედვით (2005-2022) [2]

ამ მოვლენების პარალელურად, დღითიდღე იზრდება ინტერნეტში განხორციელებული თავდასხმების რაოდენობა. ამ თავდასხმების საწინააღმდეგოდ, ინფორმაციული უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად თავდასხმების გამოსავლენად გამოიყენება ორი ძირითადი მეთოდი; იდენტიფიკაცია ხელმოწერის საფუძველზე და გამოვლენა ანომალიების საფუძველზე.



დიაგრამა 2. 2022 წელს კორპორაციულ საწარმოებს ჰქონდა კიბერშეტევების ყველაზე მაღალი წილი მსოფლიოს წამყვან ინდუსტრიებს შორის [2]

ხელწერებზე დაფუძნებული მეთოდები თავდასხმების გამოსავლენად იყენებენ მონაცემთა ბაზებს, რომლებიც ფორმირდება და ივსება უკვე არსებული, ანუ განხორციელებული შეტევების მიხედვით. ეს მეთოდი საკმაოდ წარმატებულია, მაგრამ მონაცემთა ბაზები მუდმივად უნდა განახლდეს და დამუშავდეს თავდასხმების ახალი ინფორმაცია. უფრო მეტიც, მაშინაც კი, თუ მონაცემთა ბაზები განახლებულია, ისინი დაუცველნი არიან ნულოვანი, ადრე უცნობი შეტევების მიმართ. ვინაიდან ახალი ტიპის შეტევები არ არის მონაცემთა ბაზაში, მათ არ შეუძლიათ ამ შეტევების თავიდან აცილება. ანომალიებზე დაფუძნებული მიდგომა ფოკუსირებულია ქსელის უჩვეულო ქცევების გამოვლენაზე ქსელის ნაკადის შემოწმებით, მეთოდი, უფრო წარმატებულია თავდასხმების გამოვლენაში, რომლებსაც აქამდე არ დაფიქსირებულა ანუ ეფექტურია ნულოვანი შეტევების დროს [1, 3].

გარდა ამისა, დღევანდელი ინტერნეტი ტრაფიკის ნახევარზე მეტი დაშიფრულია SSL/TLS პროტოკოლების გამოყენებით და ეს მაჩვენებელი დღითიდღე იზრდება [4]. დაშიფრული ინტერნეტ ნაკადის შინაარსის დაკვირვების შეუძლებლობის გამო, ხელმოწერებზე დაფუძნებული მეთოდები ეფექტურად აღარ მუშაობს ამ ტიპის მონაცემებზე. ანომალიებზე დაფუძნებული მიდგომა კი აანალიზებს მონაცემებს მისი ზოგადი თვისებების მიხედვით, როგორცაა პაკეტის ზომა, კავშირის დრო და პაკეტების რაოდენობა. მას არ სჭირდება შეტყობინების შინაარსის დათვალიერება და ასევე შეუძლია დაშიფრული პროტოკოლების ანალიზი. ამ უპირატესობის გამო ანომალიების გამოვლენის მეთოდები ინტენსიურად გამოიყენება ქსელის შეტევების აღმოსაჩენად და თავიდან ასაცილებლად.

2. ძირითადი ნაწილი

ინფორმაციულ ქსელებში ანომალიების გამოვლენა დღეს კვლევის ფართო სფეროს წარმოადგენს, ამ მიმართულებით უკვე ჩატარებულია მრავალი კვლევა, დაბეჭდილია უამრავი სტატია და გამოცემულია წიგნები. დღეს ასევე ფართოდ არის გავრცელებული მანქანური სწავლების, სტატისტიკაზე დაფუძნებული სხვადასხვა მეთოდები, რომლებიც სპეციალურად გამოიყენება ინფორმაციულ სისტემებში კიბერშეტყრის აღმოჩენის მიზნით. ისინი დაფუძნებულია IP ტრაფიკის ანალიზზე. შედეგად ხდება ნაკადის კლასიფიკაცია

დეტალური ინფორმაციის მიღება შესაძლო მოქმედებების შესახებ, როგორცაა პორტების სკანირება, ქსელური „ჭიები“, „ბოტნეტები“, DoS შეტევები და ა.შ.

ანომალია და თავდასხმის ტიპები. ანომალია არის მგომარეობა, რომელსაც არ გააჩნია ნორმალური თარგის მსგავსად კარგად განსაზღვრული თვისებები [4]. ანომალიის გასაგებად წესები, რომლებიც ქმნიან ნორმალურ კონცეფციას, უნდა იყოს სპეციფიკური და მართებული. ანომალიებს ვაანალიზებთ 3 ტიპით:

წერტილის ანომალია - თუ მონაცემთა კონკრეტული პაკეტი განსხვავდება მთლიანი მონაცემთა ნაკრებისგან იმ თვისებებით, რომლებსაც ის ატარებს, მას წერტილის ანომალია ეწოდება [4].

კონტექსტური ანომალია - მონაცემთა ნიმუშის გარე ქცევა დამოკიდებულია გარკვეულ პირობებზე ან ხდება გარკვეულ პირობებში [4].

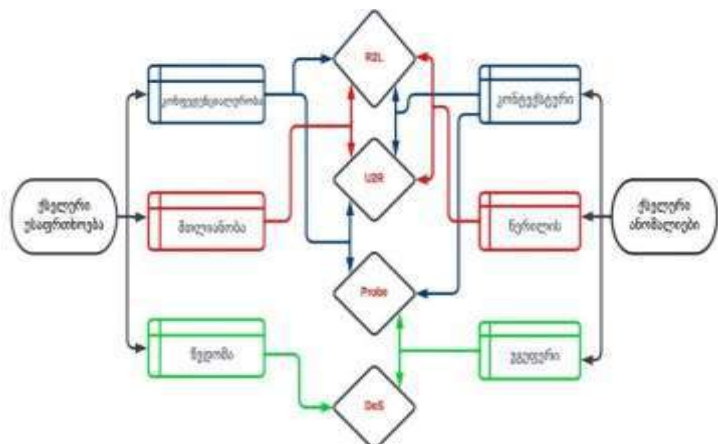
ჯგუფური ანომალია - თუ მონაცემთა ნაკრებს, რომელიც შედგება ტიპიური მონაცემებისგან, აქვს ნორმალური მონაცემებისაგან განსხვავებული თვისებები. [4].

ქსელის უსაფრთხოება ცდილობს დაიცვას ქსელი თავდასხმებისგან სამი პრინციპის წინააღმდეგ: კონფიდენციალურობა, მთლიანობა და წვდომა [4, 5].

ქსელური შეტევები არის ამ 3 არსებითი მახასიათებლის დარღვევის მცდელობა. თავდასხმები შეიძლება გავაერთიანოთ 4 ჯგუფში.

- მომსახურებაზე უარი (DoS) [6].
- პორტების სკანირება (ინფორმაციის შეგროვება) [4].
- U2R (User to Root) [4].
- R2U / R2L (Remote to User/remote to Local) [4].

ქსელის შეტევების კლასიფიკაცია მათ მიერ შექმნილი ანომალიების მიხედვით შეიძლება სასარგებლო იყოს თავდასხმის გამოვლენაში. თითოეული შეტევა იწვევს განსხვავებას (ანომალიას) ქსელის ნაკადში. მაგალითად, ცნობილია, რომ DoS შეტევები ზრდის მონაცემთა ნაკადის რაოდენობას და ქსელში პაკეტების რაოდენობას. ამრიგად, DoS შეტევების კლასიფიკაცია, როგორც კოლექტიური ანომალიები. მეორეს მხრივ, უფრო მიზანშეწონილი იქნება U2R და R2U ტიპის შეტევების კლასიფიცირება, როგორც კონტექსტური და წერტილის ანომალია, რადგან შეტევა არის კონკრეტული მომხმარებლის, გარკვეული პორტისა და კონკრეტული მიზნისთვის. გარდა ამისა, პორტების სკანირება ქსელში ქმნის მკვრივი პაკეტების ტრაფიკს. ამ კონტექსტში, Probe შეტევა შეიძლება განისაზღვროს, როგორც კონტექსტური და ჯგუფური ანომალია. კავშირი ქსელის ანომალიებსა და ქსელურ შეტევებს შორის წარმოდგენილია მე-2 ნახაზზე



ნახ.1. კავშირი ქსელის ანომალიებსა და ქსელის შეტევებს შორის

მანქანური დასწავლა. იგი გულისხმობს კომპიუტერის უნარს შეისწავლოს ესა თუ ის ამოცანა მონაცემებზე დაყრდნობით, ისწავლოს დამოუკიდებლად, დაპროგრამების გარეშე. ამ გზით პრობლემა წყდება ადამიანის ჩარევის მინიმუმამდე შემცირებით. მანქანური დასწავლა ფართოდ გამოიყენება ბევრ სფეროში, ძირითადად სადაც კლასიკური მეთოდები არაეფექტურია. მანქანური დასწავლის ალგორითმები შეიძლება დავეყთ 4 ჯგუფად, იმის მიხედვით არის თუ არა დასწავლო მონაცემები მარკირებული და მიღებული დასწავლო დაკვირვებების შედეგად. ესენია კონტროლირებადი სწავლა, უკონტროლო სწავლა, ნახევრად კონტროლირებადი სწავლა და სწავლა განმტკიცებით [7]. განსაკუთრებით ყურადღებას იწვევს კონტროლირებადი სწავლის მეთოდები, რადგან ქსელის ტრაფიკი შეიცავს მონაცემების დიდ ნაკადს და შესაძლებელია მონაცემების ხელით მარკირება.

ამ მეთოდების არჩევას ყურადღება უნდა გავამახვილოთ სხვადასხვა მახასიათებლის მქონე პოპულარული ალგორითმების გაერთიანებაზე. დავახსიათოთ ეს ალგორითმები:

Naive Bayes არის მანქანური სწავლის კონტროლირებადი ალგორითმი, რომელიც გამოიყენება კლასიფიკაციის ამოცანებისთვის, როგორცაა ტექსტის კლასიფიკაცია. ის ასევე არის გენერაციული სწავლების ალგორითმების ოჯახის ნაწილი, რაც იმას ნიშნავს, რომ ის ცდილობს მოცემული კლასის ან კატეგორიის საწყისი მონაცემების განაწილების მოდელირებას.

„Naive Bayes“ ალგორითმი არის მარტივი ალბათური კლასიფიკატორი, რომელიც დაფუძნებულია ბაიესის თეორემის გამოყენებაზე მკაცრი (გულუბრყვილო) დამოუკიდებლობის დაშვებებით. მისი ზუსტი ალბათური მოდელის ბუნებიდან გამომდინარე, იგი გამოიყენება ძალიან ეფექტურად. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, Naive Bayes-ის მოდელთან მუშაობა შეიძლება ბაიესის ალბათობის და ბაიესის მეთოდების გამოყენების გარეშე.

მიუხედავად მათი გულუბრყვილო გარეგნობისა და უდავოდ ძალზე გამარტივებული წესებისა, Naive Bayes ალგორითმი რეალურ ცხოვრებაში არსებულ ბევრ რთულ სიტუაციაში უკეთესად მუშაობს, ვიდრე ნეირონული ქსელები. მისი უპირატესობა არის ის, რომ ტესტირებისათვის საკმარისია მცირე რაოდენობის მონაცემები [8].

გადაწყვეტილების ხეები - იგი მანქანური დასწავლის ერთ-ერთი პოპულარული ალგორითმია. ამ მიდგომაში გამოყენებული წესები საკმაოდ მარტივი და გასაგებია.

გადაწყვეტილების ხე არის არაპარამეტრული დასწავლის ალგორითმი, რომელიც გამოიყენება, როგორც კლასიფიკაციის, ასევე რეგრესიის ამოცანებისთვის. მას აქვს იერარქიული, ხის სტრუქტურა, რომელიც შედგება ფესვის კვანძის, ტოტების, შიდა კვანძებისა და ფოთლის კვანძებისგან [8]. გადაწყვეტილების ხე გამოიყენება მაშინ, როდესაც კავშირი პროგნოზირებულ ცვლადებსა და პასუხის ცვლადს შორის არაწრფივია.

გადაწყვეტილების ხის ძირითადი იდეა არის "ხის" აშენება პროგნოზირების ცვლადების ნაკრების გამოყენებით, რომელიც განსაზღვრავს პასუხის ცვლადის მნიშვნელობას გადაწყვეტილების წესების გამოყენებით. მისი მთავარი უპირატესობა ის არის, რომ იგი შეიძლება სწრაფად იყოს მორგებული მონაცემთა ნაკრებზე, ხოლო საბოლოო ინტერპრეტაცია თვალსაჩინოდ იყოს წარმოდგენილი ვიზუალური „ხის“ დიაგრამის სახით.

მთავარი მიზნის არის ის, რომ გადაწყვეტილების ხე მიდრეკილია სასწავლო მონაცემთა ნაკრების გადაჭარბებისკენ, რაც იმას ნიშნავს, რომ მას შეუძლია ცუდად იმოქმედოს უხილავ მონაცემებზე.

შემთხვევითი ტყე - არის მანქანური სწავლის მიდგომა, რომელიც იყენებს გადაწყვეტილების ხეებს. შემთხვევითი ტყე წარმოქმნის N გადაწყვეტილების ხის სასწავლო ნაკრების. ამ პროცესის დროს, ის შემთხვევით არჩევს სასწავლო კომპლექტს თითოეული ხისთვის. ამრიგად, მიიღება n გადაწყვეტილების ხე, რომელთაგან თითოეული განსხვავდება მეორისგან და ბოლოს, გადაწყვეტილების მიღება ხორციელდება N ხეების მიერ გაკეთებული შეფასებებიდან ახალი შეფასებების შერჩევით. ყველაზე მაღალი რეიტინგის მქონე მნიშვნელობა განისაზღვრება როგორც საბოლოო [9]. შემთხვევით ტყეს ბევრი უპირატესობა აქვს. ეს შეიძლება ჩამოვთვალოთ შემდეგნაირად [10]:

- ამ ალგორითმს შეუძლია კარგად იმუშაოს ძალიან დიდ და რთულ მონაცემთა ნაკრებებთან. ამ შემთხვევაში ძალიან იშვიათია ალგორითმი;
- ის შეიძლება გამოყენებულ იქნას მანქანური სწავლების სხვადასხვა სახის პრობლემაზე;
- კარგად მონაცემთა უმკლავდება სატესტო ნაკრებში გამოტოვებულ მნიშვნელობებს. ის ცვლის ამ დაკარგულ ღირებულებებს საკუთარი, შექმნილი ღირებულებებით;
- გარდა ამისა, კლასიფიკაციის დროს ითვლის და იყენებს ცვლადების მნიშვნელობის დონეს. ამის წყალობით, ის ასევე გამოიყენება მანქანური სწავლების ფუნქციების შერჩევისთვის.

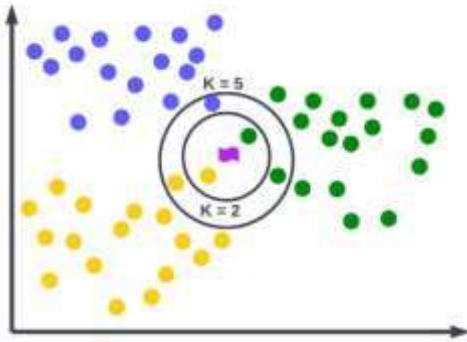
მეორეს მხრივ, შემთხვევითი ტყის სტრუქტურა საკმაოდ რთულია, რადგან იგი შედგება მრავალი გადაწყვეტილების ხისგან. რთულია მისი ფუნქციონირების გაგება.

გადაწყვეტილების ხეების და შემთხვევითი ტყეების დადებით და უარყოფით მხარეებს შორის შედარება ცხრ.1

	გადაწყვეტილების ხეები	შემთხვევითი ტყე
ინტერპრეტაცია	მარტივი ინტერპრეტაცია	რთული ინტერპრეტაცია
სიზუსტე	სიზუსტე შეიძლება იყოს ცვალებადი	ძალიან ზუსტი
გადამზადება	სავარაუდო მონაცემები შეიძლება იყოს გადაჭარბებული	ნაკლებად სავარაუდოა მონაცემების გადაჭარბება
ნახტომი/ მოულოდნელი ცვლილებები	შეიძლება დიდი გავლენა გამოიწვიოს მოულოდნელმა ცვლილებებმა	მდგრადია მოულოდნელი ცვლილებების მიმართ
განგარიშება	საბოლოო შედეგი სწრაფად მიიღება/ ნაკლები აპარატული დანახარჯი	საბოლოო შედეგის განგარიშება რთულია/საჭიროა დიდი გამოთვლითი რესურსები

K Nearest Neighbor KNN (K Nearest Neighbour), იგი შაბლონზე, თარგზე დაფუძნებული მეთოდია. თავისი მარტივი და სწრაფი სტრუქტურით არის ერთ-ერთი ყველაზე ხშირად გამოყენებული მანქანური დასწავლის ალგორითმი. იგი დამოკიდებულია დაშვებაზე, რომ მონაცემთა ნაკრების ნიმუში იარსებებს სხვა მონაცემთა ნაკრებში მსგავსი თვისებების მქონე ნიმუშებთან ახლოს [8].

N თვისებების მქონე სიბრტყეში, არაკლასიფიცირებული ნიმუშისთვის შესამოწმებელი მეზობლების რაოდენობა მითითებულია K რიცხვით. უცნობი ნიმუშისთვის, გამოითვლება მანძილები მეზობლებთან და ამ მანძილის მნიშვნელობებიდან აირჩევა უმცირესი K რიცხვები. ყველაზე განმეორებითი თვისება K მნიშვნელობების ფარგლებში ენიჭება უცნობი ინსტანციის თვისებას. მე-2 სურათზე ჩანს, თუ როგორ იქმნება $K=2$ და $K=5$ მნიშვნელობები 3-განზომილებიან სიბრტყეში ($N=3$).



ნახ.2. KNN ალგორითმის მოქმედება $K=2$ და $K=5$ მნიშვნელობებისთვის.

KNN, უზრუნველყოფს კარგ შესრულებას მრავალგანზომილებიან მონაცემებზე და სწრაფი ალგორითმია სასწავლო ფაზაში, მაგრამ შედარებით ნელია შეფასების ეტაპზე [10].

AdaBoost – ესაა მანქანური დასწავლის ალგორითმი, რომელიც შემუშავებულია კლასიფიკაციის მუშაობის გასაუმჯობესებლად. Boosting ალგორითმების მუშაობის ძირითადი პრინციპი შეიძლება აიხსნას შემდეგნაირად: მონაცემები ჯერ იყოფა ჯგუფებად უხეში კანონზომიერებით. როდესაც ალგორითმი გაიშვება, ამ უხეშ კავშირებს ემატება ახალი წესები. ამ გზით მიიღება სხვადასხვა სუსტი და დაბალი შესრულების წესი, რომელსაც ეწოდება „ძირითადი წესები“. მას შემდეგ, რაც ალგორითმი ბევრჯერ იმუშავებს, ეს სუსტი წესები გაერთიანდება ერთ წესში, რომელიც ბევრად უფრო ძლიერი და წარმატებულია. ამ პროცესის დროს, ალგორითმი ანიჭებს წონით კოეფიციენტს თითოეულ სუსტ წესს, რაც კოეფიციენტის უმაღლეს მნიშვნელობას აძლევს ცდომილების ყველაზე დაბალ კოეფიციენტს. წონის ეს მნიშვნელობები ძალაში შედის საბოლოო წესების შერჩევისას სადაც პრიორიტეტი ენიჭებით მაღალი ქულების მიხედვით [11].

AdaBoost ალგორითმს ბევრი უპირატესობა აქვს. ეს შეიძლება ჩამოვთვალოთ შემდეგნაირად [10]:

- ეს ალგორითმში არ საჭიროებს ცვლადის ტრანსფორმაციას;
- მას შეუძლია ოპერაციების შესრულება ძალიან ბევრ სუსტ წესზე;
- გადაჭარბებული მორგების პრობლემა ძალიან იშვიათია;
- ასევე კარგად მუშაობს მონაცემთა ნაკრების გამოტოვებულ მნიშვნელობებთან.

მეორეს მხრივ, ნაკლოვანებად შეიძლება აღინიშნოს ის, რომ ის სუსტია ხმაურის და ექსტრემალური მნიშვნელობების მიმართ და პროგნოზირებულ მნიშვნელობას არ აქვს უმაღლესი მაჩვენებელი სხვა ალგორითმებთან შედარებით.

MLP (Multi-Layer Perceptron) - ხელოვნური ნეირონული ქსელების ტიპია. მისი განსაკუთრებული თვისება არის ერთზე მეტი სავარჯიშო შრის არსებობა (ჩვეულებრივ, ორი ან სამი). თეორიულად ერთი ფარული ფენა საკმარისია, იმისთვის მოვახდინოთ საწყისი მონაცემების ხელახალი კოდირება, და მივიღოთ გამომავალი წარმოსახვის ხაზოვანი განცალკევება. MLP შედგება სამი ეტაპისგან. ეს ეტაპებია შეყვანის ფენა, ფარული ფენა და გამომავალი ფენა. შეყვანის ფენა არის MLP-ის ეტაპი, რომელიც პასუხისმგებელია მონაცემთა მიღებაზე. ამ ფენაზე ინფორმაციის დამუშავება არ ხდება. მხოლოდ მიღებული

ინფორმაცია გადაეცემა შემდეგ ფენას, ფარულ ფენას. ამ საფეხურზე თითოეული ნეირონი უკავშირდება ფარული შრის ყველა ნეირონს [12].

MLP-ის უპირატესობები შემდეგია:

- კარგად უმკლავდება რთულ პრობლემებს;
 - მას შეუძლია იმუშაოს დაკარგული მონაცემებით;
 - მას შეუძლია სასწავლო პროცესის განზოგადება ამრიგად, ის ემსახურება უფრო ფართო ტერიტორიას, ვიდრე სხვა მანქანური დასწავლის ალგორითმები;
- მაგრამ მეორეს მხრივ:
- რთულია ქსელის სტრუქტურის აგება;
 - მომხმარებელმა უნდა გადაწყვიტოს შესაბამისი ქსელის სტრუქტურა;
 - რთულია მისი ინტერპრეტაცია და გაგება [10, 12].

3. დასკვნა

ნაშრომში განხილულია მანქანური დასწავლის მეთოდები და ალგორითმები, რომლებიც შეიძლება გამოვიყენოთ კომპიუტერულ ქსელებში ანომალიების გამოსავლენად. დროთა განმავლობაში ტექნოლოგიების განვითარებამ ქსელის უსაფრთხოების სფეროში გამოიწვია მრავალი ინოვაცია. ახალი შეტევების წინააღმდეგ იწარმოება ახალი კონტროლოები და ყოველდღიურად ისახება ახალი გადაწყვეტილებები.

ანომალიების აღმოჩენა ზემოთ განხილული მეთოდების ცალკე-ცალკე გამოყენებით სასურველ შედეგამდე ვერ მიგვიყვანს, ზოგადად ექნება სუსტი პრაქტიკული ღირებულება ამ პრობლემის მოსაგვარებლად, უნდა შეიქმნას მრავალშრიანი / იერარქიული მანქანური დასწავლის სტრუქტურა. ასეთი სტრუქტურის წყალობით შესაძლებელია დროის, გამოთვლითი პროცესორის სიმძლავრის და მეხსიერების დაზოგვა.

ორსაფეხურიან სტრუქტურაში, პირველი ფენა შეიძლება შეიქმნას სწრაფი და გამოთვლითი იაფი ალგორითმებისგან, როგორცაა Naive Bayes ან QDA, ქსელის ტრაფიკის დაკვირვება შესაძლებელი იქნება მუდმივად და მინიმალური დანახარჯით. პირველი შრე ინფორმაციას ნებისმიერ ანომალიურ გამოვლენაზე გადასცემს ზედა შრეს, რომელიც შედგება მაღალი შესრულების დონის ალგორითმებისგან, როგორცაა ID3, AdaBoost და KNN. საბოლოო ფენა, რომელიც ქმნის განსაზღვრის მექანიზმს და უკვე მიიღებს პრევენციულ გადაწყვეტილებას, რათა დაიცვას ქსელი თავდასხმისგან.

ლიტერატურა - References – Литература:

1. Kostas K. (2018). Anomaly Detection in Networks Using Machine Learning.
2. Internet resource: <https://www.statista.com/statistics/273018/number-of-internet-users-worldwide/> [14.04.23].
3. Leung K., Leckie C. (2005). Unsupervised anomaly Detection in network intrusion detection using clusters, in Proceedings of Twenty-VII Australasian Conference on Computer Science- vol. 38, pp. 333-342: Australian Computer Society.
4. Ahmed M., Mahmood A.N., Hu J. (2016). A survey of network anomaly detection techniques, Journal of Network and Computer Applications, vol. 60.
5. Stallings W., Brown L., Bauer M.D., Bhattacharjee A.K. (2012). Computer security: principles and practice. Pearson Education.
6. Chhabra M., Gupta B., (2013). A novel solution to handle DDoS attack in MANET, Journal of Information Security, vol. 4.

7. Géron A., (2017). Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow: concepts, tools, and techniques to build intelligent systems. "O'Reilly Media, Inc."
8. Kotsiantis S. B., Zaharakis I., (2007) Supervised machine learning: A review of classification techniques, Emerging artificial intelligence applications in computer engineering, vol. 160.
9. Breiman L., (2001). "Random forests," Machine learning, vol. 45, pp 5-32.
10. Mueller J. P. and Massaron L., Machine Learning For Dummies Cheat Sheet, [Online]. Available: <https://www.dummies.com/programming/big-data/data-science/machine-learning-dummies-cheat-sheet/> [14.04.23].
11. Schapire R. E., (2003). The boosting approach to machine learning: An overview, in Nonlinear estimation and classification: Springer.
12. Alpaydin E., (2009). Introduction to machine learning. MIT press.
13. Uzer M. S., (2014). Feature Selection Algorithms Developed by Using Artificial Intelligence And Feature Transform Methods In Pattern Recognition Applications, Ph.D Thesis,

(სტატია მიღებულია 28.04.2023)

USING MACHINE LEARNING METHODS TO DETECT ANOMALIES IN A COMPUTER NETWORK

Beridze Besik¹, Donadze Mikheil²

1-Georgian Technical University,

2-Batumi Shota Rustaveli State University

b.beridze@bsu.edu.ge; mikheil.donadze@bsu.edu.ge

Summary

Alternative methods and algorithms of machine learning, used for detecting and researching computer network anomalies, are discussed in the paper. The effectiveness of these methods to protect against network attacks is analyzed. A multi-layer, hierarchical structure of the machine learning algorithm is proposed, which has a relatively high practical value. With such a structure, it is possible to save time and computing resources.

(Received 28.04.2023)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

Беридзе Б.¹, Донадзе М.²

1-Грузинский Технический Университет,

2-Батумский государственный университет им. Шота Руставели,

b.beridze@bsu.edu.ge; mikheil.donadze@bsu.edu.ge

Резюме

Рассматриваются альтернативные методы и алгоритмы машинного обучения, которые используются для обнаружения и исследования аномалий в компьютерных сетях. Анализируется эффективность этих методов защиты от сетевых атак. Предложена многоуровневая, иерархическая структура алгоритма машинного обучения, имеющая относительно высокую практическую ценность. При такой структуре можно сэкономить время и вычислительные ресурсы.

(Received 28.04.2023)

CLASSIFICATION OF ALL KINDS OF ROBOTS

Berdzenishvili Irma

Georgian Technical University

irmiko9@yahoo.co.uk

Abstract

In this article we explore management process robotization issues in the organization. The main directions of robotics as a rapidly developing industrial field are presented. Their classification is made from a pragmatic point of view, in particular, for the purposes of automation of production processes of various fields. We consider six main categories of robots: industrial, service, mobile, collaborative, autonomous and RPA robots. Among them, the objects of our research are RPA robots, that are software applications and are used to computerize management processes. Additionally, we highlight the growth and trends in the robotics industry, including market size and future opportunities. Understanding the different types of robots and their capabilities is crucial in identifying the most suitable robot for a specific application.

Key words: industrial robots. Service robots. Mobile robots. Collaborative robots. Autonomous robots. RPA robots.

1. Introduction

Robots have become an integral part of our daily lives, and they are used in various fields ranging from manufacturing to healthcare. With the advancement of technology, robots are becoming more sophisticated, and their applications are expanding. This article provides an overview of the classification of all kinds of robots, including a new class of robots called RPA robots.

➤ Industrial Robots

Industrial robots are the most common type of robots used in manufacturing. They are used for various tasks such as welding, painting, assembly, and material handling. Industrial robots are usually large, stationary machines that can operate in a controlled environment [8]. They are programmed to perform repetitive tasks, which saves time and increases efficiency. According to a study by the International Federation of Robotics (IFR), the global sales of industrial robots reached a record high of 381,000 units in 2017, with Asia accounting for 65% of the total sales [3]. In total there are up to three million industrial robots employed [9].

There are several types of industrial robots, including articulated robots, Cartesian robots, delta robots, and gantry robots. Articulated robots are the most common type of industrial robots. They have arms that can move in multiple directions, which makes them suitable for a wide range of applications. Cartesian robots are similar to industrial robots, but they move in a linear direction. Delta robots, also known as parallel robots, are used for high-speed applications such as pick-and-place operations. Gantry robots are similar to Cartesian robots, but they are larger and can handle heavier loads. They are commonly used in applications such as CNC machining and material handling [10].

➤ Collaborative Robots

Collaborative robots, also known as cobots, are designed to work alongside humans. They are smaller and more flexible than industrial robots and can be easily programmed to perform a variety of tasks. Cobots are used in various industries, including automotive, electronics, and healthcare. According to a report by ResearchandMarkets, the global market for collaborative robots is expected to reach USD 4.28 billion by 2023, growing at a CAGR of 50.31% between 2017 and 2023 [6].

Cobots are designed to be safe to work with humans. They are equipped with sensors that allow them to detect the presence of humans and stop immediately if there is a risk of collision. They are also lightweight and can be easily moved from one location to another. Cobots can be programmed using intuitive software, which makes them easy to use even for people with no programming experience [4].

➤ **Mobile Robots**

Mobile robots are designed to move around and operate in unstructured environments. They are equipped with sensors and cameras that allow them to navigate and avoid obstacles [7]. Mobile robots are used in various industries, including logistics, agriculture, and healthcare. According to a report by ResearchAndMarkets, the global market for mobile robots is expected to reach USD 30.96 billion by 2023, growing at a CAGR of 23.71% between 2018 and 2023 [6].

There are several types of mobile robots, including autonomous mobile robots, teleoperated robots, and programmable robots. Autonomous mobile robots are equipped with sensors and are capable of making decisions on their own. Teleoperated robots are controlled by humans, and the operator can see what the robot sees through a camera. Programmable robots can be programmed to follow a specific path or perform a specific task [2].

➤ **RPA Robots**

RPA stands for Robotic Process Automation, which is a new class of robots that are used to automate repetitive and mundane tasks. RPA robots are different from other types of robots because they are software robots, and they do not have a physical body. They are used in various industries, including finance, healthcare, and insurance.

RPA robots are designed to perform tasks that are typically done by humans, such as data entry, form filling, and report generation. They are programmed to follow a set of rules and procedures and can work 24/7 without taking a break. RPA robots can be integrated with existing software systems, which makes them easy to deploy and use.

According to a report by Grand View Research, the global market for RPA is expected to reach USD 3.11 billion by 2025, growing at a CAGR of 31.1% between 2018 and 2025 [1]. RPA robots are becoming increasingly popular because they can help organizations save time and money by automating repetitive tasks and freeing up human resources for more valuable work.

➤ **Service Robots**

Service robots are designed to interact with humans and provide services such as cleaning, cooking, and entertainment. Service robots are used in various industries, including hospitality, healthcare, and retail. According to a report by ResearchAndMarkets, the global market for service robots is expected to reach USD 23.9 billion by 2022, growing at a CAGR of 16.7% between 2017 and 2022 [6].

There are several types of service robots, including domestic robots, personal robots, and social robots. Domestic robots are designed to perform household tasks such as cleaning and cooking. Personal robots are designed to provide assistance to individuals, such as elderly people and people with disabilities. Social robots are designed to interact with humans and provide entertainment or companionship.

➤ **Military Robots**

Military robots are designed to assist soldiers in combat situations. They are used for various tasks such as surveillance, reconnaissance, and bomb disposal. Military robots can be operated remotely, which

allows soldiers to stay out of harm's way. Military robots are also equipped with sensors and cameras that allow them to detect and avoid obstacles.

There are several types of military robots, including unmanned aerial vehicles (UAVs), unmanned ground vehicles (UGVs), and unmanned underwater vehicles (UUVs). UAVs, also known as drones, are used for aerial surveillance and reconnaissance. UGVs are used for ground-based surveillance and reconnaissance. UUVs are used for underwater surveillance and reconnaissance [5].

3. Conclusion

Robots are becoming increasingly important in various industries, and their applications are expanding. There are several types of robots, including industrial robots, collaborative robots, mobile robots, RPA robots, service robots, and military robots. Each type of robot has its unique features and applications. The global market for robots is expected to continue to grow in the coming years, driven by advancements in technology and the increasing demand for automation.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Grand View Research. (2019). Robotic Process Automation (RPA) Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type, By Services, By Application (BFSI, Retail), By Organization, By Region, And Segment Forecasts, 2018 - 2025. Grand View Research. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/robotic-process-automation-rpa-market>
2. Hutchinson, S. (2017). What Are Mobile Robots? Robotics Online. <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/What-Are-Mobile-Robots/89>
3. International Federation of Robotics. (2021). Industrial Robots. <https://ifr.org/industrial-robots/>
4. Krebs, E. (2018). What are Collaborative Robots and How Do They Benefit Manufacturing? Robotics Business Review. <https://www.roboticsbusinessreview.com/manufacturing/what-are-collaborative-robots-and-how-do-they-benefit-manufacturing/>
5. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). Progress and Opportunities of Reducing Uncertainty in Air Force Weather Forecasts. National Academies Press (US). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK548602/>
6. ResearchAndMarkets. (2018). Service Robotics Market by Operating Environment, Application, and Geography - Global Forecast to 2022. ResearchAndMarkets. https://www.researchandmarkets.com/research/vkt9cn/service_robotics?w=5
7. Shukla, A. (2019). What are Mobile Robots? Robotics and Automation News. <https://roboticsand-automationnews.com/2019/08/30/what-are-mobile-robots/25618/>
8. Statista. (2021). Global Market Size of Industrial Robots 2018-2023. <https://www.statista.com/statistics/530231/global-robotic-market-size-by-segment/>
9. TechJury. (2021). 35+ Mind-Blowing Robotics Industry Statistics & Facts. <https://techjury.net/blog/robotics-industry-statistics/>
10. Vergis, N. (2021). Robotics Types - Collaborative, Industrial, Service and More. Design World. <https://www.designworldonline.com/robotics-types-collaborative-industrial-service-and-more/>

(Received 25.04.2023)

ორგანიზაციული მართვის სისტემების პროცესების ავტომატიზაცია და რობოტების კლასიფიკაცია

ბერძენიშვილი ირმა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

irmiko9@yahoo.co.uk

რეზიუმე

განხილულია ორგანიზაციაში მენეჯმენტის პროცესების რობოტიზაციის საკითხები. წარმოდგენილია რობოტიკის, როგორც სწრაფად განვითარებადი ინდუსტრიული სფეროს ძირითადი მიმართულებები. მათი კლასიფიკაცია შესრულებულია პრაგმატული თვალსაზრისით, კერძოდ, სხვადასხვა დარგის საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციის დანიშნულებისთვის. ჩვენ ვიხილავთ რობოტების ექვს ძირითად კატეგორიას: ინდუსტრიული, მომსახურე, მობილური, კოლაბორაციული, ავტონომიური და RPA რობოტები. ამათგან ჩვენი კვლევის ობიექტია RPA რობოტები, რომლებიც რეალიზებულია პროგრამული აპლიკაციების სახით და გამოიყენება მენეჯმენტის პროცესების კომპიუტერიზაციის მიზნით. დამატებით, ჩენ ხაზს ვუსვამთ ტრენდებს რობოტების ინდუსტრიაში, როგორცაა ბაზრის ზომა და მომავალი შესაძლებლობები. სხვადასხვა ტიპის რობოტების კატეგორიების კარგად გაგება, თუ რა შესაძლებლობები აქვს თითოეულ კლასს. მეტად მნიშვნელოვანია, რათა სწორად შეირჩეს და განისაზღვროს შესაფერისი რობოტი კონკრეტული დანიშნულებისთვის.

(სტატია მიღებულია 25.04.2023)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ РОБОТОВ

Бердзенишвили И.

Грузинский Технический Университет

irmiko9@yahoo.co.uk

Резюме

Рассматриваются вопросы роботизации управленческих процессов в организации. Представлены основные направления робототехники, как бурно развивающейся отрасли промышленности. Их классификация произведена с прагматической точки зрения, в частности, с целью автоматизации производственных процессов в различных областях. Мы рассмотрим шесть основных категорий роботов: промышленные, сервисные, мобильные, совместные, автономные и RPA-роботы. Среди них объектом нашего исследования являются роботы RPA, которые реализованы в виде программных приложений и используются для компьютеризации процессов управления. Кроме того, мы выделяем тенденции в индустрии робототехники, такие как размер рынка и будущие возможности. Хорошее понимание различных типов категорий роботов и возможностей каждого класса. Очень важно правильно выбрать и определить подходящего робота для конкретной цели.

(Поступила 25.04.2023)

სწავლების ახალი მეთოდების ანალიზი COVID-19-ის პირობებში

თალიკო ჟვანია, ანა კობიაშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
talizhvania@gtu.ge; a.kobiashvili@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია პანდემიის პერიოდში მრავალ ქვეყანაში ჩატარებული საგანმანათლებლო პრობლემების კვლევის შედეგები. გაკეთებულია მსოფლიოს რამდენიმე წამყვანი უნივერსიტეტის პრაქტიკის ანალიზი და დასკვნების განზოგადება. გამოყოფილია განათლების ხარისხის ამაღლების ძირითადი ფაქტორები დისტანციური და ჰიბრიდული სწავლების მოდელების კონტექსტში. მოყვანილია უმაღლესი განათლების სექტორში კორონავირუსის პანდემიით გამოწვეული პრობლემების კლასიფიკაცია. განზოგადებულია დისტანციური სწავლების დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

საკვანძო სიტყვები: უმაღლესი განათლება. სასაწავლო პროცესი. სწავლების მეთოდი.

1. შესავალი

COVID-19 პანდემიის დასაწყისში ლოკდაუნმა შოკურ მდგომარეობაში ჩააგდო ეკონომიკის ყველა დარგი და ჩვენი ყოველდღიური ცხოვრება მირ-ფესვიანად შეცვალა. ექსტრემალურ პირობებში ამოქმედდა არა მარტო თვითგადარჩენის ინსტინქტი, არამედ აქტუალური გახდა გადაწყვეტილებების მიღების ოპერატიულობაც.

უმაღლესი განათლება აღმოჩნდა ადამიანის მოღვაწეობის ერთ-ერთი პირველი სფერო, რომელზეც პანდემიამ უდიდესი ზეგავლენა მოახდინა, თუმცა ასევე უმაღლესი განათლების სფერო აღმოჩნდა იმ დარგების საკმაოდ მცირე სიმრავლეში, რომლებიც მეტ-ნაკლებად მომზადებულნი აღმოჩნდნენ ონლაინ რეჟიმში ოპერირებისათვის. გლობალური კრიზისის პირობებში უმაღლესი განათლების სექტორში კორონავირუსის პანდემიამ განსაკუთრებული ზემოქმედება მოახდინა ხუთი მიმართულებით: განათლების ინტერნაციონალიზაციის, სამეცნიერო-კვლევითი, საკანონმდებლო, განათლების ორგანიზაციისა და დაფინანსების.

– *განათლების ინტერნაციონალიზაცია* უკავშირდება ამა თუ იმ ქვეყანაში უცხო ქვეყნებიდან ჩამოსული სტუდენტებისათვის საგანმანათლებლო პროცესის უზრუნველყოფას. განათლების საზღვარგარეთ მიღებისათვის სხვადასხვა ქვეყნებში ჩასული სტუდენტების ნაწილი პანდემიის გამო დაბრუნდა მშობლიურ ქვეყანაში, ნაწილი კი დარჩა იმავე ქვეყანაში. უმაღლეს სასწავლებლებს მოუწიათ უცხოელი სტუდენტების მოსაზიდად ახალი გზების მოძიება;

– *სამეცნიერო-კვლევების* მიმართულებით გაჩნდა კვლევების ახალი სფერო: უმაღლესი განათლების სფეროზე პანდემიის ზეგავლენის კვლევა და დისკუსიების ჩატარება საერთაშორისო ორგანიზაციებთან და სხვადასხვა უნივერსიტეტთან ონლაინ რეჟიმში. ამასთან, უნივერსიტეტებმა დაიწყეს ვირტუალურ სამეცნიერო ქსელებში კვლევების ახალი ფორმების მოძიება. ეს პანდემიასთან დაკავშირებული დადებითი მხარეა. რაც შეეხება უარყოფით მხარეს, არაკადემიურმა ორგანიზაციებმა შეამცირეს სამეცნიერო კვლევების შეკვეთების მოცულობა;

– *კანონმდებლობასთან* დაკავშირებით აღსანიშნავია ის, რომ ქვეყნებს მოუწიათ ცვლილებების შეტანა განათლების კანონში, რაც დაკავშირებულია სასწავლო პროცესის და გამოცდების ონლაინ რეჟიმში ჩატარებასთან და სასწავლო პროცესის დისტანციურად მართვასთან;

– *სწავლების ორგანიზაციაშიც* მოხდა გარკვეული ცვლილებები, კერძოდ, გაძლიერდა თანამშრომლობა უნივერსიტეტებს შორის; საგანმანათლებლო პლატფორმებთან და საერთაშორისო ორგანიზაციებს შორის კოოპერაცია. ის კავშირშია ციფრული ტექნოლოგიის სასწავლო პროცესში გამოყენების მეთოდოლოგიურ მხარდაჭერასთან, პროფესორ-მასწავლებლების, სტუდენტებისა და ადმინისტრაციული პერსონალის კვალიფიკაციის ამაღლების ონლაინ კურსების შექმნასთან;

– დაბოლოს, დაფინანსების სფეროში შეიცვალა ის, რომ უნივერსიტეტებმა დაიწყეს აქცენტირება ფინანსური საშუალებების უფრო ეფექტურ გამოყენებაზე, რადგან პანდემიის პირობებში ბევრმა არაკადემიურმა ორგანიზაციამ შეამცირა დაკვეთები სამეცნიერო კვლევებზე, თუმცა, მეორე მხრივ, სასწავლო ინფრასტრუქტურაზე დანახარჯებიც შემცირდა, რამაც თითოეულ უნივერსიტეტს მისცა ფინანსური სახსრების სერიოზული ეკონომია.

2. ძირითადი ნაწილი

უნივერსიტეტების საერთაშორისო ასოციაციის გამოკითხვის შედეგების მიხედვით, პანდემიის პერიოდში უნივერსიტეტების წინაშე გაჩენილი გამოწვევები იყო: საგანმანათლებლო პროცესების შესუსტება, აბიტურიენტების რაოდენობის შემცირება, კვლევითი სამუშაოების დადგენილ ვადებში დასრულების შეუძლებლობა, საპარტნიორო ურთიერთობების შესუსტება, აკადემიური მობილობის შემცირება [1].

ყველაზე დიდი გამოწვევა უნივერსიტეტებისათვის *ეკონომიკური პრობლემები* აღმოჩნდა – კრიზისული სიტუაციიდან გამომდინარე მოხდა ფინანსური უზრუნველყოფის შემცირება ისეთი ტრადიციული საგანმანათლებლო ისტორიის მქონე ქვეყნების უნივერსიტეტებში, როგორცაა დიდი ბრიტანეთი, აშშ, კანადა, ავსტრალია. მეორე მხრივ, სტუდენტების შემოდინება გაიზარდა მოსახლეობის შემოსავლების კლებასთან ერთად ისეთ ქვეყნებში, რომლებიც უზრუნველყოფენ სწავლების მაღალ სტანდარტებს და, ამავე დროს, გეოგრაფიულად ახლოს მდებარეობენ მათ ქვეყნებთან, ხოლო სწავლების გადასახადი ბევრად მცირეა მსოფლიოს წამყვან უნივერსიტეტებთან შედარებით. კრიზისის პერიოდში მნიშვნელოვნად შესუსტდა სტუდენტების კავშირები შრომის ბაზართან. განვითარებულმა ქვეყნებმა შექმნეს ფონდები და ცხელი ხაზები სტუდენტების დასახმარებლად. უნივერსიტეტები ზრუნავდა სტუდენტების აპარატურით უზრუნველყოფაზე, რათა მათ შეძლებოდათ სრულყოფილად გაეკლათ შესაბამისი ონლაინ კურსები.

უნივერსიტეტებისათვის კიდევ ერთი გამოწვევა აღმოჩნდა *კომუნიკაცია* – კომუნიკაცია სტუდენტებთან და აბიტურიენტებთან როგორც საკუთარ ქვეყანაში, ისე საზღვარგარეთ. ჩატარებული გამოკითხვების თანახმად, სტუდენტებმა სტრესი მიიღეს თანაკურსელებსა და პროფესორებთან ცოცხალი ურთიერთობის შეუძლებლობის გამო. ამასთან, წინა პლანზე წამოვიდა სოციალური ქსელების როლი და საუნივერსიტეტო ვებ-გვერდებზე საჭირო ინფორმაციის დროული და ხშირი განთავსება. უნივერსიტეტებს აქვთ ელექტრონული პლატფორმები სასწავლო კურსების ასატვირთად, სადაც სტუდენტებს შეუძლიათ ჩამოტვირთონ საჭირო ელექტრონული მასალა, შეასრულონ და შემდეგ ატვირთონ დავალებები, რათა ლექტორებმა შეძლონ მათი შეფასება.

გარდა ამისა, უნივერსიტეტებმა შეიმუშავეს ვირტუალური მობილობის პლატფორმები. ასევე ეწყობა ონლაინ ღონისძიებები და ვებინარები სტუდენტებსა და აბიტურიენტებთან კომუნიკაციისათვის. პანდემია დადებითად აისახა პარტნიორობის სფეროზე. ბევრმა უნივერსიტეტმა პარტნიორობასთან დაკავშირებული ღონისძიებები გადაიტანა ონლაინ ფორმატში, ბევრმა მოძებნა ციფრულ გარემოში ურთიერთობის ახალი ფორმები მუდმივი კომუნიკაციის შესანარჩუნებლად, ერთობლივი ამოცანებისა და პრობლემების გადასაწყვეტად და ოპტიმალური გადაწყვეტილებების საპოვნელად.

მიუხედავად მრავალი ტრენინგისა, ონლაინ სწავლების ორგანიზაციაში და ციფრული ინსტრუმენტების გამოყენებისა, სწავლების ხარისხმა მაინც დაიკლო, რადგანაც პედაგოგების დიდი ნაწილი ამისათვის მოუმზადებელი აღმოჩნდა. გარდა ამისა, ყველა საგნობრივი არე არ ექვემდებარება ონლაინ სწავლებას, მაგალითად, მედიცინა, ტექნოლოგიური და სახელოვნებო სპეციალობები. ერთ-ერთი პრობლემა, რომელიც გამოვლინდა ონლაინ სწავლებისას, არის პედაგოგებისა და სტუდენტების ფსიქოლოგიური გადატვირთულობა სასწავლო პლატფორმების, აპლიკაციებისა და ონლაინ სწავლების სხვა ინსტრუმენტების მუდმივი გამოყენების გამო.

ონლაინ სწავლების გამოცდილებამ აჩვენა, რომ სხვადასხვა უნივერსიტეტმა სხვადასხვაგვარად გაართვა თავი ისეთ პრობლემებს, როგორცაა ტექნიკური და ნორმატიული შეზღუდვები,

ეფექტური კომუნიკაცია, საგანმანათლებლო რესურსების ოპტიმალური გამოყენება. სტუდენტებისათვის ხელმისაწვდომია სხვა უნივერსიტეტების ღია საგანმანათლებლო რესურსები. მათ შეუძლიათ შეაფასონ სხვა უნივერსიტეტების სასწავლო საშუალებების ინფორმაციულობისა და აქტუალობის დონეც. ეს ზრდის თითოეული უნივერსიტეტის მოტივაციას გააუმჯობესოს სასწავლო პროცესის ხარისხი. ამრიგად, პანდემიის პერიოდში ყველა ქვეყნის უნივერსიტეტი აღმოჩნდა ეკონომიკური, ინფრასტრუქტურული და ორგანიზაციული გამოწვევების წინაშე. პანდემიის ნეგატიური ზეგავლენაა სტუდენტების აკადემიური მობილობის შემცირება, სამეცნიერო კვლევების შემცირება, პარტნიორობის შესუსტება.

კრიზისმა გამოავლინა პოზიტიური პერსპექტივაც: უნივერსიტეტების ინტენსიური მუშაობა პარტნიორობთან ურთიერთობის ახალი ფორმების შექმნისათვის [3], კრიზისული გეგმების შემუშავება პარტნიორულ ორგანიზაციებთან ერთად, ვირტუალური მობილობის გაძლიერება და გამოცდილების გაზიარება, თანამშრომლობა აკადემიურსა და არაკადემიურ ორგანიზაციებთან.

არ არსებობს უნივერსალური პასუხი კითხვაზე: როგორი უნდა იყოს უმაღლეს სასწავლებლებში განათლების ხარისხის უზრუნველყოფისა და შიდა შეფასების იდეალური მოდელი? მსოფლიოს წამყვანი უნივერსიტეტები ადგენენ ხარისხის შეფასებისა და უზრუნველყოფის საკუთარ მოდელს, ირჩევენ ხარისხის ამაღლების სხვადასხვა საკვანძო ფაქტორებს. მაგალითად, გერმანიის ჰეიდელბერგის უნივერსიტეტმა შექმნა ცალკეული ადმინისტრაციული სტრუქტურა საგანმანათლებლო პროცესის ხარისხის შეფასების წარმოებისათვის, რომელიც აქტიურად თანამშრომლობს სტუდენტებთან, ანალიზებს რა სტუდენტების მიერ სასწავლო პროცესის აღქმას. ფაკულტეტის დონეზე ოპერატიულად იქმნება სამუშაო ჯგუფები საგანმანათლებლო პროგრამების კვლევისათვის. უნივერსიტეტში წარმოებს სასწავლო პროცესის ციკლური მონიტორინგი, რომელიც მოიცავს სტუდენტებისა და პედაგოგებისაგან მონაცემთა შეგროვებას, ამ მონაცემთა სწავლების კრიტერიუმებთან მათი შესაბამისობის ექსპერტულ შეფასებას და სამუშაო ჯგუფების ერთობლივი ანგარიშების მომზადებას. თუ შეფასება „მწვანე“ ზონაშია, მიიღება პროგრამების ან კურსების თვითაკრედიტაციის გადაწყვეტილება. თუ შეფასება „ყვითელი“ ან „წითელი“ ზონაშია, დეპარტამენტები ვალდებულია ჩაატაროს ხარისხის დამატებითი აუდიტი და ჩატარებული სამუშაოს შესახებ ანგარიში ჩააბაროს უნივერსიტეტის ადმინისტრაციას. არსებითად ესაა რისკ-ორიენტირებული მიდგომა.

ოქსფორდის უნივერსიტეტის განათლების ხარისხის გარანტიის სისტემა აგებულია იერარქიული გზით. უნივერსიტეტის დონეზე ხარისხის საკითხებზე პასუხისმგებელია უნივერსიტეტის საბჭო, რომელიც ახდენს ხარისხის უზრუნველყოფის საკითხების უმეტესობის დელეგირებას განათლების კომიტეტისათვის. ეს უკანასკნელი აფორმირებს იმ მექანიზმების შემუშავებისა და დანერგვის საუნივერსიტეტო პოლიტიკას, რომლებიც იძლევა სწავლების მაღალი სტანდარტების უზრუნველყოფის გარანტიას, და ანგარიშს წარუდგენს საბჭოს ოქსფორდის აკადემიური სტანდარტების დაცვის შესახებ. საგანმანათლებლო კომიტეტი შედგება სამი სამუშაო ჯგუფისაგან: სტუდენტების, კურსდამთავრებულების და საგამოცდო. პირველი ორი ჯგუფი შედგება უნივერსიტეტის სტუდენტების, პედაგოგების, ადმინისტრაციული პერსონალის, დეპარტამენტებისა და ფაკულტეტების წარმომადგენლებისაგან, რომლებიც დაკავებული არიან სტუდენტების აკადემიური უზრუნველყოფის საკითხების გადაწყვეტით. საგამოცდო ჯგუფის ფუნქციაა შუალედური და საბოლოო ატესტაციასთან დაკავშირებული საკითხების გადაწყვეტა. ხარისხის შეფასების ეფექტური უზრუნველყოფის მიზნით განათლების კომიტეტი ყოველწლიურად გამოსცემს შიდა მონიტორინგის პროცედურების სახელმძღვანელოს, შეფასებისა და გამოცდების ჩარჩოს და ხარისხის უზრუნველყოფისათვის საჭირო პროცედურების ჩატარების კალენდარს. სახელმძღვანელოში აღწერილია ხარისხის შეფასების თითოეული პროცედურის მიხედვით „ურთიერთქმედების ციკლი“. ხარისხის შეფასების სისტემა შედგება რამდენიმე ნაწილისაგან: ჩარიცხული სტუდენტების ხარისხის მაჩვენებლები, საუნივერსიტეტო და გარე ექსპერტების ანგარიშები, პროგრამების ყოველწლიური მონიტორინგის სტატისტიკა, უკუკავშირი და სტუდენტების შეფასება, მონაცემები კურსდამთავრებულთა დასაქმებულობის შესახებ.

მსგავსი ღონისძიებები, ცხადია, ტარდება აშშ-ის უნივერსიტეტებშიც. მაგალითად, იმის გამო, რომ იელის უნივერსიტეტში ხდება მაღალი მოტივაციისა და ნიჭიერი სტუდენტების ჩარიცხვა, განათლების ხარისხის სრულყოფის შიდა სისტემა ორიენტირებულია სტუდენტების უკუკავშირსა და მხარდაჭერაზე. ამისათვის არსებობს სტუდენტების მხარდაჭერის ქსელი და საადაპტაციო პროგრამები საერთაშორისო სტუდენტებისათვის.

პანდემიის პერიოდში გამოვლინდა ხარისხის უზრუნველყოფის პრობლემები ყველა უნივერსიტეტში. ცხადია, უნივერსიტეტების მუშაობის ბევრი არსებული მოდელი დარჩა ძველ ფორმატში, მაგრამ მოხდა მენეჯმენტის სისტემის, დიდაქტიკის, ტექნოლოგიებისა და შეფასებების სისტემის სერიოზული ცვლილება. იმის გამო, რომ მზა სცენარები არ არსებობდა, ყველა ზემოთხსენებულ და სხვა უნივერსიტეტებსაც მოუწიათ ჰიპოთეზების და გამუდმებული მმართველობითი რეფლექსიის რეჟიმში მუშაობა.

სხვადასხვა უნივერსიტეტების განათლების ხარისხის უზრუნველყოფისადმი ვარიაციულმა მიდგომებმა მსოფლიოს მრავალ უნივერსიტეტს საშუალება მისცა აერჩიათ ხარისხის უზრუნველყოფის შეცვლის საკუთარი პრიორიტეტული სტრატეგიული მიმართულება. სწორედ ეს მრავალფეროვნება ხდება განვითარების კოლექტიური აქტივი, სხვადასხვა უნივერსიტეტს შორის ხარისხის მართვის საუკეთესო და განსაკუთრებით ეფექტური პრაქტიკების ტრანსფერის საფუძველი.

პანდემიის პერიოდში საგანმანათლებლო პროცესის ტრანსფორმაციის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ელემენტი გახდა **საგანმანათლებლო პროგრამების განახლების** აუცილებლობა. ხდება ერთგვაროვანი, მონოლითური პროგრამებიდან მულტიტრეკულ პროგრამა-კონსტრუქტორებზე თანდათანობით გადასვლა, რაც აფართოებს სტუდენტის შესაძლებლობებს თვითონ შეარჩიოს საკუთარი საგანმანათლებლო ტრაექტორია და ააგოს საკუთარი პროგრამა. ამ პერიოდში უფრო და უფრო მეტი გავრცელება ჰპოვა ისეთმა ელემენტებმა, როგორცაა მაინორები, არჩევითი კურსები და მოდულები, დამატებითი კურსები. ციფრული ინფრასტრუქტურის სწრაფმა განვითარებამ ხელი შეუწყო როგორც ტრეკის მოხერხებულ კონსტრუირებას, ისე შემდგომი პროცესის სწორად ორგანიზებას ციფრული კონტენტისა და დისტანციური ფორმატების გათვალისწინებით. ეს კი აუმჯობესებს როგორც ვიწროპროფილურ ცოდნისა და მომზადების დონეს, ისე პროფესიონალური და უნივერსალური კომპეტენციების ფართო სპექტრის ფორმირებას.

სწავლების ხარისხის ამაღლების მეორე მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტია **ციფრული ინფრასტრუქტურა**. თუ პანდემიამდე ბევრ უნივერსიტეტში არსებობდა ფრაგმენტული ტექნიკური საშუალებები, რომლებსაც არავითარი ინტეგრაცია არ ჰქონდათ ერთმანეთთან, პანდემიის პერიოდში ძალიან ბევრმა უნივერსიტეტმა ააგო საკუთარი ციფრული ეკოსისტემა. ასეთ ეკოსისტემებს ახასიათებს მუშაობის ერთიანი სტანდარტებისა და პროტოკოლების გამოყენება, სხვადასხვა ციფრული პროდუქტების სინქრონიზებული ჩართვა ბიზნეს-პროდუქტების რეალიზაციაში, ინტეგრაცია მონაცემთა გაცვლის ნაწილში, სხვადასხვა პლატფორმული გადაწყვეტილების გამოყენება. მათში სისტემურადაა ერთმანეთთან დაკავშირებული შიდა და გარე მომხმარებლების სხვადასხვა ტიპის სერვისები, მათ შორის დამსაქმებლებისაც. ასეთი სერვისები ავსებენ ერთმანეთს, ახდენენ თვითგანვითარებას მრავალი მონაცემისა და მომხმარებლის სცენარის დაგროვების გზით.

ციფრული ინფრასტრუქტურის განვითარების კიდევ ერთი ასპექტია ტრადიციული დაბალინტერაქტიული სასწავლო მასალიდან გადასვლა ინტერაქტიულ და ადაპტირებად ციფრულ კონტენტზე. ხდება საგანმანათლებლო კონტენტის არა მხოლოდ ციფრულ ფორმატში გადაყვანა, არამედ ჩამოყალიბდა ონლაინ კურსების და სასწავლო რესურსების შემუშავების ახალი პრაქტიკა სასწავლო მასალის სწორი ფორმით მიწოდებასა და დიდაქტიკურ პრინციპებზე დაყრდნობით. ციფრული ინფრასტრუქტურისადმი წამყვანი როლის მინიჭებამ ასევე ხელი შეუწყო დანაწევრებული და გაფანტული ინფორმაციის დიდ მონაცემთა ბაზებში ორგანიზებაზე ეტაპობრივ გადასვლას, რაც იძლევა არა მარტო მონაცემთა დიდი რაოდენობის ოპერატიულად შეგროვებისა და

შენახვის საშუალებას, არამედ პრობლემებზე სწრაფი რეაგირების შესაძლებლობასაც. მაგალითად, ზოგიერთ უნივერსიტეტში დაინერგა პედაგოგისა და მთლიანად უნივერსიტეტის მონიტორინგის კომპლექსური სისტემები, რომლებიც ასრულებენ დიდი მონაცემების ინტელექტუალურ ანალიზს სტუდენტების მიერ ნაჩვენები შედეგების მიხედვით რისკისა და განვითარების ზონების გამოსავლენად. ზოგმა უნივერსიტეტმა შექმნა მონიტორინგის სისტემა, რომელიც ასრულებს LMS-ში სტუდენტისა და პედაგოგის მიერ შესრულებული აქტივობების ციფრულ ანალიზს მიმდინარე სასწავლო სიტუაციის შეფასებისა და ანალიზისათვის და მენეჯმენტის უკეთ წარმართვისათვის საჭირო გადაწყვეტილებების მისაღებად.

დიდი მონაცემების ანალიზი არის არა მარტო სტუდენტების შესახებ ინფორმაციის შეგროვებისა და ინტერპრეტაციის ინსტრუმენტი, არამედ მათი საშუალებით აიგება პროგნოზირების მოდელებიც. ასეთი მოდელები აფიქსირებენ პოტენციურ პრობლემურ ზონებს სწავლებაში და ეხმარებიან სტუდენტებს პრობლემების გაჩენის ადრეულ სტადიებზე.

ციფრული ინფრასტრუქტურის გაუმჯობესებასთან ერთად განვითარების მნიშვნელოვანი სფეროა კამპუსის მართვის პოლიტიკისა და გარემოს მართვის მოდელების განახლება. სწორედ ისინი გვამღევეს საშუალებას ავამაღლოთ უნივერსიტეტის სასწავლო გარემოს კომფორტულობა. პანდემიის პერიოდში გაჩნდა „ჰკვიან აუდიტორიებზე“ გადასვლის აუცილებლობა, რომლებიც გამოიყენებენ შერეულ ციფრულ ტექნოლოგიებს. სხვადასხვა საგანმანათლებლო მოდელებისადმი უნივერსიტეტის ფიზიკური გარემოს ადაპტირებადობა ერთ-ერთი აუცილებელი პირობაა ჰიბრიდული საგანმანათლებლო პროგრამების რეალიზაციისათვის. პანდემიამ განაპირობა შეფასების სისტემის ტრანსფორმაციის აუცილებლობაც. შესაძლებელი გახდა შეფასების პროცესში სტუდენტების ჩართვა. ამან განაპირობა სტუდენტების გადასვლა „მომხმარებლის“ პოზიციიდან მისი საგანმანათლებლო ტრეკის აგების აქტიურ მონაწილედ. ასევე ბევრმა უნივერსიტეტმა ამ პერიოდში დამსაქმებლებიც ჩართო სწავლების შედეგების შეფასებაში.

პანდემიის პერიოდში დააჩქარა უნივერსიტეტების საკადრო პოტენციალის განვითარება. ამ პერიოდში უმაღლესი სასწავლებლები იძულებულნი გახდნენ ექსპრეს-რეჟიმში შეეცნოთ ციფრული კომპეტენციის დეფიციტი. ჩამოყალიბდა პედაგოგების ციფრული განათლების საბაზისო დონე და ეს დონე კიდევ უფრო ამაღლდება მომდევნო წლებში.

მსოფლიოს ბევრ უნივერსიტეტში დისტანციურ სწავლებაზე გადასვლის პირველ რამდენიმე კვირაშივე ჩატარდა სტუდენტების და პედაგოგების გამოკითხვები. ლოკდაუნის დაწყებიდან რამდენიმე თვეში კიდევ უფრო მეტი კვლევა იქნა ჩატარებული. თავდაპირველი გამოკითხვები დისტანციური სწავლებისადმი მკვეთრად ნეგატიურ დამოკიდებულებას გვიჩვენებდა, ხოლო რამდენიმე თვეში ეს დამოკიდებულება შეიცვალა. სწავლების ამ ფორმის დადებით მხარედ როგორც სტუდენტების, ისე პროფესორ-მასწავლებლების მხრიდან დასახელდა მობილურობა და ეკონომია. სასწავლო პროცესში ჩართვა შესაძლებელია ნებისმიერი ლოკაციიდან, საჭირო არაა ფულისა და დროის ხარჯვა გადაადგილებაზე, ადვილდება სწავლის შეთავსება მუშაობასთან და სხვა ტიპის აქტივობებთან, რჩება მეტი თავისუფალი დრო, ბევრისთვის საკმაოდ მოსახერხებელია სასწავლო მასალის ციფრული სახით მიღება.

სტუდენტების თითქმის 20% მხარს უჭერს სრულად დისტანციურ სწავლას, 50% კი მომხრეა ჰიბრიდული სწავლების. პედაგოგების გამოკითხვამ ეს დამოკიდებულება განსხვავებულად წარმოადგინა. პედაგოგთა 26%-ის დისტანციური სწავლების მომხრეა, დაახლოებით 37% ჰიბრიდულ სწავლებას მიიჩნევს მეტად ეფექტიანად, ხოლო დანარჩენები თავს იკავებენ შეფასებისგან.

ნორმალიზაციის მიუხედავად, ტოტალური დისტანციური სწავლება ვერ უზრუნველყოფს ხარისხიან უმაღლეს განათლებას. სწავლების დისტანციური ფორმის ერთ-ერთ ნაკლად დასახელდა ცოცხალი კომუნიკაციის ნაკლებობა ლექტორსა და სტუდენტს შორის და ასევე სტუდენტებს შორის. ეს განსაკუთრებით რთული დასაძლევია პირველკურსელთათვის. სტუდენტების აზრით, სრულად დისტანციური სწავლება შესაძლებელია მოხდეს სათანადო ხარისხის გარან-

ტიით ისეთ სპეციალობებზე, როგორცაა ეკონომიკა და მენეჯმენტი, კომპიუტერული და სოციალური მეცნიერებები, იურისპრუდენცია. განსაკუთრებით მოუხერხებელია მაღალი ხარისხის შენარჩუნება ისეთი სპეციალობების დისტანციურად სწავლებისას, როგორცაა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები, მედიცინა, ხელოვნება და კულტურა, სოფლის მეურნეობა.

დისტანციური სწავლების ნაკლოვანება ისიცაა, რომ ვერ ხდება სტუდენტების მაღალი პოტენციალის სათანადოდ გამოყენება სამეცნიერო-კვლევით მუშაობაში მათი აქტიური ჩართვით. სტუდენტები ასევე არ მონაწილეობენ სხვადასხვა სახის პროექტებში, არ ერთიანდებიან ინტერესების მიხედვით სტუდენტურ წრეებსა და კლუბებში, არ მონაწილეობენ კულტურულსა და სპორტულ ღონისძიებებში.

გამოკითხვებმა აჩვენა ისიც, რომ სტუდენტების საკმაოდ დიდი ნაწილი დისტანციური სწავლების დროს ფართოდ იყენებს მანკიერ პრაქტიკებს, როგორცაა გამოცდაზე გადაწერა, მთლიანად ინტერნეტიდან ჩამოტვირთული მასალის გასაღება, როგორც საკუთარს, თანაკურსელებისაგან გადაწერილი მასალის წარდგენა. სტუდენტების უმრავლესობა აღიარებს, რომ დისტანციურ რეჟიმზე სწავლების გადაყვანამ გაზარდა სტუდენტთა ასეთი არაკეთილსინდისიერი საქციელის მოცულობა. ეს ფაქტები განსაკუთრებული აქტუალობით მოითხოვს პედაგოგთა მიერ სტუდენტთა შეფასების ახალი მეთოდების დანერგვის აუცილებლობას.

სტუდენტთა დაახლოებით 20% უჩივის ფსიქოლოგიურ პრობლემებს, კერძოდ, დეპრესიის სხვადასხვა ფორმებს. განსაკუთრებით მოწყვლადია პირველკურსელთა მდგომარეობა. ისინი, როგორც წესი, ელიან მეტ ჩართულობას როგორც პროფესორ-მასწავლებელთა მხრიდან, ისე თანაკურსელებისგან. მათმა დიდმა ნაწილმა ისე დაამთავრა პირველი კურსი, რომ საკუთარ ჯგუფებს არც კი იცნობდა. პირველკურსელებს ნაკლებად აქვთ თვითრეგულაციისა და თვითორგანიზაციის უნარები, რაც ეფექტიანი სწავლისთვის უაღრესად საჭიროა. და საერთოდ, სოციალიზაცია საკმაოდ კრიტიკული პარამეტრია მათი მომავალი საქმიანობისათვის და მათი, როგორც სპეციალისტების, ჩამოყალიბებისათვის.

სწავლების არასრულყოფილი ხარისხის ერთ-ერთი მიზეზია ასევე შესაბამისი ინფრასტრუქტურის დეფიციტი. სტუდენტებსა და მასწავლებლებს მოუწიათ ახალი კომპიუტერული ტექნიკის შეძენა ან ინტერნეტის გამლიერება. იმ შემთხვევაში, თუ ოჯახში რამდენიმე სტუდენტია ან ადამიანი, რომელიც ასევე დისტანციურად მუშაობს, რთულია ყველას უზრუნველყოფა შესაბამისი სამუშაო ადგილითა და ტექნიკური საშუალებებით. ამ და რიგი სხვა მიზეზების გამო სტუდენტების უმრავლესობა ლექციებს ესწრება მობილური ტელეფონის საშუალებით, რაც არ იძლევა სწავლის პროცესში ჩართულობის იმ ხარისხს, რასაც კომპიუტერი.

გარდა ამისა, უფროსი თაობის ბევრ პროფესორ-მასწავლებელს, რომელთაც პანდემიამდე ნაკლებად უწევდათ კომპიუტერთან ურთიერთობა, დასჭირდათ კომპიუტერული უნარების სწრაფად ათვისება, რაც ბევრისთვის არ აღმოჩნდა ადვილი. როგორც ბოლოდროინდელი გამოკითხვების შედეგები გვიჩვენებს, ბოლოს მაინც მოხდა სწავლების დისტანციური ტექნოლოგიებისადმი დამოკიდებულების ნორმალიზაცია და პედაგოგთა ეს კატეგორიაც ადაპტირდა სწავლების ამ ფორმის მიმართ და დაფიქსირდა სწავლების პროცესის ტრანსფორმაციის საკითხებით მათი დაინტერესება. მოუხედავად პანდემიისა და პოსტპანდემიური პერიოდის დროს გაჩენილი გამოწვევების გამკლავების მიმართულებით უმაღლესი განათლების თვალსაზრისით პროგრესისა და ადაპტაციისა, მაინც რჩება გარკვეული პრობლემები სწავლების ხარისხის თვალსაზრისით. ეს პრობლემები ძირითადად დაკავშირებულია მმართველობით მიდგომებთან და ფინანსური და საკადრო რესურსების ნაკლებობასთან.

3. დასკვნა

მსოფლიოს მრავალ უნივერსიტეტში ჩატარებული კვლევების შედეგად გამოიკვეთა მთელი რიგი გამოწვევები, რომელთა დაძლევა სწავლების ხარისხს მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს მომავალში:

- მიუხედავად ახალ რეჟიმში მუშაობის უკვე ორწელიწადნახევრიანი გამოცდილებისა, უმაღლესი სასწავლებლების სასწავლო პროცესის ხარისხის მართვის სამსახურების მუშაობა მნიშვნელოვნად არ შეცვლილა, კერძოდ, სასწავლო ანალიტიკა არ გაძლიერებულა. აგრეთვე არ გაზრდილა სხვადასხვა სახის რესურსების მართვის მოქნილობა. ორგანიზაციულ-მმართველობითი ამოცანების გადაწყვეტა შეამცირებს წარმატებული საგანმანათლებლო პრაქტიკების, საგანმანათლებლო რესურსების გაცვლისა და კოოპერაციის სხვადასხვა ფორმების გავრცელების ბარიერს.

- გამოკითხვების თანახმად, სულ უფრო და უფრო იზრდება მოთხოვნა ახალი ტექნოლოგიებისა და პედაგოგის მუშაობის ახალი ტიპის მოდელების დანერგვაზე. ამასთან, საჭიროა ტრადიციული პედაგოგიური მეთოდების შენარჩუნებაც, მაგრამ უნდა მოხდეს მათი ტრანსფორმაცია ისეთი თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისად, როგორცაა საგანმანათლებლო შედეგების გაფართოებული შეფასება, სტუდენტებთან უკუკავშირის გაუმჯობესება და სხვ.

- კვლევებმა აჩვენა, რომ პედაგოგის მუშაობის ტექნოლოგიური შესაძლებლობების განვითარება არ არის ინსტიტუციურად მხარდაჭერილი; კერძოდ, დისტანციურმა და ჰიბრიდულმა სწავლებამ წარმოშვა ტრანსფორმირებული საგანმანათლებლო ტექნოლოგიების, ახალი ტიპის ლაბორატორიების და ინსტრუმენტების შექმნის აუცილებლობა პანდემიის განმავლობაში მიღებული გამოცდილების გათვალისწინებით.

- ციფრული გარემოს კომპონენტების რაოდენობის ზრდა აძლიერებს სწავლების ხარისხის მართვის სირთულეს. ჩატარებული კვლევების შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ უმაღლესი სასწავლებლების გადასვლას ჰიბრიდულ სწავლებაზე გადაწყვეტილებების ფართო ვარიაციულობა ესაჭიროება. ამასთან, საჭიროა გადაწყვეტილებების ამ სიმრავლიდან ოპტიმალური ნაკრების ამორჩევა კონკრეტულ პირობებზე დამოკიდებულებით.

- უფრო მნიშვნელოვანი ხდება სასურველი საგანმანათლებლო შედეგების ზუსტი აღწერისა და მათ შესრულებაზე მონიტორინგის აუცილებლობა. მსოფლიოს საუკეთესო უნივერსიტეტების გამოცდილების თანახმად, ინსტრუმენტებისა და სერვისების დიდ მრავალფეროვნებასთან ერთად სწავლების ხარისხის ზრდის საფუძველს წარმოადგენს სწავლებაში ჩართული ყველა პირის მიერ დაგეგმილი და მიღებული საგანმანათლებლო შედეგების საერთო ცხადი გაგება.

- განსაკუთრებულ ყურადღებას მოითხოვს რისკის ჯგუფებთან მუშაობა. ამის გადაწყვეტის ერთ-ერთი გზაა საგანმანათლებლო მოღვაწეობის პერსონიფიკაცია და ადაპტური სწავლების მიდგომების გამოყენება. საჭიროა მოქნილი, ახალი გარემოებების შესაბამისი მატერიალური და ტექნიკური მხარდაჭერის სისტემა სტუდენტებისა და პედაგოგებისათვის. გამოცდილებამ აჩვენა, რომ უფრო კომფორტული ატმოსფეროს შექმნის ვექტორი მნიშვნელოვნად ზრდის საგანმანათლებლო შედეგების დონეს.

- აუცილებლად გასათვალისწინებელია სტუდენტების დასაქმებულობის მნიშვნელობა როგორც საგანმანათლებლო შედეგების, ისე სწავლის გაგრძელების შესაძლებლობის უზრუნველსაყოფად. სოციალური აქტივობებისა და პროფესიონალური განათლების სასწავლო პროცესთან ინტეგრაცია პოტენციურად ზრდის საგანმანათლებლო შედეგების სპექტრსა და დონეს.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. <https://iau-aiu.net/Covid-19-Higher-Education-challenges-and-responses>
2. <https://www.keystoneacademic.com/>
3. https://www.iau-aiu.net/IMG/pdf/iau_covid19_and_he_survey_report_final_may_2020.pdf
(სტატია მიღებულია 29.04.2023)

ANALYSIS OF NEW TEACHING METHODS UNDER COVID-19

Zhvania Taliko, Kobiashvili Ana

Georgian Technical University

talizhvania@gtu.ge; a.kobiashvili@gtu.ge

Summary

The COVID-19 pandemic and related challenges led to the need to adapt the educational infrastructure and teaching methods to the new reality. In the conditions of the threat of coronavirus, it became necessary not only to actively use modern technologies, but also to change the approaches to the teaching process and learning approaches and techniques. The article summarizes the results of the research on educational problems conducted in many countries during the pandemic, analyzes the practices of several leading universities in the world, identifies the main factors for improving the quality of education in the context of distance and hybrid learning models, the problems caused by the coronavirus pandemic in the higher education sector are classified, the advantages and disadvantages of distance learning are discussed.

(Received 29.04.2023)

АНАЛИЗ НОВЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ COVID-19

Жвания Т., Кобиашвили А.

Грузинский Технический Университет

talizhvania@gtu.ge; a.kobiashvili@gtu.ge

Резюме

Пандемия COVID-19 и связанные с ней вызовы привели к необходимости адаптации образовательной инфраструктуры и методов обучения к новым реалиям. В условиях угрозы коронавируса возникла необходимость не только активно использовать современные технологии, но и изменить подходы к учебному процессу, подходы и методики обучения. В статье обобщаются результаты исследования проблем образования, проведенного во многих странах в период пандемии, анализируется практика нескольких ведущих университетов мира, выявляются основные факторы повышения качества образования в условиях дистанционной и гибридной моделей обучения, классифицируются проблемы, вызванные пандемией коронавируса в сфере высшего образования, обсуждаются преимущества и недостатки дистанционного обучения.

(Поступила 29.04.2023)

ციფრული ენის ლოგიკო-ლინგვისტიკური თავისებურებანი

ნატალი სიდამონიძე, ლევან ჯიქიძე, მზია კიკნაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

natasidamonidze@gmail.com, levan@gtu.ge, m.kiknadze@gtu.ge

რეზიუმე

დასმულია საკითხი, ახდენს თუ არა „ციფრული ენა“ ადამიანის შემეცნებით უნარზე გავლენას, ისევე, როგორც ამას ბუნებრივი ენა ახორციელებს. შეიძლება თუ არა ციფრული ენა განვიხილოთ, როგორც ლოგიკურ-ლინგვისტური სისტემა და რა საერთო და განსხვავებულ თვისებებს ატარებს ბუნებრივ და ციფრულ ენათა წესრიგი.

საკვანძო სიტყვები: სისტემა. ციფრული ენა. ლინგვისტიკა. ბიტი. ხელოვნური ინტელექტი.

1. შესავალი

ცოდნის მიღებისა და რეალიზაციის ინსტრუმენტს ადამიანისათვის დღემდე წარმოადგენდა ენა. ენა ადამიანის გამოგონებათა შორის ყველაზე საოცარი რამაა. ადამიანმა საგნებს სახელები დაარქვა და მისით აზროვნება ისწავლა, ჩარლზ პირსი ამბობს: „ნიშანი ახდენს საგნის რეპრეზენტაციას და ენაცვლება მას ცნობიერებაში“.

ინფორმაციული ტექნოლოგიების გავრცელებამ მნიშვნელოვანი გავლენა მოახდინა ადამიანის ცხოვრების ხარისხზე. აღნიშნულმა ტექნოლოგიებმა წარმოშვა „ციფრული ენა“, რომლის გარეშეც შეუძლებელია ინფორმაციული სამყაროს არსებობა. ეს არის ენა, რომელიც ხელოვნური ინტელექტისთვის „ჩვენი“ ენის შესწავლის საფუძველი უნდა გახდეს და ამ ამოცანის გადაჭრის ერთ-ერთი ხერხი.

მრავალი წამყვანი ფუტუროლოგიური სამეცნიერო ცენტრი განიხილავს ბოლო რამდენიმე ათწლეულს, როგორც ნეოლითის დროს განხორციელებული აგრარული რევოლუციის თანაწონად პერიოდს. ციფრულმა რევოლუციამ (Digital Revolution) ინტერნეტის და პერსონალური კომპიუტერების გავრცელებით დასავლური ცივილიზაციის ახალი ეტაპი განახორციელა, რასაც პოსტინდუსტრიალურს უწოდებენ. ხარისხობრივად განსხვავებული ინფორმაციულ-კომუნიკაციური ტექნოლოგიების მასობრივმა გავრცელებამ ყველასათვის თვალსაჩინოდ შეცვალა სიცოცხლის ხარისხი და დღემდე არნახული კომფორტი შესთავაზა ადამიანს. ამავდროულად, ციფრული რევოლუცია მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ადამიანის მიერ დღემდე შექმნილ სამყაროს შემეცნების და მიღებული ცოდნის რეალიზაციის მექანიზმზე.

დღემდე ამ სასიცოცხლო ფუნქციის უალტერნატივო ინსტრუმენტია ენა და ანალიტიკური ფილოსოფიის კვლევის შედეგები ამ კუთხით კარგად არის ცნობილი. საკმარისია გავიხსენოთ ლ. ვიტგენშტეინის ლოგიკო-ფილოსოფიური ტრაქტატი და მისი მნიშვნელობა თანამედროვე ფილოსოფიურ აზროვნებაში [1, 2, 3].

2. ძირითადი ნაწილი

ციფრულმა რევოლუციამ წარმოშვა სრულიად ახალი „ციფრული ენა“ რომლის გარეშეც შეუძლებელია ამ სამყაროს არსებობა. ვიცით რა ენის განსაკუთრებული ფუნქცია შემეცნების პროცესში, დღეს აუცილებელია დავადგინოთ ციფრული ენის ის თვისებები, რომლებიც გავლენას ახდენს ადამიანის შემეცნებით უნარზე, როგორც ციფრულ სამყაროში ოპერირების

პერიოდში, ასევე ამ სამყაროს მიღმა. ამ მიმართულებით არსებული კვლევების მიზეზი უშედეგო აღმოჩნდა. უფრო მეტიც, ამ კუთხით ციფრული ენის შესწავლის აუცილებლობა, როგორც კოგნიტიური ამოცანა, არსად შეგვხვედრია.

ზედაპურული ანალიზიც კი გვიჩვენებს, რომ ენის შექმნის და რეალიზაციის მექანიზმები კარდინალურად განსხვავდება ციფრული ენის ანალოგიურ თვისებებზე. ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებისათვის „ციფრული ენა“ ნომინალურად წარმოადგენს იგივე მექანიზმს, როგორც ენა ადამიანის შემეცნებისათვის.

ამავდროულად, ციფრული ენა „ემსახურება“ ბუნებრივ ენასაც და მის გარეშე ჩვენი ენის არსებობა ციფრულ სამყაროში შეუძლებელია. ლოგიკო-ლინგვისტური თეორია გვიჩვენებს თუ როგორ განაპირობებს ენა ჩვენი ცოდნის საზღვრებს და შემეცნების სარწმუნოებას. შესაბამისად, აუცილებელია დასაბუთებული პასუხი კითხვაზე ახდენს თუ არა ანალოგიურ გავლენას ციფრული ენა ადამიანის შემეცნებით უნარზე. კერძოდ კი ციფრული ენის საფუძველი ორობითი კოდია, რომელიც მონაცემთა კოდის სახით წარმოდგენის საშუალებაა, თითოეული ბიტი იღებს ერთ-ერთ ორ შესაძლო მნიშვნელობას, და აღინიშნება 0 და 1. დღეს ფილოლოგი ვერ ხედავს ციფრულ ენაში ლინგვისტური კვლევის საგანს, რადგან ბინარული კოდი (0; 1) - ტექნიკური ინსტრუმენტი, ძნელია განიხილო როგორც ანბანი კლასიკური გაგებით.

აქვე აღსანიშნავია, რომ დღეისობით უკვე ონლაინ პლატფორმაზე შესაძლებელია ბინარულ კოდში და პირიქით სიტყვების კონვერტაცია, მაგალითად სიტყვები „Binary code“ ასე იშიფრება:

```
01100010 00000000 01101001 00000000 01101110 00000000 01100001 00000000 01110010
00000000 01111001 00000000 00100000 00000000 01100011 00000000 01101111 00000000 01100100
00000000 01100101 00000000
```

Character encoding from ASCII table: UTP-16

ამის მიუხედავად, ჩვენ შეგვიძლია დავიწყოთ ორნიშნა გერმენევტული კოდის განხილვით და დავადგინოთ რომელი ინფორმაციული ელემენტი შეიძლება მიუსადაგოდ სიტყვის ფუნქციას. ანუ ინფორმაციის მოცულობის გარდა შეფასდეს მისი ონტოლოგიური უნიკალურობა. უკვე ამ ეტაპზე შეგვიძლია დავასკვნად, რომ ენისგან განსხვავებით, სადაც მატერიალური (მაგალითად მაგიდა, ვაშლი და ა.შ.) წარმოადგენს ენისათვის ძირითად მოცემულობას, ციფრული ენის ობიექტი არამატერიალურია პრინციპში. შესაბამისად, დღეს ჩვენ გვაქვს ორი მჭიდროდ დაკავშირებული ლოგიკო-ლინგვისტური სისტემა, სადაც განსხვავებას ონტოლოგიური ბუნება წარმოადგენს. ამავდროულად, ენაში პროპოზიციული მექანიზმით შექმნილი ცნებათა სისტემა ასევე არამატერიალურია.

ინფორმაციული ენის სტრუქტურაში ბიტი და პიქსელი მის საფუძველს წარმოადგენენ და „ბუნებრივი“ ენის სტრუქტურასთან შედარებით ბევრად მარტივია. ამის მიუხედავად ციფრული ენა სრულიად ასახავს ჩვენი ენის შესაძლებლობებს, ხოლო ვიზუალიზაციის უნარით აღემატება მას. როგორც ენის მეორადი პროდუქტი, ციფრული ენაც განაპირობებს ჩვენი ცოდნის როგორც მოცულობას, ასევე შინაარსს.

ლ. ვიტგენშტეინს მიაჩნია, რომ ჩვენი ენის სიტყვა აღწერს მის გამოყენების წესს და ამ თვალსაზრისით ციფრული ენის ელემენტები ასრულებს იგივე ფუნქციას [1, 2]. ჩვენი ტვინი მოქმედებს პროპოზიციული ბადის მეშვეობით და ეს პრინციპი ციფრულ ენაში ბიტია (კი/არა, ან/და და ა.შ.). იგივე ავტორი ენის რეალიზაციაში ხედავს გარკვეული ტიპის „ენობრივ თამაშს“

და განიხილავს მათ მაგალითებს: 1) სიახლის მოწოდება; 2) ობიექტის გარეგნობა და მოცულობა; 3) ბრძანების გაცემა; 4) ისტორიების შეთხზვა; 5) გამოცანების ახსნა და ა.შ.

თამაშის მიხედვით ჩვენ ვიყენებთ ენის სხვადასხვა ინსტრუმენტს და რეალიზაციის ხერხს. ვინაიდან ნებისმიერი მოვლენა ან ფაქტი „პოზიციათა ერთობლიობა“, ციფრული ენის ფუნქცია სრულიად შეესაბამება ჩვენი ენის ამოცანებს და იმეორებს (ნაწილობრივ მაინც) მის რეალიზაციის მექანიზმებს. წარმოსახვითი სამყარო ნებისმიერ შემთხვევაში იმეორებს რეალურს ერთ კომპონენტში – ფორმით, ანუ არსებული ობიექტებით. მათ მიერ შექმნილი ჩარჩო ნებისმიერ ენას უწყებს სამოქმედო სივრცეს, ხოლო მათი ბუნებით განპირობებული კავშირები ოპერირების მექანიზმს. ციფრული სამყარო ასევე ექვემდებარება ამ პრინციპს და მისი რეალიზაციის ინსტრუმენტი (ენა) ამ სეგმენტში იმეორებს ჩვენი ყოველდღიური ენის თვისებებს.

ხშირ შემთხვევაში ციფრული ენა ტოვებს შინაარსს ყურადღების გარეშე და შემოიფარგლება ობიექტის იმ თვისებებით, რაც მის განსხვავებულ ფორმას უზრუნველყოფს. ამიტომ, ციფრული ენა ამ კუთხით მექანიკურად იყენებს ენის მიერ უკვე შექმნილ სტრუქტურას, კავშირებს და ფორმებს. ამის მიუხედავად მათი ურთიერთგავლენის შესაძლებლობა მოითხოვს სპეციალურ შეფასებას [4, 5].

მსოფლიოში 6500-ზე მეტი ენაა, რომელზეც საუბრობენ და აზროვნებენ, ამავდროულად აღსანიშნავია პროგრამირების ენის არა მხოლოდ არსებობა, არამედ მისი მრავალფეროვნება, ზუსტად არც არის დადგენილი რამდენი პროგრამირების ენა არსებობს, ვიკიპედიის მონაცემით 9000-ზე მეტი, მათ შორის ზოგი მსოფლიო მისმა შემქმნელმა იცის და იყენებს. პროგრამირების ენა წარმოადგენს ხელოვნური ინტელექტის ბუნებრივი ენის შესწავლის საფუძველს, იგი უნდა გახდეს ამ ამოცანის გადაჭრის ერთ-ერთი ხერხი.

ბოლო წლებია პოპულარული ხდება ისეთი პროფესიის დაუფლება, როგორცაა „ციფრული ლინგვისტი“. აღსანიშნავია, რომ ყველა ის მეცნიერება, რომელიც ციფრულ ლინგვისტიკას ეხება მხოლოდ ერთი მიმართულებით მუშაობს, გადაიყვანოს „ბუნებრივი“ ენა ბინარული კოდის მეშვეობით ციფრულ ენაში. მიუხედავად იმისა, რომ ციფრული ლინგვისტიკის სფეროში აღინიშნება განვითარების ძვრები, თამამად შეიძლება ითქვას, რომ ეს მხოლოდ პირველი ნაბიჯებია მასშტაბური დარგის განვითარებაში.

ჩამოთვლილი მნიშვნელოვანი ასპექტების გარდა აუცილებელია შეფასდეს ციფრული ენის შესაძლებლობები ხელოვნური ინტელექტის კუთხით. ის გარემოება, რომ ენა და აზროვნება სიღრმისეულად შერწყმული ფენომენებია, უნდა გვაიძულებდეს ხელოვნური ინტელექტის ამოცანაში მოვძებნოთ ციფრული ენის სპეციფიური ფუნქცია. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ციფრული ენის შემდგომი განვითარება ფუნქციათა და მათი სარეალიზაციო მექანიზმების მრავალფეროვნების მიმართულებით, შექმნის საფუძველს ხელოვნური ინტელექტის დაბადებისათვის. ციფრული და ბიო-გენეტიკური ტექნოლოგიების სინერგია უკვე დღეს მიუთითებს უზარმაზარ და ძნელად პროგნოზირებად შედეგებზე, ამიტომ ინფორმატიკა, როგორც სამეცნიერო დარგი, ვალდებულია ეძებოს და შეისწავლოს ციფრული სამყაროს ყველა რელიეფური ასპექტი.

3. დასკვნა

დღეს მცირეწლოვანი ბავშვიც კი დასწავლის გარეშე ბუნებრივად ეუფლება ციფრულ სამყაროს, მხოლოდ ეს მაგალითია საკმარისი ვთქვათ, რომ ბინარული კოდით შექმნილი ენა თავის სივრცეში უდიდეს გავლენას ახდებს კაცობრიობის განვითარებაზე და ცხოვრების

ხარისხზე მაშინ, როდესაც მის არსებობაზე არც კი ვფიქრობთ, ისევე, როგორც „ჩვენ“ ენაზე განხორციელებული ფიქრის ან ქმედების დროს.

კარლოს დიდს, საღვთო რომის იმპერატორს ეკუთნის ფრაზა "ფლობდე მეორე ენას, ნიშნავს ფლობდე მეორე სულს" - ეს საკმაოდ ხმამაღალი განაცხადია იმის შესახებ, რომ ენა ქმნის ჩვენს რეალობას. დღეს კაცობრიობა დგას ახალი რეალობის წინაშე, „ციფრული ენა“ არა მხოლოდ „მეორე“ ენაა, არამედ ჩვენი ცხოვრების რეალიზების ერთ-ერთი უდიდესი სეგმენტი.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Wittgenstein L. (1921). Logisch-Philosophische Abhandlung. First published in W. Ostwald's Annalen der Naturphilosophie, 75 p.
2. Wittgenstein L. (1953). Philosophical Investigations. G. E. M. Anscombe. 464 p.
3. Russell B. (2016). The Problems of Philosophy. Create Space Independent Publishing Platform; 1st edition June 22, 115 p.
4. Seredkina N.N. (2022). Digitalization and linguistics: current status of research. Siberian Federal University. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9248-8810>
5. Ronald M. Kaplan, Hans Uszkoreit. Computational Linguistics. Mit Press Direct. (2022) 48 (1): 1–3.

(სტატია მიღებულია 29.04.2023)

LOGICAL-LINGUISTIC FEATURES OF DIGITAL LANGUAGE

Natali Sidamonidze, Levan Jikidze, Mzia Kiknadze
Georgian Technical University
natasidamonidze@gmail.com, levan@gtu.ge, m.kiknadze@gtu.ge

Summary

The paper raises the question of whether the "digital language" affects the cognitive abilities of a person in the same way as "our" language; whether it is possible to consider the digital language as a logical-linguistic system and what are the similar and different features of "our" and digital language.

(Received 29.04.2023)

ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОГО ЯЗЫКА

Сидамонидзе Н., Джикидзе Л., Кикнадзе М.
Грузинский Технический Университет
natasidamonidze@gmail.com, levan@gtu.ge, m.kiknadze@gtu.ge

Резюме

В статье ставится вопрос о том, влияет ли «цифровой язык» на познавательные способности человека так же, как и «наш» язык; можно ли рассматривать цифровой язык как логико-лингвистическую систему и какие сходные и различные черты у «нашего» и цифрового языка.

(Поступила 29.04.2023)

თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიები ტურიზმის ინდუსტრიაში

გულბაათ ნარეშელაშვილი, გოჩა ჩუგუაშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
g.nareshelashvili@gtu.ge; g.chuguashvili.gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია ის საკითხები, თუ როგორ შეიცვალა და იცვლება ხელოვნური ინტელექტის (AI) ძირითადი პროცესები ტურიზმის ინდუსტრიაში. ჩვენ ვიწყებთ ინფორმაციული ტექნოლოგიების (IT) საფუძვლებით AI-ში, რომელიც რელევანტურია მოგზაურობისა და ტურიზმისათვის და შემდეგ ეხება AI სისტემებს, ამ სფეროში ხელმისაწვდომ აპლიკაციებს. ჩვენ დეტალურად განვიხილავთ „სტუმართმომყვარობის“ კატეგორიას, როგორც სექტორი, რომელშიც ამ სისტემების უმეტესობა დანერგილია. ბოლოს, ვამთავრებთ გამოწვევებით, რომელთა წინაშე დგას ხელოვნური ინტელექტი ტურიზმის ინდუსტრიის სექტორში.

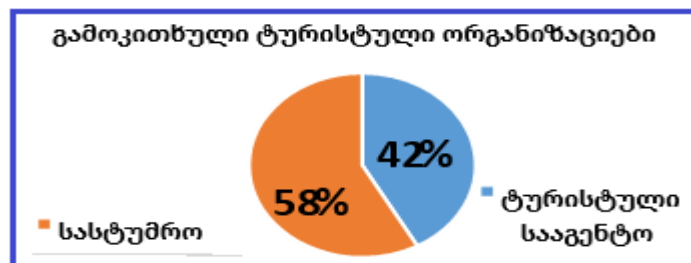
საკვანძო სიტყვები: ტურიზმი. ინდუსტრია. ინფორმაციული ტექნოლოგიები. პროგრამული აპლიკაცია.

1. შესავალი

ინფორმაციული ტექნოლოგიების როლის და გავლენის შეფასებისათვის კვლევის ობიექტად განისაზღვრა მცირე და საშუალო ზომის სასტუმრო და ტურისტული სააგენტო. ჯამში კვლევაში მონაწილეობა მიიღო 18 სასტუმრომ და 13 ტურისტულმა სააგენტომ. კვლევა განხორციელდა ნახევრად სტრუქტურირებული კითხვარის გამოყენებით. შეკითხვების ფორმულირება მოხდა გარკვეული კრიტერიუმების მიხედვით:

- 1) ხელოვნური ინტელექტის როლის შეფასება ბიზნეს კონტექსტში;
- 2) ხელოვნური ინტელექტის გავლენა ბიზნეს ოპერაციებზე და ყოველდღიურ საქმიანობაზე;
- 3) ხელოვნური ინტელექტის გავლენა სერვისებზე და მომხმარებელთა კმაყოფილებაზე.

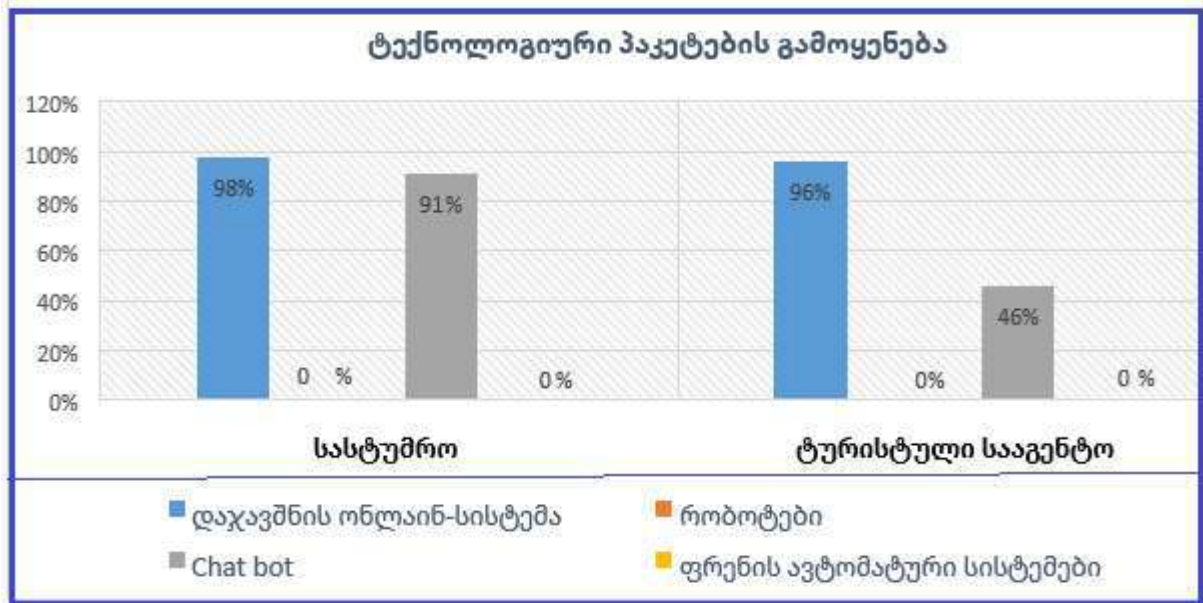
აღნიშნული ბლოკების გათვალისწინებით დაისვა კონკრეტული შეკითხვები, რომელმაც საშუალება მოგვცა მოგვეჩინა არსებული სიტუაციის ანალიზი და ინტერპრეტაცია (ნახ.1).



ნახ.1

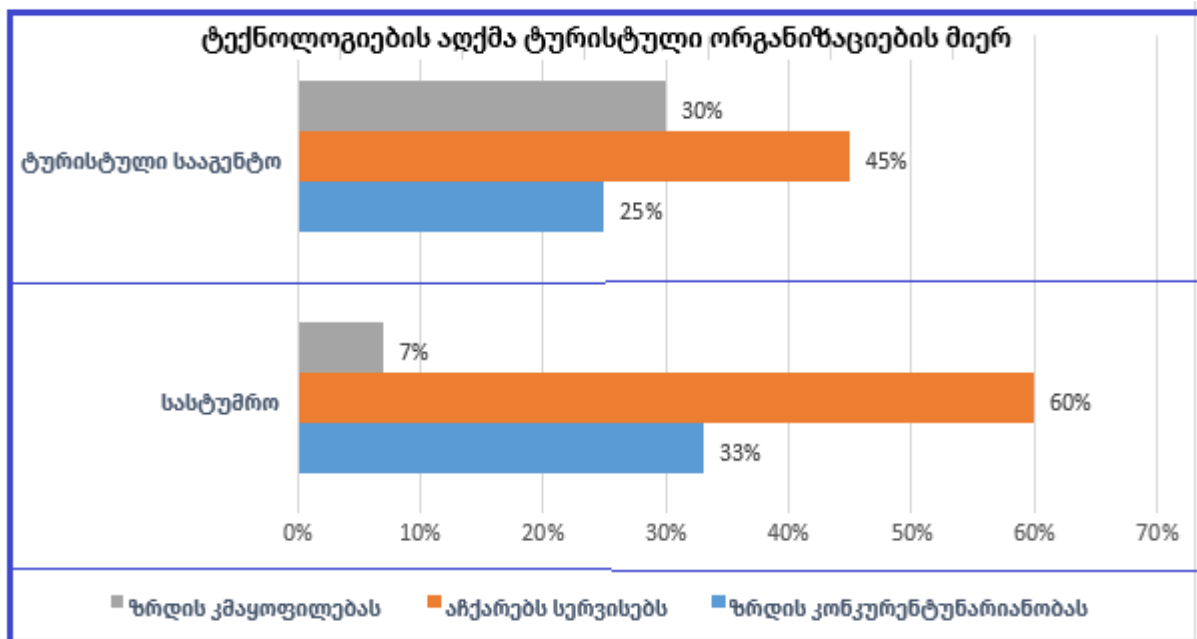
გამოკითხული კომპანიების 58% სასტუმრო ტიპის დაწესებულებაა, ხოლო 42% ტურისტული სააგენტო. აღნიშნული ბიზნეს სუბიექტების შერჩევა განაპირობა საქართველოში ამ ორგანიზაციების საკმაოდ სწრაფად ზრდის ტემპმა. ასევე, ორივე ბიზნეს მიმართულება ტურიზმისა და მასპინძლობის ინდუსტრიაში ინტენსიური ტექნოლოგიაა.

შესაბამისად, მენეჯერების და კომპანიის მხრიდან აღქმა, თუ როგორია ტექნოლოგიის გავლენა მათ საქმიანობაზე სტრატეგიულად მნიშვნელოვანია (ნახ.2).



ნახ. 2

როგორც კვლევის შედეგები აჩვენებს ტექნოლოგიური პაკეტების გამოყენების კუთხით სასტუმროს შემთხვევაში დაჯავშნის ონლაინ სისტემა (98%) და ჩათ-ბოტი სისტემებია (91%). განსხვავებული სურათია რობოტების გამოყენების შემთხვევაში სასტუმრო (0%) და ტურისტული სააგენტო (0%). ეს ბიზნესის სპეციფიკიდან გამომდინარე გარკვეულწილად ლოგიკურია, თუმცა აჩვენებს, რომ ისინი ნაკლებად არიან კონცენტრირებული ასეთი სისტემების გამოყენებაზე.



ნახ.3

ტექნოლოგიების აღქმის თვალსაზრისით ორივე ტიპის ტურისტული ორგანიზაციებისთვის მოსაზრება იდენტურია, იგი აჩქარებს სერვისების მიწოდების პროცესს. რაც ბუნებრივია, პოზიტიურად ასახება მომხმარებლების კმაყოფილების დონეზე.

ზემოაღნიშნულ საკითხებთან ერთად გავანალიზეთ ტურისტული დანიშნულების ადგილების ვებ-გვერდები და მოვახდინეთ მათი შინაარსობრივი ანალიზი. კვლევის ობიექტად შევარჩიეთ ტექნოლოგია, რომელიც საუკეთესოდ მოერგება დღევანდელ ბაზარს, ჩვენს მიერ შერჩეული ტექნოლოგიაა ChatBot.

ჩვენ მიერ შექმნილი ჩატბოტი დაფუძნებულია შემდეგ ტექნოლოგიებზე:

- *NLP ჩატბოტი* ამოიცნობს კონტექსტურ სიტყვებს მომხმარებლის მოთხოვნიდან და პასუხობს მომხმარებელს ფონის ინფორმაციის გათვალისწინებით; და თუ NLP ჩატბოტი დამოუკიდებლად ვერ პასუხობს კითხვას, მას შეუძლია შეაგროვოს მომხმარებლის ინფორმაცია და გაუზიაროს ეს მონაცემები აგენტს;

- *მანქანური დასწავლის ჩატბოტები*, რომლებიც ასევე ცნობილია როგორც ხელოვნური ინტელექტის (AI) ჩატბოტები, ყველაზე დახვეწილია. ისინი მომხმარებლებს საშუალებას აძლევს დაუსვან გაფართოებული, ღია კითხვები და შესთავაზონ ყველაზე ბუნებრივი პასუხები. ეს ჩატბოტები აგრძელებს დასწავლას საუბრებიდან და აუმჯობესებს პასუხებს დროთა განმავლობაში.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Aarts E., Wichert R (2009). Ambient intelligence. In: Bullinger HJ (ed) Technology guide. Springer, Berlin/Heidelberg, pp 244–249
2. Bostrom N., Yudkowsky E. (2014). The ethics of artificial intelligence. In: The Cambridge handbook of artificial intelligence. Cambridge University Press, Cambridge, pp 316–334
3. Ivanov S.H., Webster C. (2017). Adoption of robots, artificial intelligence and service automation by travel, tourism and hospitality companies—a cost-benefit analysis. In: Artificial intelligence and service automation by travel, tourism and hospitality companies—a cost-benefit analysis. International scientific conference “contemporary tourism – traditions and innovations”, Oct 2017, Sofia University, pp 19–21
4. Ivanov S.H., Webster C., Berezina K. (2017). Adoption of robots and service automation by tourism and hospitality companies. Revista Turismo Desenvolvimento 27(28):1501–1517
5. Kurzweil R (2005) The singularity is near: when humans transcend biology. Penguin, New York
6. Lai W.C., Hung W.H. (2018). A framework of cloud and AI based intelligent hotel. In: Proceedings of the 18th internati. conf. on *electronic business*, ICEB, Guilin, 2–6 Dec, pp 36–43

(სტატია მიღებულია 27.04.2023)

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE TOURISM INDUSTRY

Gulbaat Nareshelashvili, Gocha Chuguashvili
Georgian Technical University
g.nareshelashvili@gtu.ge; g.chuguashvili.gtu.ge

Summary

Artificial intelligence (AI) is currently present in almost every area of travel and tourism, appearing in different types of applications such as personalization and recommender systems, robots, conversational systems, smart travel agents, prediction and forecasting systems, language translation applications, and voice recognition and natural language processing systems. Recent improvements in big data, algorithms, and computing power have enabled significant enhancements in AI. In this chapter, we review how AI has changed and is changing the main processes in the tourism industry. We start with the IT foundations of AI that are relevant for travel and tourism and then address the AI systems and applications available in the sector. We then examine hospitality in detail, as a sector in which most of these systems are being implemented. We conclude with the challenges that AI faces in the tourism sector, a research agenda, and draw a scenario of the future of AI in tourism.

(Received 27.04.2023)

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНДУСТРИИ ТУРИЗМА

Нарешелашвили Г., Чугуашвили Г.
Грузинский Технический Университет.

Резюме

Искусственный интеллект (AI) на сегодняшний день присутствует во всех сферах путешествий и туризма, проявляется в различных типах приложений, таких как персонализация и рекомендательные системы, роботы, разговорные системы, умные туристические агенты, системы прогнозирования, приложения-переводчики, системы обработки естественного языка. Последние успехи в обработке больших данных, в разработке алгоритмов и в росте вычислительных мощностей позволили значительно повысить эффективность применения систем искусственного интеллекта. В данной статье рассматриваются: влияние AI на процессы в индустрии туризма; информационные технологии (IT), которые релевантны для путешествий и туризма; приложения, доступные в данном секторе. Кроме того, рассмотрены те вызовы, которые стоят перед AI в туристическом секторе.

(Поступила 27.04.2023)

ვერტიკალური ჰიდროპონიკური დანადგარის ტემპერატურის და ტენიანობის რეგულირება (DHT11) სენსორის, არდუინოს, ვენტილატორის და წყლის გამაცხელებელი ტენის საშუალებით

ვახტანგ ჩანთაძე, ირაკლი ჩანთაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

gankhypower@gmail.com , chantadzei@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია ვერტიკალურ ჰიდროპონიკური დანადგარში ტემპერატურისა და ტენიანობის ოპტიმალური დონის შენარჩუნება, სენსორით (DHT11), არდუინოთი, ვენტილატორით და წყლის გამაცხელებელი ტენის საშუალებით.

საკვანძო სიტყვები: ვერტიკალური ჰიდროპონიკური დანადგარი. ტემპერატურის რეგულირება. ტენიანობის რეგულირება. Arduino. სენსორი. ვენტილატორი. წყლის გამაცხელებელი ტენი. ავტომატიზაცია.

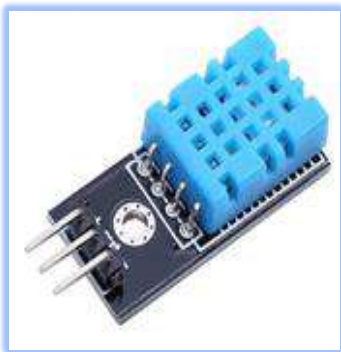
1. შესავალი

ვერტიკალური ჰიდროპონიკა არის მცენარეების გაზრდის ინოვაციური მეთოდი ნიადაგის გარეშე კონტროლირებად გარემოში, წყალზე დაფუძნებული საკვები ხსნარების გამოყენებით. წარმატებული ჰიდროპონიკის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ასპექტია ტემპერატურისა და ტენიანობის ოპტიმალური დონის შენარჩუნება. ამ სტატიაში ჩვენ განვიხილავთ, თუ როგორ მივაღწიოთ ტემპერატურისა და ტენიანობის ზუსტ კონტროლს DHT11 სენსორის, Arduino მიკროკონტროლერის, ვენტილატორის და წყლის გამაცხელებელი ტენის საშუალებით.

2. ძირითადი ნაწილი

ტემპერატურა და ტენიანობა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მცენარეების ზრდა-განვითარებაში. ვერტიკალური ჰიდროპონიკის სისტემაში იდეალური პირობების შენარჩუნება უზრუნველყოფს ოპტიმალურ ფოტოსინთეზს, საკვები ნივთიერებების მიღებას და მცენარის მთლიან განვითარებას. DHT11 სენსორი, დაბალი ფასის ციფრული ტემპერატურისა და ტენიანობის სენსორი, იქნება ჩვენი ძირითადი მოწყობილობა ამ პარამეტრების მონიტორინგისთვის.

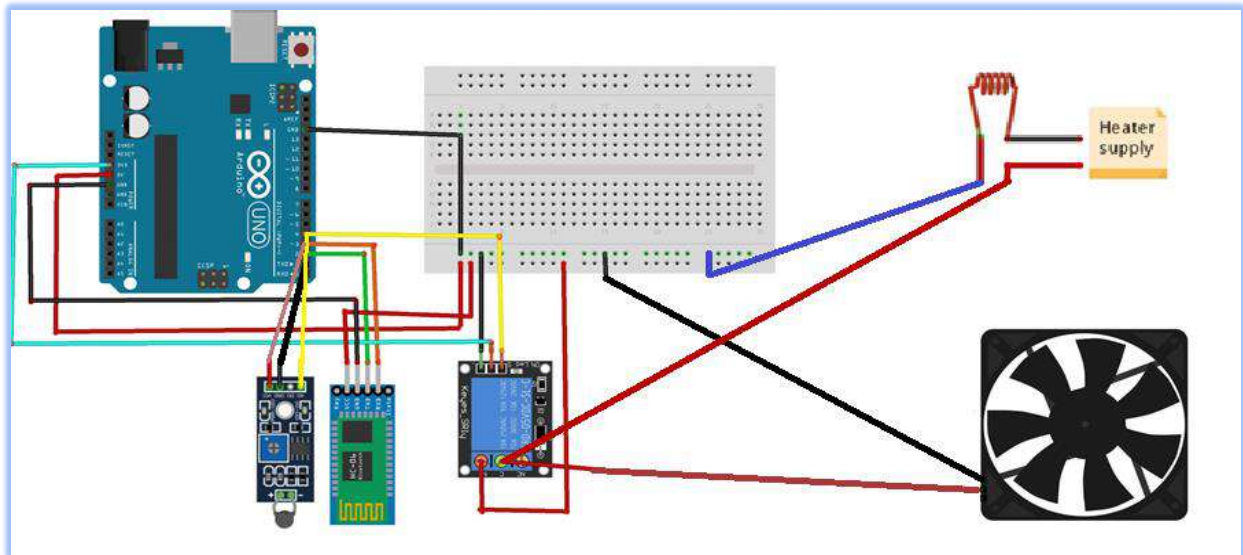
ტემპერატურისა და ტენიანობის კონტროლის სისტემის შესაქმნელად დაგვჭირდება შემდეგი კომპონენტები:



ნახ.1.

1. DHT11 სენსორი (ნახ. 1): ზომავს ტემპერატურასა და ტენიანობას;
2. Arduino მიკროკონტროლერი: იღებს მონაცემებს სენსორიდან და აკონტროლებს ვენტილატორს და წყლის გამათბობელ ტენს;
3. ვენტილატორი: გამოიყენება ტემპერატურის კონტროლისთვის ჰაერის ნაკადის გაზრდით;
4. წყლის გამაცხელებელი ტენი ხელს უწყობს სასურველი ტემპერატურის შენარჩუნებას;
5. Arduino-ს კონტროლერი საშუალებას იძლევა აკონტროლოს ვენტილატორი და წყლის გამაცხელებელი ტენი.

მე-2 ნახაზზე ნაჩვენებია ტემპერატურისა და ტენიანობის რეგულირების სქემა. DHT11 სენსორი შეერთებულია Arduino მიკროკონტროლერთან სენსორზე მითითებული პინის კონფიგურაციის მიხედვით. შეერთებულია ვენტილატორი და წყლის გამაცხელებელი ტენი რელეს მოდულთან, შემდეგ სარელეო მოდულს Arduino-სთან. ეს კომფიგურაცია Arduino-ს საშუალებას აძლევს აკონტროლოს ვენტილატორი და წყლის გამათბობელი ტენი DHT11 სენსორიდან მიღებული მონაცემების საფუძველზე.



ნახ. 1

აუცილებელია Arduino-ს პროგრამირება FLProg-პროგრამაში.

Arduino მიკროკონტროლერი, რომელიც მუდმივად კითხულობს ტემპერატურისა და ტენიანობის მნიშვნელობებს DHT11 სენსორიდან.

ვენტილატორისა და გამათბობლის გასაკონტროლებლად სასურველი ტემპერატურისა და ტენიანობის ზღვრებზე დაყრდნობით.

ვარეგულირებთ ვენტილატორის და გამათბობელის ჩართვას საჭიროებისამებრ, სასურველი პირობების შესანარჩუნებლად.

ვტვირთავთ კოდს Arduino მიკროკონტროლერში.

როგორც კი Arduino ჩართვება და კოდი აიტვირთება, სისტემა დაიწყებს ტემპერატურისა და ტენიანობის დონის მონიტორინგს DHT11 სენსორის მეშვეობით. თუ ტემპერატურა გადააჭარბებს სასურველ დიაპაზონს, Arduino ააქტიურებს ვენტილატორის ჰაერის ნაკადის გაზრდის და გარემოს გაგრილების მიზნით. თუ ტენიანობა სასურველ დონეს ქვემოთ დაეცემა, Arduino ჩართავს წყლის გამაცხელებლის ტენს ტენიანობის გაზრდის მიზნით. სისტემა გააგრძელებს ამ პარამეტრების რეგულირებას ოპტიმალური პირობების შესანარჩუნებლად.

ტემპერატურისა და ტენიანობის კონტროლის სისტემა უზრუნველყოფს, რომ მცენარეებმა მიიღონ იდეალური გარემო პირობები, რაც განაპირობებს ზრდის ტემპების გაუმჯობესებას და მოსავლიანობის გაზრდას. ვენტილატორის და გამათბობლის გააქტიურებით მხოლოდ საჭიროების შემთხვევაში, ენერჯის მოხმარება მინიმუმამდეა დაყვანილი. ეს სისტემა ადვილად შეიძლება დარეგულირდეს სხვადასხვა ვერტიკალური ჰიდროპონიკური დანადგარების მოსაწყობად.

DHT11 სენსორი უზრუნველყოფს რეალურ დროში მონაცემების მიწოდებას და დამუშავებას, რაც გვამძლევს საშუალებას დავაკვირდეთ და დავარეგულიროთ სისტემა ოპტიმალური შედეგებისთვის.

3. დასკვნა

ვერტიკალური ჰიდროპონიკა გვთავაზობს ეფექტურ სივრცის დაზოგვის მეთოდს მცენარეების გასაზრდელად. ტემპერატურისა და ტენიანობის კონტროლის სისტემის დანერგვით DHT11 სენსორის, Arduino-ს, ვენტილატორის და წყლის გამაცხელებელი ტენის გამოყენებით, ჩვენ შეგვიძლია შევქმნათ გარემო, რომელიც ხელს შეუწყობს მცენარის ოპტიმალურ ზრდას და მაქსიმალურ მოსავლიანობას. ამ ფაქტორების ზუსტი კონტროლით, ჩვენ შეგვიძლია გამოვიკვლიოთ ჰიდროპონიკური ვერტიკალური მებაღეობის სრული პოტენციალი.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Resh H.M. (2013). Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower CRC Press.
2. Savvas D., Passam H. C. (2018). Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo Publications.
3. Farnsworth D., Farnsworth A. (2018). Hydroponics: Hydroponic gardening for beginners. Independently published.
4. Choudhury A.K., Yadav R.K., Kumar P., Nemade P. (2018). Automated greenhouse for hydroponics: An IoT-based approach. In 2018 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing.
5. Carrasco D., González A. (2019). Development of a smart vertical hydroponic system. In 2019 IEEE Global Engineering Education Conference.
6. Grigalashvili J. (2015). Arduino visual programming. Tbilisi: Technical University of Georgia. Tbilisi, -210 p.

(სტატია მიღებულია 28.04.2023)

VERTICAL HYDROPONICS EQUIPMENT AND HUMIDITY STRUCTURE (DHT11) WITH SENSOR, ARDUINO, FAN AND WATER HEATER HUMIDIFIER.

Vakhtang Chantadze, Irakli Chantadze

Georgian Technical University

gankhypower@gmail.com, chantadzei@gmail.com

Summary

We discussed the vertical hydroponic device system with optimal humidity control, with a sensor (DHT11), Arduino microcontroller, ventilator, water heater and humidifier. The DHT11 sensor provides real-time data feed and processing, allowing us to monitor and adjust the system for optimal results. The temperature and humidity control system ensures that the plants receive the ideal environmental conditions, leading to improved growth rates and increased yields. By activating the fan and heater only when needed, energy consumption is kept to a minimum.

(Received 28.04.2023)

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ГИДРОПОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ С ДАТЧИКОМ (DHT11), ARDUINO, ВЕНТИЛЯТОРОМ И ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕМ

Чантадзе В., Чантадзе И.

Грузинский Технический Университет
gankhypower@gmail.com, chantadzei@gmail.com

Резюме

Мы обсудили систему вертикального гидропонного устройства с оптимальным контролем влажности, с датчиком (DHT11), микроконтроллером Arduino, вентилятором, водонагревателем и увлажнителем. Датчик DHT11 обеспечивает подачу и обработку данных в режиме реального времени, что позволяет нам контролировать и настраивать систему для получения оптимальных результатов. Система контроля температуры и влажности гарантирует, что растения получают идеальные условия окружающей среды, что приводит к улучшению темпов роста и повышению урожайности. Благодаря включению вентилятора и обогревателя только при необходимости потребление энергии сводится к минимуму.

(Поступила 28.04.2023)

LED განათების საჭიროება, შედარება და უპირატესობა სხვა განათებასთან შედარებით ვერტიკალურ ჰიდროპონიურ დანადგარში

ვახტანგ ჩანთაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
gankhypower@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია ვერტიკალურ ჰიდროპონიკური დანადგარში LED განათების საჭიროება, შედარება და უპირატესობა ფლუორესცენტურ, ინკანდესცენტური და მაღალი წნევის ნატრიუმის(HPS) ნათურებთან.

საკვანძო სიტყვები: ვერტიკალური ჰიდროპონიკური დანადგარი. LED განათება. ფლუორესცენტური განათება, ინკანდესცენტური განათება.

1. შესავალი

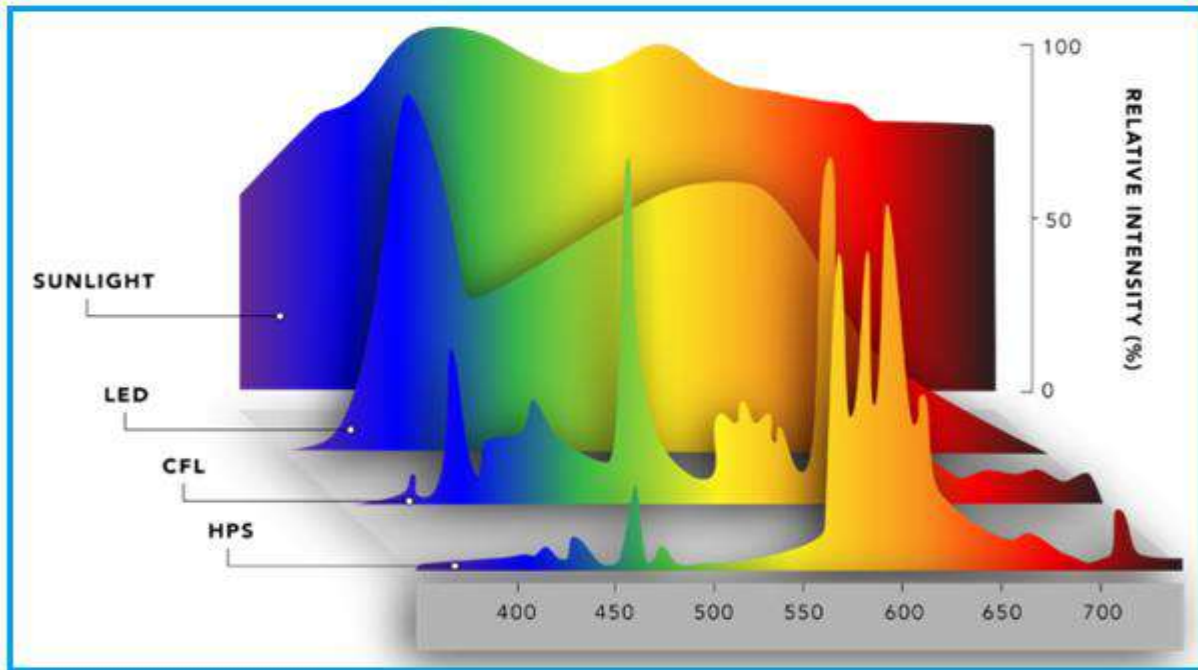
ვერტიკალურ ჰიდროპონიკაში ადექვატური და ეფექტური განათების უზრუნველყოფა გადამწყვეტია მცენარეების ზრდისა და განვითარებისთვის. LED (დიოდური განათების) განათებამ მნიშვნელოვანი პოპულარობა მოიპოვა ბოლო წლებში სხვა განათების წყაროებთან შედარებით მრავალი უპირატესობის გამო. ეს სტატია მიზნად ისახავს წარმოაჩინოს ეფექტური განათების საჭიროება ვერტიკალურ ჰიდროპონიკაში, შეადაროს LED განათება განათების სხვა სისტემებს და გამოყოს LED განათების გამოყენების უპირატესობა ასეთ სისტემებში.

2. ძირითადი ნაწილი

ვერტიკალურ ჰიდროპონიურ სისტემებში მცენარეები განლაგებულია ვერტიკალურად დაწყობილ თაროებში, რათა მაქსიმალურად გამოიყენოთ სივრცე. თუმცა, ეს კონფიგურაცია ხშირად იწვევს მზის ბუნებრივ შუქზე შეზღუდულ წვდომას, რაც ხელოვნურ განათებას

აუცილებელს ხდის. ეფექტური განათება გადამწყვეტია მცენარეთა ფოტოსინთეზისთვის, სათანადო ზრდის უზრუნველსაყოფად და მოსავლიანობის ოპტიმიზაციისთვის. გარდა ამისა, განათება ხელს უწყობს მცენარის ფიზიოლოგიური პროცესების რეგულირებას.

➤ LED განათების შედარება სხვა განათების ვარიანტებთან (ნახ.1).



ნახ.1. შედარება სხვა განათებებთან

➤ ინკანდესენტური განათება (სპირალური ნათურა) (ნახ.2).



ნახ. 2

ინკანდესენტური ნათურები ჩვეულებრივ გამოიყენება საყოფაცხოვრებო განათებისთვის, მაგრამ არ არის შესაფერისი ვერტიკალური ჰიდროპონიკისთვის. ისინი წარმოქმნის სითბოს დიდ რაოდენობას, რამაც შეიძლება დააზიანოს მცენარეები და დახარჯოს ზედმეტი ელექტროენერგია. გარდა ამისა, ინკანდესენტურ ნათურებს აქვს სინათლის სპექტრის შეზღუდული დაფარვა, რაც იწვევს მცენარის არაოპტიმალურ ზრდას.

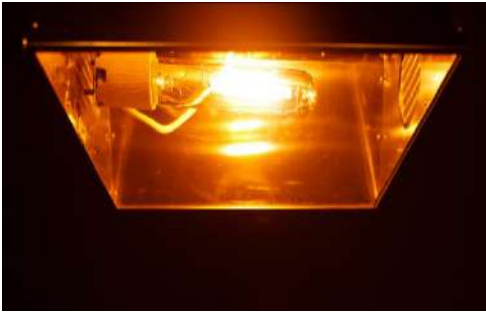
➤ ლუორესცენტური განათება (ნახ.3)



ნახ. 3

წლების განმავლობაში გამოიყენება მეზალეობაში. ისინი უფრო ენერგოეფექტურია ვიდრე ინკანდესენტური ნათურები, მაგრამ აქვს შეზღუდვები სინათლის ინტენსივობისა და სპექტრის თვალსაზრისით. ფლუორესცენტური ნათურები. ზომით უფრო დიდია და არაპრაქტიკული თაროებიან ჰიდროპონიკურ დანადგარში ასევე ნაკლებად უსაფრთხოა.

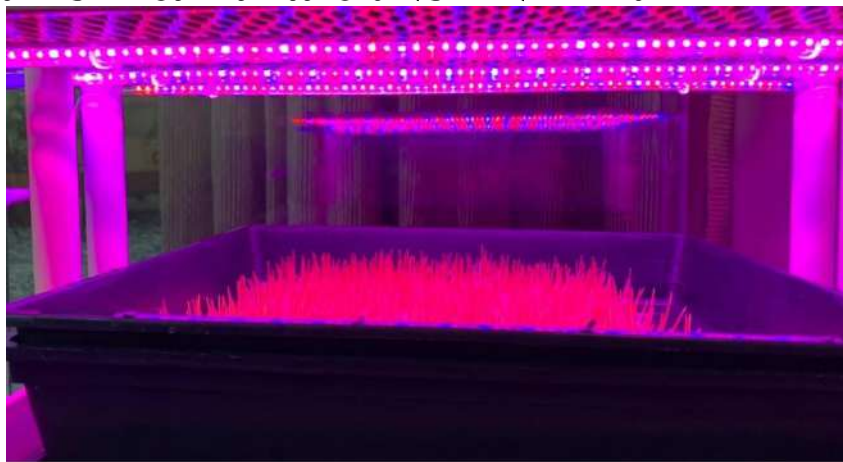
➤ მაღალი წნევის ნატრიუმის (HPS) განათება (ნახ.4)



ნახ. 4

მაღალი წნევის ნატრიუმის (HPS) ნათურები, დიდი ხანია პოპულარულია კომერციულ ჰიდროპონიაში. ისინი აწარმოებს ინტენსიურ შუქს და შესაფერისია მცენარის ზრდის ციკლისთვის. თუმცა, მაღალი წნევის ნატრიუმის (HPS) განათება დიდი რაოდენობით ელექტროენერგიას მოიხმარს, წარმოქმნის დიდ რაოდენობით სითბოს და საჭიროებს დამატებით გაგრილების სისტემებს. მათ ასევე აქვს შეზღუდული სიცოცხლის ხანგრძლიობა LED ნათურებთან შედარებით.

➤ LED განათების უპირატესობები ვერტიკალურ ჰიდროპონიკაში (ნახ.5).



ნახ. 5

LED ნათურები ძალზე ენერგოეფექტურია, განათების სხვა ვარიანტებთან შედარებით. ისინი გარდაქმნის ელექტროენერგიის უფრო დიდ ნაწილს მცენარის ზრდისათვის საჭირო სინათლის სპექტრის მისაღებად. გამოყოფს მინიმალურ სითბოს. ეს ხელს უწყობს ენერგიის ხარჯების შემცირებას და ქმნის უფრო მდგრად განათებას.

LED ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ ზუსტი კონტროლი გამოსხივებული სინათლის სპექტრზე, რაც საშუალებას გვაძლევს მოვარგოთ სინათლის სპექტრი მცენარეების სპეციფიკურ საჭიროებებს ზრდის სხვადასხვა ეტაპზე. სინათლის სპექტრის რეგულირებით, იგი ხელს უწყობს ოპტიმალურ ფოტოსინთეზს, რის შედეგადაც ვიღებთ ჯანმრთელ მცენარეებს და მაღალ მოსავლიანობას.

LED ნათურებს აქვს მნიშვნელოვნად უფრო გრძელი სიცოცხლის ხანგრძლიობა ტრადიციულთან შედარებით. საშუალოდ, LED განათება მუშაობს 50,000 საათამდე ან მეტს, რაც ამცირებს მოვლისა და გამოცვლის ხარჯებს. ისინი უფრო მდგრადია დარტყმის, ვიბრაციისა და ტემპერატურის რყევების მიმართ, რაც იდეალურს ხდის ვერტიკალურ ჰიდროპონიურ გარემოში.

LED ნათურები ასხივებს ძალიან მცირე სითბოს HID-თან ან ინკანდესენტურ ნათურებთან შედარებით. ეს მახასიათებელი გამორიცხავს დამატებითი გაგრილების სისტემების საჭიროებას, რაც საშუალებას გვაძლევს შეინარჩუნოს სტაბილური ტემპერატურა ვერტიკალურ ჰიდროპონიურ სისტემაში. ის ასევე ამცირებს მცენარეთა დაზიანების რისკს სითბური სტრესის გამო.

LED განათების მოწყობილობები კომპაქტურია და შეიძლება დაპროექტებული იყოს ჰიდროპონიკური სისტემების ვერტიკალურ სტრუქტურაზე ეფექტურად. სივრცის დაზოგვის ეს ფუნქცია ჩვენ საშუალებას გვაძლევს მაქსიმალურად გამოიყენოთ ხელმისაწვდომი სივრცე, გავზარდოთ მცენარეების რაოდენობა, რომლებიც შეიძლება გაშენდეს ვერტიკალურ თაროებში.

LED განათება თავისუფალია ტოქსიკური მასალებისგან, როგორცაა ვერცხლისწყალი, რომელიც გვხვდება ფლუორესცენტურ და HID ნათურებში. LED-ები არის. ასევე უფრო გადამუშავებადი, რაც იწვევს გარემოზე ნაკლებ ზემოქმედებას ტრადიციულ განათების წყაროებთან შედარებით.

3. დასკვნა

ვერტიკალურ ჰიდროპონიკურ სისტემებში ეფექტური განათების უზრუნველყოფა გადამწყვეტია მცენარის ზრდის წარმატებისა და ოპტიმალური მოსავლიანობისთვის. LED განათება გვთავაზობს მნიშვნელოვან უპირატესობებს განათების სხვა ვარიანტებთან შედარებით, მათ შორის ენერგოეფექტურობა, რეგულირებადი სინათლის სპექტრი, ხანგრძლივობა, სითბოს მართვა, სივრცის ოპტიმიზაცია და გარემოსდაცვითი კეთილგანწყობა. ასევე აღსანიშნავია LED-განათების სიიარაღი, ადვილი მონტაჟი და იოლი ექსპლოატაცია. LED განათების ტექნოლოგიის გამოყენებით, ჰიდროპონიკაში ჩვენ შეგვიძლია შექმნათ ეფექტური და მდგრადი განათება, რომელიც ხელს უწყობს მცენარეების სწრაფ ზრდას და მაღალ მოსავლიანობას.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Urrestarazu M., López G. (2018). LED lighting systems for vertical farming. Journal of Physics: Conference Series.
2. Massa G.D., Kim H.H., Wheeler R.M., Mitchell C.A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. HortScience.
3. Morrow R.C. (2008). LED lighting in horticulture. HortScience.
4. Li Q., Kubota C., Omasa K. (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. Environmental and Experimental Botany.
5. Mitchell C.A., Both A.J., Bourget C.M., Burr J.F., Kubota C., Lopez R. G., Runkle, E. S. (2015). LEDs: The future of greenhouse lighting! Chronica Horticulturae.

(სტატია მიღებულია 28.04.2023)

LED LIGHTING NEEDS, COMPARISONS AND ADVANTAGES OVER OTHER LIGHTING IN VERTICAL HYDROPONICS.

Chantadze Vakhtang
Georgian Technical University
gankhypower@gmail.com

Summary

Discusses the need, comparison and advantages of LED lighting in a vertical hydroponic systems. with fluorescent, incandescent and high pressure sodium (HPS) lamps. LED lighting offers significant advantages over other lighting options, including energy efficiency, adjustable light spectrum, durability, heat management, space optimization, cost, and durability.

(Received 28.04.2023)

**ПОТРЕБНОСТИ В СВЕТОДИОДНОМ ОСВЕЩЕНИИ, СРАВНЕНИЕ И
ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕД ДРУГИМ ОСВЕЩЕНИЕМ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ
ГИДРОПОНИКЕ**

Чантадзе В.

Грузинский Технический Университет
gankhypower@gmail.com

Резюме

Обсуждаются необходимость, сравнение и преимущества светодиодного освещения в вертикальной гидропонной установке с люминесцентными лампами, лампами накаливания и натриевыми лампами высокого давления (HPS). Светодиодное освещение предлагает значительные преимущества по сравнению с другими вариантами освещения, включая энергоэффективность, регулируемый световой спектр, долговечность, управление теплом, оптимизацию пространства, стоимость и долговечность.

(Поступила 28.04.2023)

იბეჭდება ავტორთა მიერ წარმოდგენილი სახით

კომპიუტერული უზრუნველყოფა: გ. სურგულაძე, გ. ნარეშელაშვილი,
ლ. პეტრიაშვილი, გ. დალაქიშვილი

გადაეცა წარმოებას 30.04.2023 წ. ქალაქის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი
თაბახი 8.5, სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 8. ტირაჟი 50 ეგზ.

იბეჭდება ავტორთა ხარჯით