



ინფორმატიკის, მათემატიკისა და საბუნებისმეტყველო
მეცნიერებათა სკოლა (ფაკულტეტი)

მანია გოგიაშვილი

ფორმალური ნეირონის ადაპტაციის მოდელები

ინფორმატიკის დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარმოდგენილი ნაშრომის

სადისერტაციო მაცნე

ინფორმატიკა - 0401

თბილისი

2014

სადისერტაციო ნაშრომი შესრულებულია წმიდა ანდრია პირველწოდებულის სახელობის ქართული უნივერსიტეტის ინფორმატიკის, მათემატიკისა და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა სკოლა (ფაკულტეტი)

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: **ოლეგ ნამიჩიშვილი**, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

ოფიციალური რეცენზენტები: **ომარ დლონტი**, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

ზურაბ ქოჩლაძე, ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

პაატა წერეთელი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

დისერტაციის დაცვა შედგება 2014 წლის 21 ივლისს 15⁰⁰ საათზე, საქართველოს საპატრიარქოს წმიდა ანდრია პირველწოდებულის ქართული უნივერსიტეტის ინფორმატიკის, მათემატიკისა და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა სკოლის (ფაკულტეტის) სადისერტაციო კომისიის სხდომაზე.

მისამართი: 0162, თბილისი, ილია ჭავჭავაძის №53ა, I კორპუსი, IV სართული, წმიდა ილია მართლის სახელობის საკონფერენციო დარბაზი.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს საპატრიარქოს წმიდა ანდრია პირველწოდებულის ქართული უნივერსიტეტის სამეცნიერო ბიბლიოთეკაში.

სადისერტაციო მაცნე დაიგზავნა 2014 წლის 16 ივნისს.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი,

პროფესორი

თამაზ თევზაძე

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. ელემენტთა სიჭარბის მეთოდით ინფორმაციული არხების საიმედოობის უზრუნველყოფა დღეისათვის ტექნიკური სისტემებისა და მათი მართვის მოწყობილობათა დაპროექტების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ფაქტორად გვევლინება. ბოლო წლებში საიმედოობის თეორიის მიმართ ყურადღების გამახვილება გამოწვეულია ავიაციაში, კოსმოსურ ტექნიკაში, ენერგეტიკაში და ტრანსპორტზე მტყუნებათა თავიდან აცილების სურვილით, ამან, თავის მხრივ, განსაზღვრა გამოთვლით ტექნიკაში ელემენტთა სიჭარბის შემოტანის გზით მუშაუნარიანობის გაზრდისა და მმართველ სისტემათა საიმედოობის ამაღლების აუცილებლობა. ტექნოლოგიის განვითარების მიმდინარე მომენტისათვის გამოთვლით მოწყობილობებში ელემენტთა სიჭარბის შეტანის მეთოდები დამყარებულია შემდეგი პრინციპების გამოყენებაზე:

- გადაწყვეტილებათა მიღების სტატისტიკურ თეორიაზე დაფუძნებული კენჭისმყრელი ორგანოები და მოწყობილობები,
- სპეციალური არქიტექტურის მქონე სარელეო ტიპის სქემები,
- შეერთებათა რთული შინაგანი სტრუქტურის მქონე სქემები,
- კოდირების თეორია,
- ლოგიკური სტაბილიზაცია.

ამის მიუხედავად, საიმედო ლოგიკური სტრუქტურებისა და სიჭარბის მქონე ორობითი (ბინარული) საინფორმაციო არხების დაპროექტების პრობლემა მაინც შეუსწავლელი და აქტუალური რჩება. კონკრეტულად, დამატებით განხილვას და შესწავლას მოითხოვს საკითხი ადაპტირებადი ნეირონული დარეზერვების შესახებ, ე.ი. საკითხი ფორმალური ნეირონის შესასვლელთა წონების მართვის შესახებ ამ წონების მოსაყვანად შესაბამისობაში შესასვლელთა უმტყუნო მუშაობის მიმდინარე ალბათობებთან. უკიდურესად აუცილებელია ასეთი მართვის სხვადასხვა სტრატეგიის თავისებურებათა გამოძედავენება, რადგან ხსენებული მართვის ამოცანას წარმოადგენს უფრო საიმედო შესასვლელებისათვის მეტი გავლენის უზრუნველყოფა მისაღებ გადაწყვეტილებაზე ნაკლებად სა-

იმედო შესასვლელებთან შედარებით. უკანასკნელი კი იმას ნიშნავს, რომ დროის ყოველ მომენტში ნეირონის ნებისმიერი შესასვლელის წონა უნდა განისაზღვრებოდეს ამ შესასვლელის შეცდომის ალბათობით დროის ხსენებულ მომენტში. მაგრამ იმის გამო, რომ ჩვენ არ გაგვაჩნია ამა თუ იმ ფიზიკური მოვლენის გამოყენებით მოქმედი შეცდომათა ალბათობების სენსორები, ფაქტობრივად შესაძლებელია ამ ალბათობების მხოლოდ სტატისტიკური შეფასებების მიღება საინფორმაციო არხიდან მოხსნილი სიგნალის განსხვავებით ან გამოსაცნობად მიწოდებული ორობითი ცვლადის ქეშმარიტ მნიშვნელობასთან, ან ნეირონის მიერ მიღებულ გადაწყვეტილებასთან (ე.ი. მის მიერ ამ სიგნალის აღდგენილ მნიშვნელობასთან). არჩეული სტრატეგიის მიხედვით საქმე აქვთ ადაპტაციის ორ ტიპთან, როცა შედარება ხდება ან გარედან მოწოდებულ სწორ პასუხთან, ან გადაწყვეტილებასთან ნეირონის გამოსასვლელზე. ამ სტრატეგიათა შედარებითი ანალიზი ლიტერატურაში პრაქტიკულად არ მოიპოვება.

არ არის სიცხადე წონათა კორექციის ალგორითმისადმი მიდგომის საკითხშიც, რადგან დამოუკიდებლად იმისა, არის თუ არა განხორციელებული უკუკავშირი, ადაპტაციის პროცესში შეიძლება დაფიქსირდეს დაკვირვებათა (შედარებათა) რიცხვი სატაქტო მომენტებში და შესასვლელთა წონები დაყენდეს გარკვეული ციკლების დასრულებისას, ან ყოველ შესასვლელზე შეცდომათა ალბათობების შესაფასებლად გამოყენებული იქნეს მოწყობილობები, რომლებიც აკორექტირებს წონებს აგრეთვე დროის სატაქტო მომენტებში ჩატარებული ყოველი შედარების შემდეგ. მაგრამ წონების ციკლური და უწყვეტი კორექციით მიმდინარე ადაპტაციის კონსტრუქციული თეორიები აგრეთვე არ მოიპოვება.

უნდა აღინიშნოს, რომ კორექციის განსახორციელებლად სატაქტო მომენტის ფიქსაციის მიხედვით შეიძლება ადაპტაციის ისეთი ტიპიც დავასახელოთ, როცა წონათა ცვლილებები დროის შემთხვევით მომენტებში ხდება ორობითი არხის მიერ გარკვეული კრიტიკული მდგომარეობის მიღწევისას. ადაპტაციის ხსენებული სახის თეორიული საფუძვლები სამეცნიერო ლიტერატურაში არც კი არის წარმოდგენილი.

ამრიგად, ცნობები იმ შესაძლებლობებზე, რომლებიც ჩნდება ადაპტირებადი ფორმალური (ხელოვნური) ნეირონების გამოყენებისას სიგნალის აღმდგენ სისტემებში ძალზე შეზღუდულია. სრუ-

ლებით არ მოიპოვება წყაროებიც ასეთი ნეირონების ადაპტაციის სხვადასხვა სტრატეგიის კომპიუტერული მოდელირების პროგრამული უზრუნველყოფის შესახებ. ამ ამოცანის გადაწყვეტისას წამოჭრილი სიმნელები დაკავშირებულია, პირველ რიგში, იმ გარემოებასთან, რომ არ მოიპოვება კომპიუტერული მოდელირებისათვის მოხერხებული აღმდგენი (ადაპტირებადი) ფორმალური ნეირონის შეცდომის ალბათობის გამომანგარიშების ალგორითმები.

სრულიად შეუსწავლელია ისეთი ნეირონის მახასიათებლების მიღების პრობლემაც, რომელშიც განხორციელებულია შემთხვევითი ადაპტაცია და წონათა დაყენება (აწყობა) ხორციელდება შემთხვევიდან შემთხვევამდე მუშაობისა და ადაპტაციის ინტერვალების მონაცვლეობით ამ ინტერვალების ალბათური განაწილების პირობებში.

დაბოლოს, ურთულესი პრობლემები წამოიჭრება ზღურბლური წესით დარეზერვებული ორობითი საინფორმაციო არხების საიმედოობის ძირითადი მახასიათებლების კვლევისას, როცა ცალკეული არხის კრიტიკული მდგომარეობის სენსორი გამოიყენება. კერძოდ, აქ პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა ენიჭება ასეთი სენსორების შეერთებათა დუბლირებული სტრუქტურების სინთეზს, რომლითაც უზრუნველყოფილია ნეირონული სისტემის სარეგო ადაპტაციის მდგრადობა.

ადაპტირებადი ფორმალური ნეირონის გამოყენება ბინარული სიგნალის სწორი მნიშვნელობის აღმდგენად ჩამოთვლილი ფაქტორების გაუთვალისწინებლად იწვევს ხარჯების გაუმართლებელ ზრდას და, გარდა ამისა, ბადებს დაუსაბუთებელ სტრუქტურულ გადაწყვეტილებებს. ამიტომ საიმედო ორობითი არხების დაპროექტება სიჭარბით, ადაპტირებადი აღმდგენი ნეირონების გამოყენების პირობებში, იმსახურებს სათანადო ყურადღებას, ხოლო თემის აქტუალობა და სპეციალური მეცნიერული კვლევის აუცილებლობა ეჭვს არ იწვევს.

კვლევის ობიექტი და საგანი. *კვლევის ობიექტს* ნაშრომში წარმოადგენს ფორმალური (ხელოვნური) ნეირონი, ხოლო *კვლევის საგანია* ასეთი ნეირონის ადაპტაციის სტრატეგიები ბინარული საინფორმაციო ქსელების დარეზერვების სტრუქტურაში გამოყენებისას.

ნაშრომის მიზანი. სადისერტაციო ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ადაპტირებადი ნეირონული დარეზერვების თეორიის განვი-

თარება, ასევე ნეირონული ტიპის ადაპტირებადი აღმდგენი ორგანოების კომპიუტერული კვლევის ალგორითმებისა და მამოდელირებელი პროგრამების შექმნა ციფრულ სისტემათა საიმედოობის უზრუნველსაყოფად.

კვლევის მეთოდები. დასმულ ამოცანა სავსებით შეესაბამება კვლევის მეთოდები.

კერძოდ, ჭარბი ინფორმაციის სანდოობის ანალიზი ჩატარებულია გადაწყვეტილებათა მიღების სტატისტიკური თეორიის საფუძველზე, აგრეთვე ენტროპიული მიდგომისა და განზოგადებული (მაჰალანობისის) მანძილის მინიმიზაციის გამოყენებით.

იმდენად, რამდენადაც ამ შემთხვევაში იგულისხმება, რომ ორობით ინფორმაციულ არხებში შეცდომათა გაჩენის პროცესები სტაციონარულია, ხოლო საკუთრივ შეცდომები – დამოუკიდებელი, ნეირონული აღმდგენი ორგანოს გამოსასვლელზე გადაწყვეტილება წარმოადგენს დამოუკიდებელი შემთხვევითი სიდიდეების ჯამის ფუნქციას. ამ ჯამის თვისებები დგინდება კომპოზიციის თეორიის საშუალებით.

გარდა ამისა, ფართოდ გამოიყენება სახეთა გამოცნობის თეორია და აპოსტერიორული კვლევის მეთოდები.

დაბოლოს, ძირითადი შედეგები, რომლებიც ნეირონული ტიპის ადაპტირებადი აღმდგენი ორგანოების ქცევას ეხება, მონტე-კარლოს (სტატისტიკურ გამოცდათა) მეთოდსა და განაწილებათა თეორიას ეყრდნობა.

კვლევის ამოცანები. სამუშაოს მიზნიდან გამომდინარე, მასში დასმულია შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

- ნეირონული აღმდგენი ორგანოს შესასვლელთა ოპტიმალური წონების დასადგენად ახალი მათემატიკური მოდელების დამუშავება და მათ საფუძველზე განსაზღვრულ წონათა შორის არსებული კავშირების გამოვლენა;
- კონსტრუქციული მეთოდის შექმნა ადაპტაციის ციკლში ჩასატარებელ შედარებათა (დაკვირვებათა) რაოდენობის დასადგენად, როცა ციკლური ადაპტაცია უკუკავშირის არ იყენებს;
- უკუკავშირიანი ციკლური ადაპტაციის მდგრადობის (მედეგობის) შესწავლა;
- უიდროუ-ჰოფის ალგორითმით მიმდინარე უწყვეტი ადაპტაციის კანონზომიერებათა დადგენა;

- უნიფიცირებული წახალისებისა და ინდივიდუალური დასჯის ალგორითმით მიმდინარე უწყვეტი ადაპტაციის თავისებურებათა დადგენა;

- ნეირონული აღმდგენი ორგანოს სარელეო ადაპტაციის მეთოდის დამუშავება და ასეთი ადაპტაციის პროცესის მდგრადობის (მედეგობის) უზრუნველმყოფი მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედის იმპულსური მახასიათებლის დადგენა;

- ნეირონული აღმდგენი ორგანოს სარელეო ადაპტაციის პროცესის მდგრადობის (მედეგობის) უზრუნველმყოფი კონკრეტული მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედის სინთეზი;

- სარელეო ადაპტაციისათვის ნეირონში შემავალი ბინარული არხების კრიტიკული მდგომარეობის საინდიკაციო სენსორთა ოპტიმალური დუბლირება.

მეცნიერული სიახლე. დისერტაციაში მიღებული შედეგების მეცნიერული სიახლე ვლინდება როგორც მეთოდურ, ასევე გამოყენებით ასპექტში. ხსენებული სიახლე დაკავშირებულია ადაპტირებადი ნეირონული დარეზევის პრინციპით აგებული ციფრული ტექნიკის საიმედოობის პრობლემის მიმართ ერთიანი მიდგომის რეალიზაციასთან და ასეთი დარეზერვების განხორციელებისას მანქანური ექსპერიმენტის ეფექტურად გამოყენების მიზნით მოდელირების რიცხვითი მეთოდების შექმნასთან.

მეთოდურ ასპექტში:

- ნეირონული აღმდგენი ორგანოს შესასვლელებისათვის ოპტიმალური წონების დასადგენად გამოყენებულია ენტროპიული მიდგომა, აგრეთვე განზოგადებული (მაჰალანობისის) მანძილის მეთოდი და დამყარებულია მათ შორის კავშირი;

- უკუკავშირის გამოყენებლად მიმდინარე ციკლური ადაპტაციის პროცესისათვის – გარედან მოცემული სწორი პასუხისა და ფორმალურ ნეირონზე არხით მიწოდებული სიგნალის შედარებათა საჭირო რაოდენობის ასარჩევად, ასევე ამ არხის შეცდომის ალბათობის შესაფასებლად – დამუშავებულია კონსტრუქციული მეთოდი;

- უკუკავშირიანი ციკლური ადაპტაციისათვის, რომელიც ხორციელდება შემავალი არხის ორობითი (ბინარული) სიგნალის შედარებით ფორმალური ნეირონის მიერ მიღებულ გადაწყვეტი-

ლებასთან (ე.ი. აღდგენილ სიგნალთან ნეირონის გამოსასვლელზე), დამტკიცებულია პროცესის მდგრადობა;

- დაგენილია განზოგადებული (მაჰალანობისის) მანძილისათვის მაქსიმუმის მიმნიჭებელ წონათა ჯამის აბსოლუტური სიდიდის შეზღუდვის აუცილებლობა იმისათვის, რომ უკუკავშირიანი ციკლური ადაპტაციის პროცესში ზღურბლური ორგანოს შეცდომის ალბათობის გადახრა ოპტიმალურ მნიშვნელობიდან არ აღემატებოდეს დასაშვებ სიდიდეს;

- დამტკიცებულია, რომ ორობითი სიგნალის აღმდგენ ნეირონულ სისტემაში, სადაც უკუკავშირი არ გამოიყენება, ადაპტაციის განხორციელებისას წონათა უწყვეტი ნამატის (ნაზრდის) უიდროუ-ჰოვის სტრატეგიით (ამ წონათა ჯამის შეზღუდვისას მოცემული რიცხვით), წონათა დამყარებული მნიშვნელობები განზოგადებულ მანძილს მაქსიმუმს ანიჭებს;

- დამტკიცებულია, რომ უკუკავშირიანი უწყვეტი ადაპტაციისას უიდროუ-ჰოვის ალგორითმით საჭიროა გარკვეული უტოლობების გათვალისწინება დამყარებული წონების გადახრის სიდიდის შესაფასებლად იმ მნიშვნელობებიდან, რომლებიც უკუკავშირის გარეშე განხორციელებული პროცესისათვის არის დამახასიათებელი;

- დამუშავებულია ფორმალური ნეირონის უწყვეტი ადაპტაციის სტრატეგია უნიფიცირებული წახალისებისა და ინდივიდუალური დასჯის ალგორითმით;

- დამტკიცებულია, რომ ფორმალური ნეირონის უწყვეტი ადაპტაციისას უნიფიცირებული წახალისებისა და ინდივიდუალური დასჯის ალგორითმით უკუკავშირის გამოყენებლად წონათა ისეთი მნიშვნელობები მყარდება, რომლებიც შეთანხმებულია ენტროპიულ კრიტერიუმთან;

- უწყვეტი ადაპტაციის უნიფიცირებული წახალისებისა და ინდივიდუალური დასჯის სტრატეგიისათვის შესწავლილია ადაპტირებადი აღმდგენი ნეირონის შესასვლელთა წონების შემთხვევითი «ხეტიალის» («ყიალის») პროცესი;

- გადაწყვეტილია ისეთი მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედის სინთეზის ამოცანა (ე.ი. იმპულსური მახასიათებლის პოვნის ამოცანა), რომელიც აღმდგენი ორგანოს სარე-

ლეო ადაპტაციის პროცესის მდგრადობას (მედეგობას) უზრუნველყოფს უკუკავშირის გამოუყენებლად;

- სარელეო ადაპტაციისათვის გადაწყვეტილია არხების კრიტიკული მდგომარეობის საინდიკაციო სენსორთა ოპტიმალურად დუბლირების ამოცანა.

გამოყენებით ასპექტში:

- შექმნილია ნეირონული აღმდგენი ორგანოების ადაპტაციის სხვადასხვა სტრატეგიათა მოდელირების პროგრამული საშუალებანი;

- სარელეო ადაპტაციისათვის, რომელიც უკუკავშირს არ იყენებს, სინთეზირებულია მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედი, რომლის იმპულსური მახასიათებელი მკაცრადაა წინასწარ დასაბუთებული.

ნაშრომის მეცნიერული მნიშვნელობა. დისერტაციაში მიღებული შედეგების მეცნიერული მნიშვნელობა ისაა, რომ მათი ერთობლიობა შეიძლება კვალიფიცირებული იქნეს ციფრული გამომთვლელი და სატელეკომუნიკაციო ტექნიკის სფეროში ახალი მიმართულების განვითარებად, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ადაპტირებადი ნეირონული დარეზერვების ერთიანი მიდგომით და მანქანური ექსპერიმენტის გამოყენებით გამოვიკვლიოთ და გადავჭრათ ამ ტექნიკის საიმედოობის ოპტიმალური უზრუნველყოფის პრობლემები.

ძირითადი მეცნიერული დებულებების უტყუარობა. ძირითადი მეცნიერული დებულებებისა და შედეგების უტყუარობა გარანტირებულია იმით, რომ:

- ყველა შედეგი მიღებულია ერთიანი მიდგომით, რომელიც დაფუძნებულია საიმედოობის თეორიის ამოცანების გადაჭრისას კარგად შემოწმებულ და აპრობირებულ მეთოდებზე;

- თეორიული დასკვნები სრულ თანხმობაშია კომპიუტერული ექსპერიმენტების მონაცემებთან;

- ჩატარებულია სხვადასხვა მეთოდითა და სხვადასხვა ავტორის მიერ მიღებული მსგავსი ამოცანების ამოხსნათა შედარებითი ანალიზი.

ავტორის პირადი წვლილი. დისერტაციაში წარმოდგენილი ძირითადი შედეგები ავტორის მიერ მიღებულია დამოუკიდებლად. სხვებთან ერთად შესრულებულ ნაშრომებში დისერტანტი იღებს

ინიციატორი და აქტიური შემსრულებელია. მას ეკუთვნის ამოცანის ფორმულირება, ძირითადი დებულებებისა და კერძო საკითხების გადაჭრისადმი ზოგად მიდგომათა ალგორითმების დამუშავება, აგრეთვე მიღებული შედეგების ინტერპრეტაცია და ანალიზი, მათი შედარება სხვა ავტორების მიერ (ან სხვა მეთოდებით) მიღებულ შედეგებთან და საბოლოო დასკვნები.

პრაქტიკული მნიშვნელობა. ნაშრომის პრაქტიკულ მნიშვნელობას განსაზღვრავს:

- გამომთვლელ და სატელეკომუნიკაციო სისტემებში ბინარული საინფორმაციო არხების ადაპტირებადი ნეირონული დარეზერვების გამოყენებით ამ სისტემათა საიმედოობის უზრუნველყოფის პრობლემისადმი მანქანურ ექსპერიმენტზე დაფუძნებული მიდგომის განვითარება, სრულყოფა და დამკვიდრება;

- ადაპტირებადი ნეირონული აღმდგენი ორგანოებისა და მათი ფუნქციონირების სტრატეგიათა მოდელირების პროგრამული საშუალებების დამუშავება;

- ადაპტირებადი ნეირონული დარეზერვების ზოგიერთი გამოყენებითი ამოცანის ერთიანი მიდგომით გადაწყვეტა;

- ინჟინერთა შრომის ნაყოფიერებისა და მწარმოებლურობის გაზრდა ნეირონული ტიპის ადაპტირებად აღმდგენ ორგანოებზე აგებული საინფორმაციო არხების საიმედოობის უზრუნველყოფის პროცესში;

- წარმოდგენილი შედეგების გავრცობის შესაძლებლობა ბიოლოგიურ, სოციალურ და ნებისმიერ სხვა სისტემაზე, რომელშიც ჭარბი ორობითი ინფორმაციის საფუძველზე ალტერნატიურ გადაწყვეტილებათა მიღების პრობლემა დგას.

სადისერტაციო ნაშრომის როლი სასწავლო პროცესში:

- სადისერტაციო ნაშრომი უშუალოდაა დაკავშირებული საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტში მიმდინარე კვლევით სამუშაოებთან;

- სადისერტაციო ნაშრომში გადმოცემული მასალა გამოიყენება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტზე სალექციო კურსებში მაგისტრების მოზადებისას კომპიუტერულ ტექნოლოგიებში, ასევე სპე-

ციალური ლაბორატორიული სამუშაოების ჩატარებისას დოქტორანტებისათვის.

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომში მოტანილი ზოგიერთი შედეგი მოხსენებული და განხილულია შემდეგ სემინარებსა და კონფერენციებზე:

1. პირველი კოლოკვიუმი: «აღმდგენი ფორმალური ნეირონის შეცდმის ალბათობის მინიმალური ზედა შეფასების მიღება ორი მეთოდით», 2013 წლის 23 დეკემბერი;

2. მეორე კოლოკვიუმი: «ფორმალური ნეირონის ადაპტაცია უიდროუ-ჰოფის ალგორითმით», 2014 წლის 28 აპრილი;

3. თემატური სემინარი: «ელექტრონული მმართველობის პრობლემები საქართველოში», 2014 წლის 13 მაისი;

4. International Conference on Mathematical Methods, Mathematical Models and Simulation in Science and Engineering (MMSSE 2014), Interlaken, Switzerland, February 22-24, 2014: «Two Methods of Obtaining a Minimal Upper Estimate for the Error Probability of the Restoring Formal Neuron», 2014 წლის 23 თებერვალი;

5. XII Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2014), посвящённое 75-летию Института проблем управления (ИПУ) имени В.А. Трапезникова, ИПУ РАН, Москва, Россия, 16-19 июня 2014 года «Два метода получения минимальной верхней оценки для вероятности ошибки восстанавливающего формального нейрона», 17.06.2014: <http://vspu2014.ipu.ru/node/7095>

პუბლიკაციები. დისერტაციაში მიღებული ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომში. მათი სია ავტორეფერატს ერთვის ბოლოში.

ორი უკანასკნელი ამ სიიდან გამოქვეყნებულია საზღვარგარეთ.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაციის სტრუქტურა განსაზღვრულია კვლევის დასმული ამოცანითა და მიზნებით. იგი შედგება:

- შესავლისაგან, რომელიც მოიცავს ნაშრომის ზოგად დახასიათებას, ამოცანის დასმას, დაცვაზე გასატანი დებულებების ფორმულირებას, კვლევის მიმართულებათა თანამედროვე მიმოხილვას;

- შინაარსის შემცველი ოთხი თავისაგან;

- უმნიშვნელოვანეს შედეგთა შემაჯამებელი დასკვნისაგან;

- ლიტერატურის სიისაგან;
- მათემატიკური და პროგრამული დანართებისაგან.

დისერტაციის სრული მოცულობა შეადგენს 138 გვერდს და მოიცავს 19 ნახაზს 18 გვერდზე, 8 ცხრილს 6 გვერდზე, 184 დასახელების ლიტერატურის სიას 18 გვერდზე და 2 დანართს 9 გვერდზე.

დასაცავად გასატანი შედეგები. დასაცავად გაიტანება:

- ადაპტირებადი ნეირონული დარეზერვების პრინციპი მოდელირების იმ რიცხვით მეთოდებთან ერთად, რომლებიც ციფრულ სისტემათა საიმედოობის კომპიუტერული კვლევის ჩატარებისას მანქანური ექსპერიმენტის გამოყენების ეფექტურ საშუალებას იძლევა;
- ნეირონული აღმდგენი ორგანოს ციკლური ადაპტაციის მოდელი;
- ნეირონული აღმდგენი ორგანოს უწყვეტი ადაპტაციის მოდელი მანქანურ ექსპერიმენტში ამ მოდელის კვლევის ალგორითმთან ერთად;
- ნეირონული აღმდგენი ორგანოს სარელო ადაპტაციის მოდელი მანქანურ ექსპერიმენტში მისი შესასვლელების კრიტიკული მდგომარეობის ინდიკაციის დუბლირებულ სენსორთა სტრუქტურის ანალიზთან ერთად.

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

შესავალში მოცემულია დისერტაციის ზოგადი დახასიათება თემის აქტუალობის, ნაშრომის მიზნის, კვლევის მეთოდების, მეცნიერული სიახლისა და მნიშვნელობის, მიღებული შედეგების უტყუარობისა და დისერტაციის სტრუქტურის დასაბუთებით; ჩამოყალიბებულია დასაცავად გასატანი დებულებები; ჩატარებულია ლიტერატურის ანალიზი საკვლევი თემის გარშემო.

პირველი თავი ფორმალური ნეირონის მოდელი

პირველ თავში განხილულია ფორმალური ნეირონის მოდელი, მიღებულია მის მიერ სიგნალის შეცდომით აღდგენის ალბათობის ზუსტი გამოსახულება სახეთა გამოცნობის მიდგომით, გაანალიზებულია ფორმალური ნეირონის შესასვლელთა წონების დადგენის მეთოდები და ჩამოყალიბებულია ამ ნეირონის ადაპტაციის სტრატეგიათა კლასიფიკაცია.

დავუშვათ, რომ x ორობითი სიგნალი, რომელიც კოდირებულია $+1$ -ით ან -1 -ით, მიეწოდება n ერთგვაროვან ინფორმაციულ B_1, B_2, \dots, B_n არხს. არხების შესაძლო მტყუნებათა გამო, გამოსასვლელზე x ცვლადის მნიშვნელობა ფორმირდება როგორც x_1, x_2, \dots, x_n სიმრავლე, ანუ გვაქვს x ცვლადის n შესაძლო რეალიზაცია. ცხადია, თითოეული $x_i (i = \overline{1, n})$ თავის მხრივ წარმოადგენს ორობით ცვლადს, რომელიც აგრეთვე $+1$ ან -1 მნიშვნელობებს იღებს ეს ჭარბი ინფორმაცია (x ცვლადის n ვერსიის სახით) შემდგომ მიეწოდება გადაწყვეტილების მიმღებ, ანუ აღმდგენ, ელემენტს (ორგანოს).

ცნობილია, რომ გადაწყვეტილების მიმღები ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც გადაწყვეტილებას, ანუ y გამომავალი სიგნალის მნიშვნელობას, განსაზღვრავს შესასვლელზე მიწოდებული x_1, x_2, \dots, x_n სიგნალების საფუძველზე სხვაგვარად რომ ვთქვათ, გადაწყვეტილების მიმღები ელემენტი წარმოადგენს გადამრთველ სქემას, რომელიც n ორობითი x_1, x_2, \dots, x_n არგუმენტის

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

ბინარული ფუნქციის რეალიზაციას ახდენს.

გადაწყვეტილების მიმღები ორგანოს საიმედოობა არსებითად არის დამოკიდებული მის მიერ რეალიზებული $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ფუნქციის სახეზე. ცხადია, რომ იდეალურ შემთხვევაში ასეთი ელემენტის მიერ მიღებული y გადაწყვეტილება უნდა ემთხვეოდეს x ორობითი ცვლადის მნიშვნელობას

გადაწყვეტილების მიმღებ ელემენტს, რომელიც

$$y = \operatorname{sgn} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)$$

ფუნქციას ახორციელებს, მაქორიტარული ეწოდება, თუ

$$\operatorname{sgn} z = \begin{cases} -1, & z < 0 \\ 0, & z = 0. \\ +1, & z > 0 \end{cases}$$

აქ ნულით აღნიშნულია განუსაზღვრელი (გაურკვეველი) მდგომარეობა, რაც ნიშნავს, რომ x_1, x_2, \dots, x_n ცვლადების კონკრეტული კომბინაცია არარეალიზებადია ($z = x_1 + x_2 + \dots + x_n$) ჯამში n

რიცხვი კენტია, ან კიდევ $z = 0$ შემთხვევაში გადაწყვეტილება არ მიიღება.

მაქორიტარული ელემენტის ძირითადი კომპონენტებია:

ა) ამჯამავი მოწყობილობა, რომლის გამოსასვლელიდან $z = \sum_{i=1}^n x_i$

სიგნალი იხსნება;

ბ) არაწრფივი ორპოლუსა $y = \text{sgn } z$ მახასიათებლით.

ცხადია, რომ ასეთი ელემენტი y გადაწყვეტილებას გამოიმუშავებს შესასვლელზე მიწოდებული სიგნალების მნიშვნელობებიდან უმრავლესობის პრინციპის თანახმად. ამიტომ მას ხმის დამთვლელსაც უწოდებენ. მაქორიტარული კანონი პირველად აღწერილი იყო ჯონ ფონ ნეიმანის მიერ, ხოლო დარეზერვებულ ანალოგურ სისტემებზე იგი ვ.ი. ვარშავსკიმ განავრცო. ასეთი ელემენტი გამოკვლეული იქნა სხვა ასპექტშიც, რომელსაც აქ არ ვეხებით.

მაქორიტარულ პრინციპზე მომუშავე გადაწყვეტი ელემენტით აღჭურვილი აღმდგენი ორგანოს ფუნქციონირება არ შეიძლება დამაკმაყოფილებლად ჩაითვალოს, თუ B_1, B_2, \dots, B_n ორობითი არხების q_1, q_2, \dots, q_n შეცდომის ალბათობა სხვადასხვაა. ამიტომ, აუცილებელია თითოეულ საინფორმაციო შესასვლელს მივაწოდოთ თავისი $a_i (i = \overline{1, n})$ წონა, სადაც a_i ნამდვილი რიცხვია ($-\infty < a_i < \infty$). ასეთ შემთხვევაში y გადაწყვეტილება მიიღება აწონილი შემავალი სიგნალების საფუძველზე შემდეგი თანაფარდობის საფუძველზე:

$$y = \text{sgn} \left(\sum_{i=1}^n a_i x_i - \Theta \right),$$

სადაც Θ - ელემენტის ე.წ. ზღურბლია (კვორუმი). ამიტომ ასეთი პრინციპით მომუშავე ელემენტებს ზღურბლურს უწოდებენ, თუმცა შესაძლებელია გვეწოდებინა მათთვის გადაწყვეტილების აწონილად მიმღებიც.

ადვილი შესამჩნევია, რომ მაქორიტარული გადაწყვეტილების მიმღები ელემენტი წარმოადგენს ზღურბლურ ელემენტს $a_i = 1 (i = \overline{1, n})$ წონითი კოეფიციენტებითა და $\Theta = 0$ ზღურბლით იმ პირობით, რომ B_i არხების შესასვლელზე x სიგნალის $+1$ და -1

მნიშვნელობები მიეწოდება ერთნაირი $1/2$ აპრიორული ალბათობით.

ფორმალურად დავუშვათ, რომ $\Theta \equiv a_{n+1}$, ხოლო $x_{n+1} \equiv -1$, ესე იგი B_{n+1} საინფორმაციო არხი x შემავალი სიგნალის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის მუდამ $x_{n+1} \equiv -1$ სიგნალს გამოიმუშავებს. მაშინ y გადაწყვეტილების თანაფარდობას შეიძლება შემდეგი სახე მივცეთ:

$$y = \operatorname{sgn} \left(\sum_{i=1}^{n+1} a_i x_i \right).$$

ზღურბლური ორგანოს დამახასიათებელი პარამეტრებია: შესასვლელთა n რიცხვი, ცალკეულ არხთა შეცდომების $q_i (i = \overline{1, n})$ ალბათობები და $a_i (i = \overline{1, n})$ წონები, $\Theta \equiv a_{n+1}$ ზღურბლი და აღსადგენად $+1$ სიგნალის მიწოდების q_{n+1} აპრიორული ალბათობა, აგრეთვე ამ ორგანოს მიერ შემავალი სიგნალის შეცდომის აღდგენის Q ალბათობა.

რაც შეეხება ადაპტაციას, იგი განიხილება ნეირონული აღმდგენი ორგანოს შესასვლელთა წონების მართვის პროცესად, რომლის შედეგად უნდა მოხდეს შესაბამისობის დამყარება შესასვლელთა წონებსა და შეცდომების მიმდინარე ალბათობებს შორის. ასეთი მართვის ამოცანა უფრო საიმედო შესასვლელებისათვის გადაწყვეტილების მიღებისას მეტი გავლენის უზრუნველყოფა ნაკლებად საიმედო შესასვლელებთან შედარებით.

მართვის პროცესის წარმართვის სტრატეგია განსაზღვრავს ფორმალური ნეირონის ადაპტაციის ტიპსაც. მათ კვლევას მომდევნო თავები ეთმობა.

მეორე თავი ფორმალური ნეირონის ციკლური ადაპტაცია

მეორე თავში შესწავლილია ზღურბლური ორგანოების ციკლური ადაპტაცია უკუკავშირის გარეშე და უკუკავშირით. პირველ შემთხვევაში რომელიმე არხში (ე.ი. ზღურბლური ორგანოს შესასვლელზე) შეცდომათა რიცხვი, გამოვლენილი ადაპტაციის ციკლში არხით მოსული სიგნალის მრავალჯერადი შედარების შედეგად გარედან მოწოდებულ სწორ პასუხთან, იძლევა შეცდომის ალბათობის შეფასებას ამ არხისათვის, რაც შემდეგ ხსენებული ალბათობის შესაბამისი წონის დასაყენებლად გამოიყენება. მოცემულია

კონსტრუქციული მეთოდი, რომლის საფუძველზე ხდება ადაპტაციის ციკლში საჭირო შედარებათა (დაკვირვებათა) რაოდენობის განსაზღვრა. მეორე შემთხვევაში მტკიცდება, რომ უკუკავშირანი ციკლური ადაპტაცია, რომელიც ზღურბლური ორგანოს გადაწყვეტილებასთან ცალკეული შემავალი არხის ორობითი სიგნალის შედარებით ხორციელდება, მდგრადია და ზღურბლური ორგანოს მიერ აღდგენილი სიგნალი შეიძლება გამოვიყენოთ ამ ორგანოს შესავლელთა საიმედოობისა და მათი წონების დასადგენად.

ციკლურ ადაპტაციას უკუკავშირის გარეშე შეუძლია გადამწყვეტი ორგანოს მუშაობის უზრუნველყოფა ოპტიმალურთან ახლო წონებით, თუ შედარებათა რიცხვი თითოეულ ციკლში გარკვეულ M სიდიდეზე ნაკლები არ არის, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$M = \frac{Z_{\alpha/2}^2}{4\varepsilon^2},$$

სადაც α - ერთთან საკმარისად ახლო მყოფი ალბათობაა იმისა, რომ i -ური შესასვლელის q_i ალბათობის \hat{q}_i შეფასება გადახრილია q_i -საგან არა უფრო მეტად, ვიდრე მოცემული მცირე ε სიდიდეა:

$$\Pr\{(\hat{q}_i - q_i) \leq \varepsilon\} = \alpha.$$

$Z_{\alpha/2}$ აქ წარმოადგენს სტანდარტულ ნორმალურ სტატისტიკას α ალბათობისათვის და იგი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{\alpha}{2} = \Phi_0(Z_{\alpha/2}),$$

სადაც $\Phi_0(t)$ - ლაპლასის ნორმირებული ფუნქციაა, ე.ი.

$$\Phi_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{u^2}{2}} du.$$

უკუკავშირანი ციკლური ადაპტაციის დროს ზღურბლური ელემენტის i -ური შესასვლელის X_i სიგნალის საკუთრივ ზღურბლური ორგანოს მიერ მიღებულ Y გადაწყვეტილებებისაგან განსხვავების d_i ალბათობა შემდეგ პირობას აკმაყოფილებს:

$$\left. \begin{aligned} q_i - Q \leq d_i \leq q_i + Q \\ i = \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\},$$

სადაც q_i - i -ური შესასვლელის შეცდომის ალბათობაა, ხოლო Q - აღმდგენი ორგანოს შეცდომის ალბათობას წარმოადგენს შესასვლელთა ოპტიმალური წონების პირობებში.

დამყარებულ მდგომარეობაში უკუკავშირიანი ციკლური ადაპტაციის დროს ზღურბლური ელემენტის შეცდომის ალბათობის ფარდობითი გადახრა ამ ალბათობის Q ოპტიმალური მნიშვნელობიდან არ აღემატება

$$\Xi = Q \cdot \sum_{i=1}^{n+1} \frac{1-2q_i}{2 \cdot q_i \cdot (1-q_i)}$$

სიდიდეს. როცა $Q \rightarrow 0$ და შეზღუდულია განზოგადებული (მაჰალანობისის) მანძილისათვის მაქსიმუმის მიმნიჭებელი

$$a_{im} = \left. \begin{array}{l} \frac{1-2q_i}{2 \cdot q_i \cdot (1-q_i)} \\ i = \overline{1, n+1} \end{array} \right\}$$

წონების ჯამი, შესაძლებელია თითქმის ოპტიმალური რეჟიმის უზრუნველყოფა.

მესამე თავი ფორმალური ნეირონის უწყვეტი ადაპტაცია

მესამე თავში განხილულია უწყვეტი ადაპტაცია უკუკავშირის გარეშე და უკუკავშირით უიდროუ-ჰოფის ალგორითმის საფუძველზე. პირველ შემთხვევაში მყარდება მაჰალანობისის მანძილისათვის მაქსიმუმის მიმნიჭებელი წონების პროპორციული წონები. მეორე შემთხვევაში კი აღმდგენი ორგანოს გარკვეული შესასვლელის შეცდომის ალბათობის ნაცვლად გვიხდება ზღურბლური ორგანოს მიერ მიღებულ გადაწყვეტილებასთან ამ შესასვლელზე სიგნალის შეუსაბამობის ალბათობის გამოყენება. ამიტომ დამყარებული წონების პირველ შემთხვევაში მოცემულ მნიშვნელობებიდან გადახრათა სიდიდეების შესაფასებლად გარკვეულ უტოლობებს მიმართავენ.

უწყვეტი ადაპტაციის დროს უკუკავშირის გარეშე უიდროუ-ჰოფის ალგორითმის საფუძველზე i -ური წონის

$$\Delta a_i(k) = a_i(k+1) - a_i(k)$$

შემთხვევითი ნაზრდი, რომელიც იტერაციის $(k+1)$ ნომრის მქონე ბიჯზე ხორციელდება (განისაზღვრება) მხოლოდ სხვაობით ზღურბლური ელემენტის შესასვლელებზე სიგნალების აწონილ

ჯამსა და ამ ჯამზე დადებულ m_0 შეზღუდვას შორის. ამიტომ ყოველ ბიჯზე წონათა ნამატის (ნაზრდის) აბსოლუტური სიდიდე ერთნაირი რჩება ყველა შესასვლელისათვის. დამყარებულ მდგომარეობაში ამ ნაზრდების მათემატიკური ლოდინი ნულის ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} M[\Delta a_i(k)] &= 0 \\ i &= \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\}.$$

\hat{a}_i წონები, რომელზეც ასეთი მდგომარეობა იქნება მიღწეული, განსაზღვრულია შემდეგი თანაფარდობებით:

$$\left. \begin{aligned} \hat{a}_i &= \frac{2m_0}{4 + \rho_{\max}} \cdot a_{im} \\ i &= \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\},$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} a_{im} &= \frac{1 - 2q_i}{2q_i(1 - q_i)} \\ i &= \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\}$$

- მაჰალანობისის მანძილისათვის მაქსიმუმის მიმნიჭებელი წონებია, ხოლო ρ_{\max} წარმოადგენს მაჰალანობისის მანძილის ხსენებულ მაქსიმალურ მნიშვნელობას. სახელდობრ,

$$\rho_{\max} = \sum_{j=1}^{n+1} \frac{(1 - 2q_j)^2}{q_j(1 - q_j)}.$$

უწყვეტი ადაპტაციის დროს უკუკავშირის გარეშე უნიფიცირებული წახალისებისა და ინდივიდუალური დასჯის («უწიღ») ალგორითმით i -ური წონის $\Delta a_i(k) = a_i(k+1) - a_i(k)$ ნაზრდი იტერაციის $(k+1)$ ნომრის მქონე ბიჯზე იძენს, თუ ადგილი არ აქვს შეცდომას, გარკვეულ β_k მნიშვნელობას $(1 - q_i)$ ალბათობით, ხოლო შეცდომის პირობებში იგი $(-\beta_k \cdot e^{a_i(k)})$ სიდიდის ტოლია q_i ალბათობით ამასთან ერთად $\beta_k \geq 0$, საწყისი $a_i(1)$ ($i = \overline{1, n+1}$) წონები კი ნებისმიერია.

იმისათვის, რომ დამყარდეს მდგომარეობა, რომელშიც

$$M \left[\Delta a_i(k) \right] = 0 \left\{ \begin{array}{l} i = \overline{1, n+1} \end{array} \right.$$

და თითოეულ წონას ენტროპიული კრიტერიუმით ოპტიმალური

$$\hat{a}_i = \ln \frac{1-q_i}{q_i} \left\{ \begin{array}{l} i = \overline{1, n+1} \end{array} \right.$$

მნიშვნელობა გააჩნია, საკმარისია იტერაციის $(k+1)$ ნომრის მქონე ბიჯის შესატყვისი პარამეტრი შემდეგი თანაფარდობით განვსაზღვროთ:

$$\beta_k = \frac{1}{k}.$$

ასეთი არჩევანი თანხმობაშია ბაიესის მიდგომასთან, რომელიც $\ln \frac{1-q_i}{q_i}$ წონის სტატისტიკური შეფასებისათვის შემდეგ სიდიდეს იძლევა:

$$a_i(k) = \ln \frac{k - n_i + 1}{n_i + 1},$$

სადაც n_i იმ შეცდომათა რიცხვია, რომლებიც გამოვლინდა ზღურბლური i -ური ელემენტის შესასვლელის X_i სიგნალის k -ჯერ შედარებისას გარედან მიწოდებულ სწორ პასუხთან.

პირველ მიახლოებაში უნიფიცირებული წახალისებისა და ინდივიდუალური დასჯის ალგორითმი $\ln \frac{1-q_i}{q_i}$ წონების $\ln \frac{k - n_i + 1}{n_i + 1}$ თანაფარდობით შეფასების ეკვივალენტურია იტერაციის ყოველ ბიჯზე. ამიტომ არსებობს იტერაციის k ნომრის ისეთი M მნიშვნელობა, რომლისთვისაც i -ური შესასვლელის შეცდომის q_i ალბათობის \hat{q}_i სტატისტიკური შეფასება გადაიხრება q_i სიდიდიდან არა უმეტეს მცირე ε მოცემული რიცხვით ერთთან საკმარისად ახლოს მყოფი α ალბათობით.

ვინაიდან ამ მდგომარეობის მიღწევამდე, ვიდრე $k \leq M$, ადგილი აქვს $\frac{1}{k} \geq \frac{1}{M}$ თანაფარდობას, ადაპტაციის პროცესში $\beta_k = \frac{1}{k}$ სი-

დიდის ნაცვლად წონების უფრო მცირე მუდმივი $\beta = \frac{1}{M}$ ნაზრდის გამოყენება არ დაარღვევს პროცესის კრებადობას და სწრაფვას მდგომარეობისაკენ, რომელშიც წონები ოპტიმალურია.

წონების შემთხვევითი «ხეტიალის» («ყიალის») პროცესი უწყვეტი ადაპტაციის დროს უნიფიცირებული წახალისებისა და ინდივიდუალური დასჯის ალგორითმის საფუძველზე ზღურბლური ელემენტის შეცდომის Q ალბათობის შესაბამის სტატისტიკურ განაწილებას განაპირობებს. ხსენებული ალბათობა შეიძლება Q^* შემთხვევით სიდიდედ განვიხილოთ \hat{Q} რეალიზაციებით. იგი $a_i (i = \overline{1, n+1})$ შემთხვევითი არგუმენტებისა და საიმედოობის უცვლელი $q_i (i = \overline{1, n+1})$ პარამეტრების შემთხვევით ფუნქციას წარმოადგენს.

პროგრამა, რომელიც ადაპტაციის პროცესში ზღურბლური ორგანოს ქცევის კომპიუტერულ მოდელირებას ახორციელებს, საშუალებას იძლევა:

- ვიპოვოთ Q^* შემთხვევითი სიდიდის განაწილების $f_Q(\hat{Q})$ ჰისტოგრამა $q_i (i = \overline{1, n+1})$ სიდიდეთა მოცემული მნიშვნელობებისათვის და ასაწყობი $a_i (i = \overline{1, n+1})$ წონების «ხეტიალის» («ყიალის») მოცემული კანონებისათვის;
- განვსაზღვროთ $P_0 = \Pr\{Q^* < Q_0\}$ ალბათობა იმისა, რომ Q^* შემთხვევითი სიდიდე ნაკლებია მაქსიმალურად დასაშვებ Q_0 მნიშვნელობაზე;
- შევისწავლოთ β ნაზრდის (ნამატის) სიდიდის გავლენა Q^* შემთხვევითი ცვლადის ალბათური განაწილების ხასიათზე.

მეოთხე თავი ფორმალური ნეირონის სარელეო ადაპტაცია

მეოთხე თავში მოცემულია მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედის სინთეზის ამოცანა. ეს წრედი უზრუნველყოფს აღმდგენი ორგანოს სარელეო ადაპტაციის პროცესის მდგრადობას, როცა უკუკავშირი განხორციელებული არ არის. ამასთან ერთად ნაპოვნია ზღურბლური ორგანოს შემავალი არხების კრიტიკული მდგომარეობების სენსორთა დუბლირების სტრუქტურე-

ბი, რომლებითაც მოცემულ პირობებში მტყუნების ალბათობათა მინიმალური მნიშვნელობები მიიღება.

ზღურბლური ორგანოს სარელო ადაპტაციისას უკუკავშირის გარეშე მისი შესასვლელების წონები შემდეგი თანაფარდობებით განისაზღვრება:

$$a_i = \text{sgn}(q_0 - q_i),$$

სადაც q_0 - შესასვლელთა შეცდომის ალბათობის მაქსიმალურად დასაშვები მნიშვნელობაა, რომელიც მათ კრიტიკულ მდგომარეობას შეესაბამება. ამ სტრატეგიის განსახორციელებლად შესაძლებელია q_i -ზე მონოტონურად დამოკიდებული ნებისმიერი F_0 ფუნქციის გამოთვლა, თუ a_i წონების შესაბამისობაში მოყვანა შეცდომათა q_i ალბათობებთან შემდეგი ფორმულებით განხორციელდება:

$$a_i = \text{sgn} \left[F_0(q_0) - F_0(q_i) \right] \Bigg|_{i=1, n}$$

$F_0(q_i)$ მონოტონური დამოკიდებულების კონკრეტული სახის მისაღებად, ე.ი. იმ სიგნალის დასადგენად, რომელმაც a_i წონების დაყენების პროცესი უნდა მართოს, ჩვენ ვსარგებლობთ მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედით. ამიტომ სარალეო ადაპტაციის პროცესის მდგრადობის უზრუნველყოფის საწყისი ამოცანა შესაბამისი წრედის სინთეზის პრობლემამდე დაიყვანება. უკანასკნელი ამოცანა კი მისი g იმპულსური მახასიათებლის განსაზღვრას გულისხმობს ისე, რომ

$$I = \int_a^b \Phi(z, g) dz$$

ინტეგრალმა მიიღოს მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\left. \begin{aligned} \int_a^b \Phi_1(z, g) dz &= \beta_1 \\ \int_a^b \Phi_2(z, g) dz &= \beta_2 \end{aligned} \right\}$$

შეზღუდვების პირობებში, სადაც β_1 და β_2 - მოცემული მუდმივი სიდიდეებია.

ამ ამოცანის ამონახსნს შემდეგი სახე გააჩნია:

$$g(k) = \begin{cases} \frac{A_0}{T_s} \cdot e^{-\frac{k}{T_s}}, & \text{ს e } k \geq 0 \\ 0, & \text{ს e } k < 0 \end{cases},$$

სადაც მთელი რიცხვა $k = 0, 1, 2, \dots$ მნიშვნელობები დროის სატაქტო მომენტებს შეესაბამება, ამრიგად, $g(k)$ დაბალ სიხშირეთა ფილტრის იმპულსურ მახასიათებელს წარმოადგენს.

მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედის გამოსასვლელიდან მოხსნილი სიგნალის მათემატიკური ლოდინი საკმარისად დაშორებულ დროის სატაქტო k მომენტში გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$F_0(q_i) = q_i \cdot \frac{A_0}{T_s} \cdot \frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{1}{T_s}\right)}.$$

თუ ამასთან ერთად $A_0 = 1$, ხოლო ფილტრის დროის მუდმივა $T_s \rightarrow \infty$, მაშინ

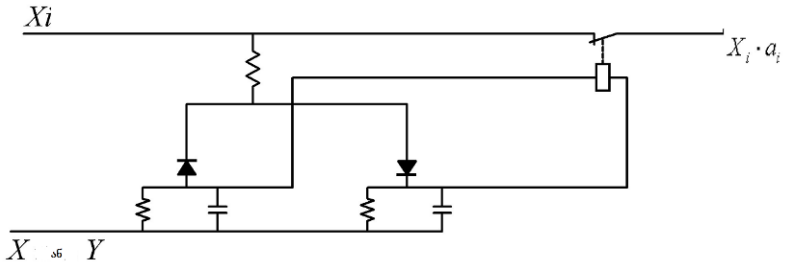
$$F_0(q_i) \rightarrow q_i.$$

მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედის გამოსასვლელიდან მოხსნილი სიგნალის დისპერსია კი შემდეგი სახით ჩაიწერება:

$$D[F_0(q_i)] = q_i \cdot (1 - q_i) \cdot \left(\frac{A_0}{T_s}\right)^2 \cdot \frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{2}{T_s}\right)}$$

და თუ აქ $T_s \rightarrow \infty$, მაშინ $D[F_0(q_i)] \rightarrow 0$.

დასაბუთებულია i -ური შესასვლელის «აწონვის» ერთ-ერთი შესაძლო სქემა სარელეო ადაპტაციის მეთოდში, რომელიც ხორციელდება მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედის საშუალებით, რომელიც ქვემოთ ნახაზზეა ნაჩვენები.



ამ სქემაში გამოიყენება RC -წრედზე აგებული მეხსიერება. «ხმათა აწონვა» ხდება რელეს მეშვეობით, რომლის ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტების განრთვა ხდება, როცა ძაბვა ამ რელეს მომჭერებზე აღემატება ფიქსირებულ ზღურბლს. ეს ზღურბლი შეცდომის q_0 კრიტიკული ალბათობის სიდიდის პროპორციულია. «წონები» ბინარულ სიდიდეებს წარმოადგენს.

შესაძლებელია ისეთი შემთხვევის წარმოდგენა, როცა ფორმალური ნეირონის შესასვლელთა წინასწარ განსაზღვრული კრიტიკული მდგომარეობის გაჩენა გარკვეული a_0 ალბათობით ხასიათდება. სენსორს, რომელმაც ეს მდგომარეობა უნდა გამოავლინოს და გათიშოს არხი ნეირონისაგან, შეუძლია q_{01} ალბათობით არ გათიშოს ორობითი ინფორმაციის მიწოდების ხაზი კრიტიკული მდგომარეობის პირობებში და q_{02} ალბათობით გათიშოს ეს არხი მაშინ, როცა კრიტიკული მდგომარეობა არ არსებობს.

სარელეო ადაპტაციაში გამოსაყენებლად მიღებულია ზუსტი ამონახსნი ნეირონის შემავალი ბინარული არხების კრიტიკული მდგომარეობის საინდიკაციო სენსორთა საიმედოობის ასამაღლებლად ოპტიმალური დუბლირების გზით.

დასკვნა. ნაშრომში შეისწავლება ფორმალური ნეირონის ადაპტაციის მეთოდები ამ ნეირონის გამოყენებისას ბინარული სიგნალის აღმდგენად.

იგულისხმება, რომ ფორმალური ნეირონის შესასვლელებს მიეწოდება სხვადასხვა საიმედოობის არხით ერთისა და იმავე ბინარული სიგნალის სხვადასხვა ვერსია და ნეირონით უნდა მოხდეს სწორი საწყისი სიგნალის აღდგენა ამ ვერსიათა საფუძველზე.

ამის განსახორციელებლად აუცილებელი ხდება ფორმალური ნეირონის ადაპტაცია. იგი ინტერპრეტირდება როგორც ნეირონის

შესასვლელების წონათა მართვის პროცესი ამ წონების მოსაყვანად შესაბამისობაში შემომავალი არხების შეცდომათა მიმდინარე ალბათობებთან.

ასეთი მართვის ამოცანას წარმოადგენს უფრო საიმედო შესასვლელებისათვის მეტი გავლენის უზრუნველყოფა მისაღებ გადაწყვეტილებაზე (ე.ი. სწორი სიგნალის აღდგენაზე) ნაკლებად საიმედო შესასვლელებთან შედარებით. ამასთან ერთად ადაპტაცია შეიძლება სხვადასხვა მეთოდით, სხვადასხვა ალგორითმით ხორციელდებოდეს.

დისერტაციაში შესწავლილია საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულია გამომთვლელი და სატელეკომუნიკაციო ორობითი არხების საიმედოობის უზრუნველყოფასთან ადაპტირებადი ფორმალურ ნეირონის საშუალებით.

სახელდობრ:

* სახეთა გამოცნობის თეორიის საფუძველზე დადგენილია ზღურბლური ორგანოს შეცდომის ალბათობის ზუსტი მნიშვნელობის გამომთვლის ალგორითმი, რომლის საფუძველზე შედგენილია შესაბამისი კომპიუტერული პროგრამა;

* მოცემულია კონსტრუქციული მეთოდი, რომლითაც ციკლური ადაპტაციის პირობებში (უკუკავშირის გამოუყენებლად) ხდება გარკვეული არხის ორობითი სიგნალის გარედან მიწოდებულ სწორ პასუხთან შედარებათა რაოდენობის დადგენა ამ არხის შეცდომის ალბათობის შესაფასებლად და სათანადო წონის დასაყენებლად;

* დამტკიცებულია, რომ უკუკავშირიანი ციკლური ადაპტაცია, რომელიც არხის ორობითი სიგნალის გამომავალ გადაწყვეტილებასთან შედარებით ხორციელდება, მდგრადია და სიგნალი ზღურბლური ორგანოს გამოსასვლელზე შეიძლება გამოვიყენოთ მისი შესასვლელების საიმედოობის დასადგენად და შესაბამისი წონების დასაყენებლად;

* დამტკიცებულია, რომ უიდროუ-ჰოფის ალგორითმით განხორციელებული უწყვეტი ადაპტაციის შემთხვევაში მყარდება მაქსიმალური მანძილისათვის მაქსიმუმის მიმნიჭებელ სიდიდეთა პროპორციული წონები;

* დამტკიცებულია, რომ უნიფიცირებული წახალისებისა და ინდივიდუალური დასჯის ალგორითმით განხორციელებული უწყვეტი

ყვეტი ადაპტაციის შემთხვევაში (უკუკავშირის გამოუყენებლად) მყარდება ენტროპიული მგრძობელობის კრიტერიუმთან შეთანხმებული წონები;

* უნიფიცირებული წახალისებისა და ინდივიდუალური დასჯის ალგორითმით განხორციელებული უკუკავშირიანი უწყვეტი ადაპტაციის პირობებში შესწავლილია მანქანური ექსპერიმენტით წონათა შემთხვევითი «ხეტიალის» («ყიალის») პროცესი, რომელიც ზღურბლური ორგანოს შეცდომის ალბათობის შესაბამის სტატისტიკურ განაწილებას განაპირობებს;

* გადაწყვეტილია ზღურბლური ორგანოს სარელო ადაპტაციის პროცესის მდგრადობის უზრუნველყოფი მუდმივპარამეტრიანი წრფივი დისკრეტული წრედის სინთეზის ამოცანა და ნაჩვენებია მისი დასმის კორექტულობა, როცა ადაპტაციის სტრატეგია უკუკავშირს არ იყენებს;

* როცა ზღურბლური ორგანო მხოლოდ იმ არხის ადაპტაციას ახორციელებს, რომელიც კრიტიკულ მდგომარეობაში არ იმყოფება, ნაპოვნია ზღურბლური ორგანოს შემავალ არხთა კრიტიკული მდგომარეობის სენსორთა დუბლირების სტრუქტურები, რომლებსაც მოცემულ პირობებში მტყუნებათა მინიმალური ალბათობები გააჩნია.

პუბლიკაციები:

Published Works of Maia Gogishvili:

1. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogishvili M.A.* Formal Neuron Adaptation using the Widrow-Hoff Algorithm (in Georgian), Georgian Engineering News (GEN), ISSN 1502-0287, Tbilisi, 2013, vol. 67, № 3, p. 16-22

ფრანგიშვილი ა.ი., ნამიჩეიშვილი ო.მ., გოგიაშვილი მ.ა. ფორმალური ნეირონის ადაპტაცია უიდროუ-ჰოფის ალგორითმით, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, ISSN 1502-0287, თბილისი, 2013, ტ. 68, № 3, გვ. 16-22

2. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogishvili M.A.* Two Methods of Obtaining a Minimal Upper Estimate for the Error Probability of the Restoring Formal Neuron (in Georgian), Georgian Engineering News (GEN), ISSN 1502-0287, Tbilisi, 2013, vol. 68, № 4, p. 11-18

ფრანგიშვილი ა.ი., ნამიჩეიშვილი ო.მ., გოგიაშვილი მ.ა.
აღმდგენი ფორმალური ნეირონის შეცდომის ალბათობის
მინიმალური ზედა შეფასების მიღება ორი მეთოდით,
საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, ISSN 1502-0287, თბილისი,
2013, ტ. 68, № 4, გვ. 11-18

3. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogiashvili M.A.* Adaptation Models of Formal Neuron (in Russian), Georgian Electronic Scientific Journals (GESJ): Computer Sciences and Telecommunications, Publishing House «Technical University», Electronic Media Department, ISSN 1512-1232, Tbilisi, 2013, № 3 (39), p. 118-152:
<http://gesj.internet-academy.org.ge/download.php?id=2200.pdf>

Прангишвили А.И., Намичейшвили О.М., Гогиашвили М.А.
Модели адаптации формального нейрона, Грузинские Электрон-
ные Научные Журналы (ГЭНЖ) : Компьютерные науки и теле-
коммуникации, Издательский дом «Технический университет»,
редакция электронной меди, ISSN 1512-1232, Тбилиси, 2013,
№ 3 (39), с. 118-152:

<http://gesj.internet-academy.org.ge/download.php?id=2200.pdf>

4. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogiashvili M.A.* Two Methods of Obtaining a Minimal Upper Estimate for the Error Probability of the Restoring Formal Neuron, RECENT ADVANCES in MATHEMATICAL METHODS, MATHEMATICAL MODELS and SIMULATION in SCIENCE and ENGINEERING, Proceedings of the 2014 International Conference on Mathematical Methods, Mathematical Models and Simulation in Science and Engineering (MMSSE 2014), Interlaken, Switzerland, February 22-24, 2014, p. 37-41.
5. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogiashvili M.A.* Two Methods of Obtaining a Minimal Upper Estimate for the Error Probability of the Restoring Formal Neuron, International Journal of Engineering & Technical Research - IJETR, Volume 02, Issue 02, February 2014, p. 64-68:
http://www.erpublication.org/IJETR/vol_issue.php?abc1=20



**ST. ANDREW THE FIRST-CALLED GEORGIAN
UNIVERSITY OF THE PATRIARCHATE OF
GEORGIA**

**School (faculty) of Information Science,
Mathematics and Natural Sciences**

Maia Gogiashvili

Adaptation Models of the Formal Neuron

Information Science – 0401

Abstract

**of the Dissertation Submitted for the
Academic Degree of
Doctor of Information Science**

Tbilisi
2014

This doctoral dissertation has been prepared by Maia Gogiashvili at the faculty of information science, mathematics and natural sciences of St. Andrew the First Called Georgian University of the Patriarchate of Georgia.

Scientific adviser: **Oleg Namicheishvili**, Doctor of technical sciences, Professor

Official reviewers: **Omar Glonti**, Doctor of physical and mathematical sciences, Professor
Zurab Kochladze, Candidate of technical sciences, PhD, Professor
Paata Tsereteli, Candidate of physical and mathematical sciences, PhD, Professor

The defence of the dissertation will be held at 15 p.m. on 21 July, 2014 at the meeting of the Dissertation Board of the faculty of information science, mathematics and natural sciences of St. Andrew the First Called Georgian University of the Patriarchate of Georgia.

Address: Conference Hall, 4th Floor, Building I, Chavchavadze Ave. 53a, Tbilisi 0162.

The dissertation is available at the library of St Andrew the First Called Georgian University.

The thesis was sent on 16 June 2014.

Secretary of the dissertation board
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor

Tamaz Tevzadze

Significance of the research topic. The scientific significance of the results obtained in the dissertation consists in that they in total can be qualified as contributing to the progress in the sphere of computational and telecommunication facilities of the new scientific development, which the adaptive formal neuron uses to reserve binary channels and ensure an optimal reliability of these facilities.

The goal of the research. The goal of the dissertation is the development of the theory of adaptive neuron reservation, elaboration of algorithms and programs for modeling methods of adaptation of the restoring neuron used in digital systems.

Proceeding from the goal of the dissertation, it pursues the following tasks:

- development of new mathematical models for computing optimal weights of separate inputs of the restoring formal neuron, and establishment of a link between the weights defined by means of these methods;

- development of a constructive method for defining the number of comparisons (observations) which are required in cyclic adaptation without feedback;

- investigation of the stability of cyclic adaptation with feedback;

- establishment of the rules of continuous adaptation which is realized by the Widrow-Hoff algorithm;

- establishment of peculiar properties of continuous adaptation which is realized by the carrot and stick technique and, speaking more exactly, by the algorithm of unified incentive and individual penalty;

- development of a method of relay adaptation of the restoring formal neuron and definition of an impulse function for a linear discrete chain with constant coefficients, which ensures the stability of such adaptation;

- synthesis of a linear discrete chain with constant coefficients, which has an impulse characteristic that ensures the stability of the relay adaptation process of the restoring neuron;

- an optimal duplication of transducers which during relay adaptation detect when the input channels reach the restoring neuron of a critical state.

The main results of the dissertation. The major results obtained in the dissertation include:

- restoration of binary signals by the adaptive formal neuron;
- methods of selection (assignment) of weights of input channels of the restoring formal neuron and comparative analysis of these methods;
- cyclic adaptation of the formal neuron in the restoring system;
- continuous adaptation of the formal neuron in the restoring system;
- relay adaptation of the formal neuron in the restoring system.

Scientific novelty of the research. The scientific novelty of the results obtained in the dissertation is evident from both theoretical and applied standpoints. This novelty is due to the development of the unified approach to solving the problem of correct (exact) restoration of binary signals in digital systems by using the adaptive formal neuron and by studying the methods of machine-aided modeling of neuron adaptation algorithms.

Theoretical value of the research. The problem of optimal specification of weights for the inputs of the restoring formal neuron is considered using the entropy approach and the generalized (Mahalanobis) distance. It is analytically established that there exists a connection between the weights defined by these two methods.

For cyclic adaptation without feedback, a constructive method is proposed for selecting a number of comparisons of the neuron signal with the known correct (i.e. true) response in order to determine a probability of an error of this restoring neuron input;

The stability of cyclic adaptation with feedback is proved; this adaptation is realized by comparison of the binary signal read from some

input with the decision made by a formal neuron (i.e. by the signal restored at the neuron output).

For the sum of weights which deliver a maximum to the generalized (Mahalanobis) distance it is proved that it is necessary to restrict the absolute value of this sum so that during cyclic adaptation with feedback a deviation of error probability of the formal neuron from an optimal value would not exceed the admissible value.

It is proved that when adaptation is realized by the Widrow-Hoff strategy of continuous increment of weights and it is assumed that the sum of weights is restricted by a prescribed number, the restoring neuron system without feedback establishes such weight values that deliver a maximum to the generalized (Mahalanobis) distance.

It is proved that for continuous adaptation with feedback by the Widrow-Hoff algorithm it is necessary to take into consideration certain inequalities in order to estimate a deviation of the steady-state weights from those values which are inherent in the process without feedback.

A method is proposed for continuous adaptation of the formal neuron by the unified incentive and individual penalty algorithm, i.e. by the specific stick and carrot algorithm.

It is proved that for adaptation of the restoring formal neuron without feedback by the unified incentive and individual penalty algorithm, such weights are established that are consistent with the entropic sensitivity criterion.

For adaptation by the unified incentive and individual penalty strategy, the process of “random walk” of input weights of the adaptive restoring neuron is studied.

The solution is obtained for the problem of synthesis of a linear discrete chain with constant parameters (i.e. the problem of finding such an impulse characteristic of a linear discrete chain with constant parameters). Such a chain provides the stability of the relay adaptation process of a restoring neuron without using feedback.

The solution is obtained for the problem of optimal duplication of a sensor of critical state of the neuron input. The sensor is used for restoration of a binary signal.

The practical value of the research. Algorithms and software are prepared for modeling various strategies of adaptation of the restoring formal neuron.

For relay adaptation without feedback, a linear discrete chain with constant parameters is synthesized and the impulse characteristic of the chain is studied.

Research methodology. The research methodology is completely adequate and meets the requirements of the dissertation. In particular the analysis of redundant information is carried out in terms of the statistical theory of decision-making, and also by using the entropic approach and minimization of the generalized (Mahalanobis) distance.

Since it is assumed that error occurrence processes in binary input channels are stationary and errors are independent, the solution at the restoring neuron output is the function of a sum of independent random variables. This sum is the composition of individual independent random values and its properties are established using the theory of composition of random variables.

In addition to the above-mentioned methods, extensive use is made of the theory of pattern recognition and the methods of a posteriori analysis.

Finally, the basic results concerning the behavior of the adaptive restoring formal neuron employ the Monte-Carlo method and distribution theory.

Reliability of the results. The reliability of the basic scientific conclusions and results is guaranteed by the following facts.

All the results are obtained by the unified approach which is based on the well-justified methods of solution of problems of reliability theory.

Theoretical conclusions are in full accordance with data of computerized experiments.

Comparative analysis of the solutions obtained by various methods and various authors is also carried out for problems similar to the problems considered in the dissertation.

Structure and size of the dissertation. The structure of the dissertation is coordinated with the problems investigated therein and the objectives of the research.

The dissertation consists of

the introduction containing a general description of the research, the formulation of scientific statements to be defended and a survey of the works on the topic of the research;

four chapters containing the discussion,

the conclusion summarizing the most important results;

the list of references;

mathematical and software supplements.

The dissertation size is 138 pages. It has 19 figures on 18 pages, 8 tables on 6 pages, the list of references includes 184 titles on 18 pages and 2 supplements on 9 pages.

The main content of the dissertation. The theoretical and practical significance of the subject of the dissertation is substantiated in the Introduction, where an account of the current state in the sphere of methods of adaptation of the restoring formal neuron is presented, a detailed survey of the literature on the topic of the dissertation is given, the objectives of the research are formulated, the dissertation structure is briefly described.

The remaining chapters of the dissertation deal with the subject of adaptation of the decision-making formal neuron, i.e. with the subject of control of its weights so as to make them match the probabilities of errors at the inputs. The adaptation character depends to a considerable extent on a strategy of adjustment of weights which can be performed cyclically after a fixed number of comparisons as well as at each clock instant of time by an appropriate weight increment. Moreover, the adjustment may take place at random moments of time as soon as the inputs reach the restoring neuron of some critical state.

Another important parameter is feedback. If feedback is present in the restoring neuron, then the error reveals itself because the signal X_i at the i -th input does not match the solution Y made at the output. In the absence of feedback, control is effected by the mismatch with the known correct (i.e. true) response. The use of adaptation schemes without feedback is confined to problems of the initial adjustment of weights and their periodic (scheduled) or random setting by means of testing programs.

The investigation of the above-mentioned types of adaptation of the threshold element leads to the following basic results.

I. Cyclic adaptation without feedback ensures the performance of the decision-making neuron with weights which are close to optimal ones if the number of comparisons in each cycle is not smaller than some value M defined by the relation

$$M = \frac{Z_{\alpha/2}^2}{4\varepsilon^2},$$

where α is the probability chosen sufficiently close to unity, that the estimate \hat{q}_i of probability q_i of the error of the i -th input deviates from q_i by a given small value ε at most:

$$\Pr\{(\hat{q}_i - q_i) \leq \varepsilon\} = \alpha.$$

$Z_{\alpha/2}$ is a standard normal statistic for the probability α defined by the condition

$$\frac{\alpha}{2} = \Phi_0(Z_{\alpha/2}),$$

where $\Phi_0(t)$ is the normed Laplace function, i.e.

$$\Phi_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{u^2}{2}} du.$$

II. For cyclic adaptation with feedback, the probability d_i of deviation of the error signal X_i at the i -th input of the restoring neuron from the solution Y at its output satisfies the condition

$$\left. \begin{aligned} q_i - Q \leq d_i \leq q_i + Q \\ i = \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\},$$

where q_i is the error probability of the i -th input, and Q is the error probability of the restoring formal neuron for optimal weights of the neuron inputs.

III. From the above reasoning it follows that for cyclic adaptation with feedback in the steady state, a relative deviation of the error probability of the restoring neuron from an optimal value of Q does not exceed the value

$$\Xi = Q \cdot \sum_{i=1}^{n+1} \frac{1-2q_i}{2 \cdot q_i \cdot (1-q_i)}.$$

A regime close to an optimal one can be provided when $Q \rightarrow 0$ and the sum of weights

$$\left. \begin{aligned} a_{im} = \frac{1-2q_i}{2 \cdot q_i \cdot (1-q_i)} \\ i = \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\}$$

assigning a maximum to the generalized (Mahalanobis) distance is bounded,

IY. For continuous adaptation without feedback by the Widrow-Hoff algorithm, a random increment value of the i -th weight

$$\Delta a_i(k) = a_i(k+1) - a_i(k)$$

at the $(k+1)$ -th iteration step is defined exclusively by a difference of the weighted sum of signals at the inputs of the restoring neuron with restriction m_0 imposed on the value of this sum. Therefore, at each step the absolute value of the increment of weights is one and the same for all inputs. In the stationary state, the mathematical expectations of these increments are equal to zero:

$$\left. \begin{aligned} M[\Delta a_i(k)] &= 0 \\ i &= \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\}.$$

The weights \hat{a}_i for which this state is achieved satisfy the relations

$$\left. \begin{aligned} \hat{a}_i &= \frac{2m_0}{4 + \rho_{\max}} \cdot a_{im} \\ i &= \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\}$$

where

$$\left. \begin{aligned} a_{im} &= \frac{1 - 2q_i}{2q_i(1 - q_i)} \\ i &= \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\}$$

are the weights delivering a maximum to the Mahalanobis distance ρ and ρ_{\max} is the above-mentioned maximal value of the Mahalanobis distance:

$$\rho_{\max} = \sum_{j=1}^{n+1} \frac{(1 - 2q_j)^2}{q_j(1 - q_j)}.$$

The functioning with such weights is recognized as nearly optimal.

Y. For continuous adaptation without feedback by the unified incentive and individual penalty (UIIP) algorithm, in the absence of the error the weight increment $\Delta a_i(k) = a_i(k+1) - a_i(k)$ of the i -th input, which occurs at the $(k+1)$ -th iteration step, takes some value β_k with probability $(1-q_i)$, and in the presence of the error it takes the value $(-\beta_k \cdot e^{a_i(k)})$ with probability q_i , where $\beta_k \geq 0$, and the initial weights $a_i(1)$ ($i = \overline{1, n+1}$) are arbitrary.

YI. A sufficient condition for establishing the state, for which

$$\left. \begin{aligned} M[\Delta a_i(k)] &= 0 \\ i &= \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\}$$

and the weights have optimal values

$$\left. \begin{aligned} \hat{a}_i &= \ln \frac{1-q_i}{q_i} \\ i &= \overline{1, n+1} \end{aligned} \right\}$$

is the choice of a parameter β_k that matches the $(k+1)$ -th iteration step by the relation

$$\beta_k = \frac{1}{k}$$

VII. This choice agrees with the Bayes approach, which for the statistical estimation of the weight $\ln \frac{1-q_i}{q_i}$ yields the value

$$a_i(k) = \ln \frac{k - n_i + 1}{n_i + 1}$$

where n_i is the number of errors observed for k comparisons of the signal X_i at the i -th input of the restoring neuron with the known correct response.

YIII. By virtue of the relation

$$\ln \frac{k - n_i + 1}{n_i + 1}$$

the UIIP algorithm in the first approximation is equivalent to the estimation of weights $\ln \frac{1 - q_i}{q_i}$ at each iteration step. Therefore there exists the above-mentioned value M of the number of k iterations, for which the statistical estimate \hat{q}_i of error probability q_i of the i -th input deviates from the value q_i by the prescribed small number ε at most, with probability α sufficiently close to unity.

Since after this state is reached, the relation $\frac{1}{k} \geq \frac{1}{M}$ holds for $k \leq M$, the replacement of $\beta_k = \frac{1}{k}$ by a smaller constant weight increment $\beta = \frac{1}{M}$ cannot violate the convergence of the process to the state with optimal weights.

IX. For continuous adaptation by the unified incentive and individual penalty algorithm, the process of “random walk” of weights provides an appropriate statistical distribution of the error probability Q of the restoring neuron. This probability can be regarded as a random

value Q^* with realizations \hat{Q} , which is the function of random arguments $a_i (i = \overline{1, n+1})$ and fixed reliability parameters $q_i (i = \overline{1, n+1})$.

The program developed for computer simulation of the restoring neuron behavior in the course of adaptation is able

- to find the histogram $f_Q(\hat{Q})$ of a distribution of a random value Q^* for the given values $q_i (i = \overline{1, n+1})$ and «random walk» rules of the adjusted weights $a_i (i = \overline{1, n+1})$;
- to determine the probability $P_0 = \Pr\{Q^* < Q_0\}$ that Q^* is smaller than some maximal admissible value Q_0 ;
- to study the influence of a value of the increment β on the character of the probabilistic distribution of the random variable Q^* .

X. For relay adaptation of the restoring formal neuron without feedback, the weights of it inputs are given by the relation

$$a_i = \text{sgn}(q_0 - q_i),$$

where q_0 is a maximum admissible probability of an error of the inputs which corresponds to their critical state. To realize this strategy, any function F_0 that monotonously depends on q_i can be calculated by making the weights a_i match the probabilities of errors q_i by the formulas

$$a_i = \text{sgn} \left[F_0(q_0) - F_0(q_i) \right] \left. \vphantom{a_i} \right\}_{i = \overline{1, n}}.$$

For a concrete realization of the monotone dependence $F_0(q_i)$, i.e. of the signal controlling the setting process of the weight a_i , it is proposed to use a linear discrete chain with constant parameters (LDCCP). In this case, the initial problem of providing the stability of the relay adaptation process reduces to the problem of synthesis of the corresponding LDCCP, i.e. to the problem of finding an impulse characteristic g of the LDCCP as a function z . For g , the integral

$$I = \int_a^b \Phi(z, g) dz$$

takes a maximal value under the restrictions

$$\left. \begin{aligned} \int_a^b \Phi_1(z, g) dz &= \beta_1 \\ \int_a^b \Phi_2(z, g) dz &= \beta_2 \end{aligned} \right\}$$

where β_1 and β_2 the known constants.

XI. A solution of the above-formulated problem has the form:

$$g(k) = \begin{cases} \frac{A_0}{T_s} \cdot e^{-\frac{k}{T_s}}, & \text{if } k \geq 0 \\ 0, & \text{if } k < 0 \end{cases},$$

where the integer values $k=0, 1, 2, \dots$ meet clock moments of time. Therefore $g(k)$ is an impulse characteristic of the low-frequency filter.

The mathematical expectation of the LDCCP output signal at a sufficiently remote clock moment of time k is defined by the relation:

$$F_0(q_i) = q_i \cdot \frac{A_0}{T_s} \cdot \frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{1}{T_s}\right)}.$$

If, simultaneously, $A_0 = 1$, and the filter time constant $T_s \rightarrow \infty$, then

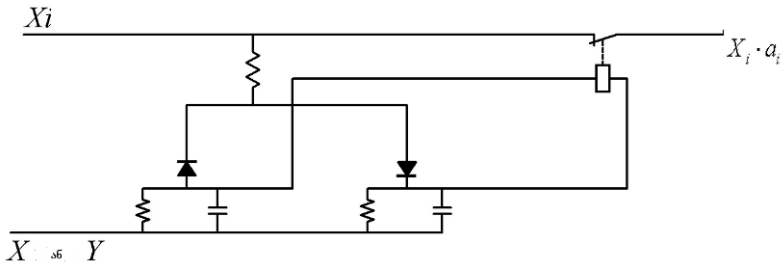
$$F_0(q_i) \rightarrow q_i.$$

The dispersion of the LDCCP output signal is found by the formula

$$D[F_0(q_i)] = q_i \cdot (1 - q_i) \cdot \left(\frac{A_0}{T_s}\right)^2 \cdot \frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{2}{T_s}\right)}$$

and if $T_s \rightarrow \infty$, then $D[F_0(q_i)] \rightarrow 0$.

XII. For the «weighing» of the i -th input of the restoring neuron in the case of application of the method of relay adaptation of the neuron, substantiation is given for one of possible schemes which is constructed on a linear discrete chain with constant parameters.



In this scheme, an RC -chain is used as a memory. Votes are «weighed» by means of a relay, the normally closed contacts of which break when the voltage at relay winding terminals exceeds the preliminarily specified limiting value. This limiting value is proportional to the critical value of an admissible probability of error of the neuron inputs. In the case of relay adaptation, «weights» are binary, i.e. they are expressed by logical zero and logical unity.

XIII. To provide the reliability of relay adaptation, an exact solution is obtained for the problem of optimal duplication of the sensor which indicates when the neuron input has attained the critical value of error probability.

Conclusions. In the dissertation, the methods of adaptation of the formal neuron are investigated when the latter is used as a device of binary signal restoration.

It is supposed that various versions of one and the same binary signal are delivered to the formal neuron inputs and the neuron must restore the correct (i.e. true) value of the original signal with the aid of these versions.

In order that this function could be realized, adaptation of the formal neuron is needed. In this dissertation, adaptation is interpreted as the process of control of neuron input weights. The aim of the control is to make these weights match the current values of error probabilities of neuron inputs.

Adaptation makes inputs of higher reliability produce a greater influence on the solution made by the neuron (i.e. on the true signal value restored by the neuron) as compared with less reliable inputs.

In the dissertation, problems are studied, which are related to the application of the adaptive restoring neuron with the purpose of making digital computation and telecommunication systems highly reliable. In particular:

- based on the pattern recognition theory, the algorithm of calculation of an exact value of restoring neuron error probability is developed and realized on a computer;

- a constructive method is proposed for choosing (such a choice is necessary in the case of cyclic adaptation without feedback) a number of comparisons of the signal produced by some input with the known correct response. This makes it possible to estimate the error probability at that input and to use this probability in the sequel to establish an appropriate weight;

- it is proved that cyclic adaptation with feedback fulfilled by comparing a binary signal at the neuron input with the neuron output solution is stable and the signal at restoring neuron output can be used to determine whether the neuron inputs are reliable and to establish appropriate weight;

- it is proved that in the case of continuous adaptation without feedback by the Widrow-Hoff algorithm, weights are established, which

are proportional to the weights assigning a maximum to the generalized (Mahalanobis) distance;

- it is proved that in the case of continuous adaptation without feedback carried out by the unified incentive and individual penalty (UIIP) algorithm, weights are established, which are consistent with the entropy sensitivity criterion;

- for continuous adaptation with feedback by the UIIP algorithm, the “random walk” process of weights is studied in machine experiments. This process is used to obtain the respective statistical error distribution of the restoring formal neuron;

- a solution is obtained for the problem of synthesis of a linear discrete chain with constant parameters, which provides the stability of the relay adaptation process of the restoring neuron without feedback. It is shown that the formulation of the problem is well-posed;

- for relay adaptation of the restoring formal neuron, optimal duplication structures of sensors of a critical state of the neuron’s inputs are found. In the considered conditions, such structures are capable of providing a minimal probability of error in critical state detection.

პუბლიკაციები:

Published Works of Maia Gogiasvili:

1. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogiasvili M.A.* Formal Neuron Adaptation using the Widrow-Hoff Algorithm (in Georgian), Georgian Engineering News (GEN), ISSN 1502-0287, Tbilisi, 2013, vol. 67, № 3, p. 16-22

ფრანგიშვილი ა.ი., ნამიჩეიშვილი ო.მ., გოგიაშვილი მ.ა. ფორმალური ნეირონის ადაპტაცია უიდროუ-ჰოფის ალგორითმით, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, ISSN 1502-0287, თბილისი, 2013, ტ. 68, № 3, გვ. 16-22

2. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogiasvili M.A.* Two Methods of Obtaining a Minimal Upper Estimate for the Error Probability of the Restoring Formal Neuron (in Georgian), Georgian Engineering News (GEN), ISSN 1502-0287, Tbilisi, 2013, vol. 68, № 4, p. 11-18

ფრანგიშვილი ა.ი., ნამიჩეიშვილი ო.მ., გოგიაშვილი მ.ა. აღმდგენი ფორმალური ნეირონის შეცდომის ალბათობის მინიმალური ზედა შეფასების მიღება ორი მეთოდით, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, ISSN 1502-0287, თბილისი, 2013, ტ. 68, № 4, გვ. 11-18

3. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogiasvili M.A.* Adaptation Models of Formal Neuron (in Russian), Georgian Electronic Scientific Journals (GESJ): Computer Sciences and Telecommunications, Publishing House «Technical University», Electronic Media Department, ISSN 1512-1232, Tbilisi, 2013, № 3 (39), p. 118-152: <http://gesj.internet-academy.org.ge/download.php?id=2200.pdf>

Прангишвили А.И., Намичейшвили О.М., Гогиашвили М.А. Модели адаптации формального нейрона, Грузинские Электронные Научные Журналы (ГЭНЖ) : Компьютерные науки и телекоммуникации, Издательский дом «Технический университет», редакция электронной меди, ISSN 1512-1232, Тбилиси, 2013,

№ 3 (39), c. 118-152:

<http://gesj.internet-academy.org.ge/download.php?id=2200.pdf>

4. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogiashvili M.A.* Two Methods of Obtaining a Minimal Upper Estimate for the Error Probability of the Restoring Formal Neuron, RECENT ADVANCES in MATHEMATICAL METHODS, MATHEMATICAL MODELS and SIMULATION in SCIENCE and ENGINEERING, Proceedings of the 2014 International Conference on Mathematical Methods, Mathematical Models and Simulation in Science and Engineering (MMSSE 2014), Interlaken, Switzerland, February 22-24, 2014, p. 37-41.
5. *Prangishvili A.I., Namicheishvili O.M., Gogiashvili M.A.* Two Methods of Obtaining a Minimal Upper Estimate for the Error Probability of the Restoring Formal Neuron, International Journal of Engineering & Technical Research - IJETR, Volume 02, Issue 02, February 2014, p. 64-68:
http://www.erpublication.org/IJETR/vol_issue.php?abc1=20

ავტორის ხელმოწერა:

/მაია გოგიაშვილი/