

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ხითარიშვილი

ციფრული სამაუწყებლო ქსელებისათვის კოდირების  
სისტემების შემუშავება და გამოკვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი  
დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: „ტელეკომუნიკაცია“

შიფრი: 0402

თბილისი

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი  
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი სერგო შავგულიძე

რეცენზენტები:.

დაცვა შედგება 2018 წლის "-----" ----- "-----" საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და  
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის  
სხდომაზე

კორპუსი VIII , აუდიტორია ----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,  
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**სამუშაოს აქტუალობა.** საერთაშორისო საკომუნიკაციო გაერთიანებამ (ITU) ევროპის ქვეყნებს ანალოგურიდან ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლის ბოლო ვადად 2015 წლის 17 ივნისი განუსაზღვრა. 2006 წელს სხვა ქვეყნებთან ერთად ეს ვალდებულება საქართველომაც აიღო და შენევის ხელშეკრულებას მოაწერა ხელი. ღია ციფრულ მაუწყებლობას თან ერთვის დახურული კრიპტო კოდირებული მაუწყებლობაც (PayTV). აქედან გამომდინარე სადისერტაციო ნაშრომი აქტუალურია და მასში გამოყენებული სიახლეები და გადაწყვეტები საკმაოდ მნიშვნელოვანი.

**სამუშაოს მიზანი:** ციფრული სამაუწყებლო ქსელებისათვის კრიპტო კოდირების სისტემებში ახალი მოდულების შემუშავება და ინტეგრაცია, რომელიც უფრო ეფექტურსა და უსაფრთხოს გახდის მათ ფუნქციონირებას.

„მობილური“ ციფრული მაუწყებლობის უზრუნველყოფა თბილისის სამაუწყებლო ზონაში.

ციფრულ მაუწყებლობაში ქვეყნის მასშტაბით SFN სინქრონიზაციის უზრუნველყოფა.

**ძირითადი ამოცანები.** დასახული მიზნის შესაბამისად ფორმულირებული იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. შესწავლილი იქნას სამომხმარებლო ბაზარზე არსებული ყველაზე ეფექტური კრიპტო კოდირებები, მოხდეს მათი შედარებითი ანალიზი. შერჩეულ იქნებ კრიპტო კოდირება სადაც მოხდება ახალი გადაწყვეტების ინტეგრაცია.

2. დამუშავებულ იქნას GPS-ის ინტეგრაციის შედეგები ციფრული სატელიტური და მიწისზედა მაუწყებლობის მიმღებებისთვის; აღნიშნულმა გადაწყვეტამ მნიშვნელოვანი როლი უნდა ითამაშოს მობილურ (მომრავ) ციფრულ მაუწყებლობაში როგორც მონიტორინგის, ისე ხარისხის ამაღლების თვალსაზრისით.

3. მობილური ციფრული მაუწყებლობისთვის შერჩეულ იქნას სწორი პარამეტრები როგორც მიმღებ ისე გადაცემის მხარეს და ჩატარდეს დეტალური კვლევა თბილისის მასშტაბით.

4. განხილულ იქნას ყველა ის პარამეტრი რომელიც უზრუნველყოფს SFN ქსელის სინქრონიზაციას ქვეყნის მასშტაბით.

**კვლევის მეთოდები.** სადისერტაციო სამუშაოს შესრულებისას გამოყენებული იქნა პრაქტიკული და თეორიული კვლევები.

**სამეცნიერო სიახლე:**

1. შემოთავაზებულია და ჩატარებულია GPS-ის ინტეგრაცია ციფრული სატელიტური და მიწისზედა მაუწყებლობის მიმღებებისთვის. როგორც კვლევის შედეგებმა აჩვენა ამ მოდულის დანერგვას შეუძლია უამრავი თანამედროვე გამოწვევების გადაჭრა. აღნიშნული გადაწყვეტა მნიშვნელოვან როლს ითამაშებს მობილურ ციფრულ მაუწყებლობაში როგორც მონიტორინგის, ისე ხარისხის ამაღლების თვალსაზრისით, ის ძალზედ მნიშვნელოვანია რეგიონური კრიპტო კოდირების და კონტენტის დაცულობის მხრივ, ასევე უსაფრთხოების კუთხით. GPS სისტემის DVB ქსელში ინტეგრაცია, საშუალებას იძლევა რეგიონალური დონის საგანგაშო, გამაფრთხილებელი ან სხვა განსაკუთრებული სიტუაციის ინფორმაცია გამოყვანილი იქნას იმ რეგიონში მოძრავ მიმღებ საშუალებებში, რომლებსაც ეს სიტუაცია შეეხო, რაც თავისთავად აადვილებს მსგავსი საგანგაშო ან გამაფრთხილებელი ინფორმაციის გადაცემას და გამორიცხავს ფართომასშტაბიანი პანიკური სიტუაციის შექმნას ქვეყნის მასშტაბით; ასევე GPS მოდულის საშუალებით შესაძლებელია შევზღუდოთ ვიდეო კონტენტის ყურება ავტომობილში, მისი მოძრაობის სიჩქარის მიხედვით.

3. შემოთავაზებულია გაციფრულების პროცესში ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევის SFN სინქრონიზაციის გადაჭრის გზები და საშუალებები. GPS სინქრონიზაცია საშუალებას იძლევა ერთ ან სხვადასხვა ანძებზე განთავსებულმა დაშვების წერტილებმა იმუშაონ სინქრონულად - ერთდროულად გადასცენ პაკეტები. შედეგად, შესაძლებელია

გამოყენებული რესურსის განახევრება და დაშვების წერტილებს შორის სიხშირული ურთიერთხელშემლის მინიმუზაცია, რაც საბოლოო ჯამში გამოიხატება გამტარუნარიანობის მნიშვნელოვან ზრდაში. ჩვენს მიერ განხილულია ყველა პარამეტრი რამაც უზრუნველყო SFN ქსელის სინქრონიზაცია ქვეყნის მასშტაბით.

4. მობილური ციფრული მაუწყებლობისთვის შერჩეულია სამაუწყებლო სტანდარტი და განხორციელებულია სიგნალის სატესტო განფენა თბილისის სამაუწყებლო ზონაში; ავტომაგისტრალების დიდი ნაწილის სრულად დაფარვის მიზნით შერჩეულია სამაუწყებლო წერტილები ყველა შესაძლო პარამეტრით; ასევე შემუშავებულია მიმღები მოწყობილობა და მიმღები ანტენა რომელიც სპეციალიზებულია არსებულ მოთხოვნებზე დაყრდნობით. შერჩეული პარამეტრებით მნიშვნელოვნად გაიზარდა გადაცემის მანძილი, ანარეკლით მიღებული სიგნალი უფრო სტაბილური გახდა, რამაც ხელი შეუწყო გავრცელების მანძილის ზრდას, ასევე გამოირიცხა მაღალსართულიან შენობებში მოძრაობისას ვიდეო სიგნალის წყვეტა.

**შედეგების გამოყენების სფერო.** სადისერტაციო სამუშაოში მიღებული შედეგების გათვალისწინება და გამოყენება საინტერესო იქნება იმ ქვეყნებისთვის რომლებიც ჯერ არ გადასულან ციფრულ მაუწყებლობაზე, ასევე მნიშვნელოვანია წარმოდგენილი „მოძრავი“ ციფრული მაუწყებლობა, რომლის განხორციელებაც ნებისმიერ ქალაქსა თუ ქვეყანაშია შესაძლებელი. კრიპტო კოდირებაში ჩვენს მიერ შეთავაზებულ და განხორციელებულ მოდულებს დღეის მდგომარეობით უკვე იყენებენ რამდენიმე უცხოურ და ქართულ კომპანიაში.

**აპრობაცია.** სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა: აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში მეორე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - “ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”, (2013 წ.) ასევე,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე.

სადისერტაციო სამუშაოს შედეგები გამოქვეყნებული იქნა 3 სამეცნიერო სტატიაში და 1 კონფერენციის შრომებში.

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** დისერტაცია შედგება შესავლისა და 2 თავისაგან, რომლებიც გადმოცემულია 101 გვერდზე. შეიცავს 65 ნახაზს, 12 ცხრილს და 19 დასახელების ლიტერატურას.

### სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

**შესავალში** დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებული და განსაზღვრულია გამოსაკვლევ საკითხთა წრე, ასევე კვლევის მიზანი და ამოცანები. ფორმულირებულია ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეთა და პრაქტიკული მნიშვნელობის ძირითადი ასპექტები.

**პირველი თავის** საწყისი ნაწილი ეძღვნება ციფრულ მაუწყებლობის სტანდარტებს, განხილულია ყველა ის სტანდარტი რომელიც მსოფლიოშია დანერგილი. DVB-T სისტემა შემუშავების დროს მნიშვნელოვანი იყო ადაპტირება ყველა შესაძლო სისტემასთან, ფიქსირებულ, თუ მობილურ მიმღებებთან, აგრეთვე, ერთსიხშირიან ქსელებთან. სამაუწყებლო ყველა არსებულ ციფრულ სისტემებთან შედარებით, DVB-T სისტემა ვითარდება ყველაზე უფრო დინამიურად, მას უფრო მეტი მომხმარებელი ჰყავს, რადგანაც უზრუნველყოფს გამოყენების მაღალ ხარისხს. DVB-T ოჯახის წარმატების საწინდარია აგრეთვე ყველა ქვესისტემისა და ტექნოლოგიის სტანდარტიზაცია, რომელიც არა მარტო დღეს, არამედ შორეულ პერსპექტივაშიც გამოყენებადი იქნება.

DVB-T სტანდარტის მაქსიმალური მონაცემების გადაცემის სიჩქარე განისაზღვრება 31 მგბ/წმ, ხოლო მინიმალური 5 მგბ/წმ. დეტალურად არის მოცემული გადაცემის სიჩქარის კალკულაცია სხვადასხვა პარამეტრების მიხედვით: მოდულაცია, ხელშეშლამდგრადი კოდირების სიჩქარე, დამცავი ინტერვალი.

ახალი თაობის სტანდარტის შექმნის მთავარი ამოცანა იყო მინიმუმ 30% ით გაზრდილიყო არხის გამტარუნარიანობა და დაეკმაყოფილებინა ჟენევის 2006 წლის ხელშეკრულებით გათვალისწინებული მოთხოვნები. ეს სტანდარტი ასევე ფოკუსირდებოდა ფიქსირებულ სახურავის ანტენებზე. ამ კომერციულ მოთხოვნებზე დაყრდნობით, DVB Project-მა ჩამოაყალიბა ჯგუფი შემოთავაზებული სპეციფიკაციის ტექნიკური მახასიათებლების შესამუშავებლად. DVB-T სტანდარტის მსგავსად, DVB-T2 სპეციფიკაცია იყენებს OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)-ს, რაც წარმოადგენს მრავალსიხშირიანი გადამტანების გამოყენებით კოდირებული ციფრული მონაცემების გადაცემის ერთ-ერთ მეთოდს. რეჟიმების დიდ რიცხვზე ხელმისაწვდომობა იძლევა გამოყენების ნებისმიერი უბნის სპეციფიკაციაზე მორგების საშუალებას მოქნილობის იმავე დონისთვის, რაც გააჩნდა DVB-T სტანდარტს. 256 QAM მოდულაციის დამატება DVB-T2-ის სპეციფიკაციაში საშუალებას იძლევა, გაიზარდოს თითოეული სიგნალთა სისტემის მიერ გადატანილი ბიტების რიცხვი და რასაც არხში ნაკადის გაზრდამდე მივყავართ. იხილეთ ცხრილი 1

**ცხრილი 1. DVB-T2 ქსელში გადაცემის სიჩქარის მონაცემები**

მოდულაცია	კოდის სიჩქარე.	1/128 მგ/წმ	1/32 მგ/წმ	1/16 მგ/წმ	19/256 მგ/წმ	1/8 მგ/წმ	19/128 მგ/წმ	1/4 მგ/წმ
QPSK	1/2	7.5	7.3	7.1	7.0	6.7	6.6	6.1
	3/5	9.0	8.8	8.5	8.5	8.1	7.9	7.3
	2/3	10.0	9.8	9.5	9.4	9.0	8.8	8.1
	3/4	11.3	11.0	10.7	10.6	10.1	9.9	9.1
	4/5	12.0	11.8	11.4	11.3	10.8	10.6	9.7
	5/6	12.5	12.3	11.9	11.8	11.2	11.0	10.1
16-QAM	1/2	15.0	14.7	14.3	14.1	13.5	13.2	12.1
	3/5	18.1	17.7	17.1	17.0	16.2	15.9	14.6
	2/3	20.1	19.7	19.1	18.9	18.0	17.7	16.2
	3/4	22.6	22.1	21.5	21.2	20.3	19.9	18.3
	4/5	24.1	23.6	22.9	22.7	21.6	21.2	19.5
	5/6	25.2	24.6	23.9	23.6	22.6	22.1	20.3
	1/2	22.5	22.0	21.4	21.1	20.2	19.8	18.2
	3/5	27.1	26.5	25.7	25.4	24.3	23.8	21.9

64-QAM	2/3	30.1	29.4	28.6	28.3	27.0	26.5	24.3
	3/4	33.9	33.1	32.1	31.8	30.4	29.8	27.4
	4/5	36.1	35.3	34.3	33.9	32.4	31.8	29.2
	5/6	37.7	36.8	35.8	35.4	33.8	33.1	30.4
256-QAM	1/2	30.1	29.4	28.6	28.2	27.0	26.4	24.3
	3/5	36.2	35.3	34.3	33.9	32.4	31.8	29.2
	2/3	40.2	39.3	38.2	37.8	36.1	35.3	32.5
	3/4	45.3	44.2	42.9	42.5	40.6	39.8	36.6
	4/5	48.3	47.2	45.8	45.3	43.3	42.4	39.0
	5/6	50.3	49.2	47.8	47.3	45.1	44.2	40.7

DVB-S2-ის სტანდარტის მსგავსად, DVB-T2 სტანდარტი იყენებს LDPC (Low-density parity-check) კოდებს BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham) კოდებთან კომბინაციაში, რათა მოახდინოს დაცვა ხმაურის მაღალი დონეებისა და ხელშეშლებისაგან. ორივე, DVB-T და DVB-T2, იყენებს COFDM (Coded orthogonal Frequency Division Multiplex) გადაცემის სქემას, თუმცა T2 გამოირჩევა მთელი რიგი ტექნიკური გაუმჯობესებით, და როგორც აღნიშნული იყო, მთავარი ამოცანა 30%-ით არხის გამტარუნარიანობის გაზრდა გახლდათ. DVB-T მაღალი ხმაურის დონეების დასაცავად იყენებს კასკადურ კოდს, შიდა კონვოლუციურ კოდით და გარე რიდ-სოლომონის კოდით, ხოლო DVB-T2-ში გამოყენებული კასკადური კოდირების სქემა LDPC და BCH კოდების ბაზაზე ბევრად უფრო ეფექტურია ვიდრე ზემოთაღნიშნული. დამატებულია კოდი სიჩქარით 3/5, 4/5 და ამოღებულია სიჩქარე 7/8. DVB-T2 ში მოდულაციის მხარეს დამატებულია 256 QAM, ამ პარამეტრს დამატებული გაუმჯობესებული FEC იწვევს არხში ნაკადის კიდევ უფრო მეტ ტევადობას.

ცხრილში N2 მოცემულია განსხვავება პარამეტრებში DVB-T და DVB-T2 სტანდარტებს შორის.

**ცხრილი 2. განსხვავება DVB-T და DVB-T2 სტანდარტებს შორის პარამეტრებში**



	DVB-T	DVB-T2
შეცდომების პირდაპირი კორექცია	Convolutional Coding + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, & 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 23, 3/4, 4/5, & 5/6
მოდულაცია	QPSK, 16QAM, & 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM & 256QAM
კონსტელაცია		კონსტელაცია
დაცვითი ინტერვალი	1/4. 1/8. 1/16. 1/32	1/4. 19/256. 1/8. 19/128. 1/16. 1/32. 1/128
DFT ზომა	2k & 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, & 32k
Scattered Pilots	8 პროცენტი სრული მოცულობიდან	1%. 2%. 4%. 8%
Pilot Patterns		8 Patterns Available
Continual Pilots	2.6 პროცენტი სრული მოცულობიდან	35 პროცენტი სრული მოცულობიდან

ყველა შესაძლო პარამეტრებით არხის გამტარუნარიანობა DVB-T სტანდარტის შემთხვევაში გახლავთ 31.67 მბ/წმ, ხოლო DVB-T2 ის შემთხვევაში 50.34 მბ/წმ.

შემდეგი ცვლილება გახლავთ კონსტელაციის ბრუნვა, რაც უფრო მეტ ენერგეტიკულ ეფექტურობას იძლევა და ზრდის ხელშემშლამდგრადობას მიყუჩების შემცველ არხებში. შესაბამისად სიგნალი უფრო მდგრადია და არ მოქმედებს გარე ფაქტორები, მაგალითად შენობები, ამინდი და ა.შ.

QPSK მოდულაციის შემთხვევაში შესაძლებელია სიგნალთა სისტემის 29 გრადუსიანი ბრუნვა, 16 QAM ის დროს 16.8 გრადუსიანი, 64 QAM ის დროს 8.6 გრადუსიანი, 256 QAM ის დროს დაახლოებით 3.57 გრადუსიანი. დამცავ ინტერვალში დამატებულია სამი პარამეტრი: 19/256, 19/128, 1/128. ამ მონაცემების დამატება T2 სტანდარტს მოქნილობას და გადასაცემი მონაცემების მაქსიმალურ გაზრდას უწყობს ხელს, ასევე გასათვალისწინებელია, რომ 1/128 პარამეტრის არჩევის დროს არხის

ბიტების გადაცემის სიჩქარე იზრდება თუმცა SFN სინქრონიზაციის არეალი მცირდება.

DVB-T სტანდარტისგან განსხვავებით DVB-T2 ის FFT (Fast Fourier Transform)-ში განიხილება 1k, 2k, 4k, 8k, 16k & 32k პარამეტრები, აქედან 16k და 32k -ის გამოყენება არხში გვამლევს შედარებით უფრო მეტ ნაკადს.

არხის გატარების მოცულობა 8 MHz-იან ზოლში: სტანდარტულ რეჟიმში არის 7.61 MHz, ხოლო გაფართოებულ რეჟიმში 7.71 MHz 6z რაც 2 % ის უფრო მეტია.

სტანდარტული რეჟიმი	სტანდარტული რეჟიმი	გაფართოებული რეჟიმი
1k = 853	8k = 6817	6913
2k = 1705	16k = 13,633	13, 921
4k = 3409	32k = 27,265	27,841

SFN სინქრონიზაციის მანძილი გადამცემებს შორის შეგვიძლია განვსაზღვროთ დამცავი ინტერვალით და შესაბამისი რეჟიმის შერჩევით. DVB-T2 გაერთიანებულია 8 სხვადასხვა პილოტ-პატერნებთან (Pilot Patterns PP). იხილეთ ცხრილი 3 და ცხრილი 4, სადაც ნაჩვენებია PP - ის გამოყენება ფურიეს დისკრეტულ გარდაქმნასთან DFT და დამცავ ინტერვალთან (Guard Interval).

დაცვითი ინტერვალი								
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
DFT SIZE	32 K	PP7	PP4, PP6	PP2, PP8, PP4	PP2, PP8, PP4	PP2, PP8	PP2, PP8	
	16 K	PP7	PP4, PP6, PP7	PP2, PP8, PP4	PP2, PP8, PP4, PP5	PP2, PP3, PP8,	PP2, PP3, PP8,	PP1, PP8
	8 K	PP7	PP4, PP6, PP7	PP2, PP8, PP5	PP6, PP8, PP4	PP2, PP3,	PP2, PP3, PP8,	PP1, PP8
	4K&2K		PP4, PP6, PP7	PP4, PP5		PP2, PP3,		PP1
	1 K			PP4, PP5		PP2, PP3,		PP1
	SISO MODE							

**ცხრილი 3 დაცვითი ინტერვალი ერთი შემსვლელის და ერთი გამომსვლელის დროს**

დაცვითი ინტერვალი							
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32 K	PP8, PP4, PP6	PP8, PP4	PP2, PP8	PP2, PP8		PP2, PP8	
16 K	PP8, PP4, PP5	PP8, PP4, PP5	PP3, PP8,	PP3, PP8,	PP1, PP8	PP2, PP3, PP8,	PP1, PP8
8 K	PP8, PP4, PP5	PP8, PP4, PP5	PP3, PP8,	PP3, PP8,	PP1, PP8	PP2, PP3, PP8,	PP1, PP8
4K&2K		PP4, PP5	PP3		PP1,		
1 K			PP3		PP1		
MISO MODE							

**ცხრილი 4. დაცვითი ინტერვალი ბევრი შემსვლელის ერთი გამოსავლელის დროს**

PP არჩევის დროს უნდა განვსაზღვროთ თუ რაზე კეთდება აქცენტი მიმღების მხარეს: თუ გარე სახურავის ანტენით გვიხდება მიღება მაშინ უმჯობესია პარამეტრად PP7 ავიღოთ, რაც შედარებით მეტ ნაკადს მოგვცემს თუმცა მდგრადობა უფრო ნაკლები იქნება; იმ შემთხვევაში თუ მოძრაობაში გვინდა სიგნალის მიღება, მაშინ მყარი სიგნალის მისაღებად უმჯობესია PP2 ან PP4 ავირჩიოთ და ამ შემთხვევაში არხში ბიტების გადაცემის სიჩქარე შედარებით შეგვიმცირდება, თუმცა უფრო მეტ სტაბილურობა გვექნება სიგნალის მიღების დროს.

ამავე თავში განვიხილეთ ყველა ის ძირითადი პრობლემა რაც ქვეყნის ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლას მოყვა, მათ შორის SFN სინქრონიზაციის საკითხი. ტესტირებისთვის შევარჩიეთ ყველა ის სამაუწყებლო ზონა სადაც SFN სინქრონიზაციის არსებობა აუცილებელია, შედეგებმა გვიჩვენა რომ სხვადასხვა მოდელის სამაუწყებლო გადამცემის შემთხვევაში, მიუხედავად იმისა რომ ერთ სტანდარტის ქვეშ არიან მოქცეულები, მაინც პროცესინგის დრო განსხვავებულია, რაც იწვევს

მიღებული სიგნალის დამუშავებაში დროის სხვაობას, კონკრეტულ შემთხვევაში პრობლემის გადაჭრა მოვახერხეთ პროგრამულ დონეზე, თუმცა შესაძლებელი იყო უფრო რთულად ყოფილიყო საქმე და ჰარდვეარის გამოცვლა ყოფილიყო საჭირო. აღნიშნულ კვლევაზე დაყრდნობით კარგი იქნებოდა თუ სხვა ქვეყნები გაითვალისწინებენ და SFN ქსელის აგების დროს სამაუწყებლო გადაცემებს ერთი მწარმოებლისას გამოიყენებენ, რაც თავიდან აგვარიდებს ბევრ გაუთვალისწინებელ პრობლემას. ამავე თავში განვიხილეთ მობილური (მოდრავი) ციფრული მაუწყებლობის ტესტირების შედეგები თბილისის სამაუწყებლო ზონაში, ტესტირების პროცესში სწორედ შერჩეულმა პარამეტრებმა როგორც მიმღების ისე გადაცემის მხარეს დაგვანახა, რომ შესაძლებელია აღნიშნულ ზონაში ობიექტმა სიჩქარის შეუზღუდავად იმოდროს ისე, ციფრული მაუწყებლობა არ შეზღუდოს.

**მეორე თავში** მიმოვიხილავთ კრიპტო კოდირების სხვადასხვა სისტემებს და კონკრეტული სისტემისათვის ვქმნით ახალ მოდულებს, რომლებიც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებენ მათ ფუნქციონირებას.

მსოფლიოში არსებობს მრავალი კრიპტო კოდირების სისტემა. ჩვენ ყურადღებას ყველაზე ცნობილ და წარმატებულ კოდირებებზე გავამახვილებთ, ისეთებზე როგორცაა - Irdeto, Viaccess, Conax, Suma, Sumavision.

Irdeto აწარმოებს სმარტ ბარათებსაც, კრიპტო კოდირებულ სისტემებს ფასიანი ტელევიზიისთვის და სხვა მიკროპროცესორულ და პროგრამულ ტექნოლოგიებს მრავალმხრივი გამოყენებისთვის, ასევე კონტენტის დამუშავებისა და გავრცელების ავტომატიზაციის საშუალებებს.

Viaccess ის CAS სისტემა შექმნილია Orange S.A.-ის მიერ. დღეისთვის გამოიყენება 6 ვერსია: Viaccess V2.3, Viaccess V2.4, Viaccess V2.5, Viaccess V2.6, Viaccess V3.0, Viaccess V4.0, Viaccess V5.0, and Viaccess V6.0. Viaccess შეიქმნა, როგორც EuroCrypt-ის ციფრული ვერსია, გამოყენებული ჰიბრიდულ MAC სისტემასთან ერთად. Viaccess ის პირველი სამი ვერსია

Viaccess 1, Viaccess 2. V2.3 და V2.4 ცნობილია, როგორც არაეფექტური და ალბათობა იმისა, რომ პირატულად გამოიყენონ მიმღები მოწყობილობა საკმაოდ დიდია, ამის გამო ვერსიები სწრაფად განახლდა და შემდეგ თაობებში უკვე გამოსწორებულია ყველა ის შეცდომა, რაც პირატებს აძლევდა იმის საშუალებას, რომ კონტენტზე უფასო წვდომა ქონოდათ.

Conax Smart Cards არის სპეციალიზებული კრიპტოგრაფიული მოწყობილობები, გამოყენებული STB და TV კონტენტზე წვდომის გასაკონტროლებლად. კომპანია 25 წელზე მეტია რაც ოპერირებს მსოფლიო ბაზარზე, რამაც განვითარებასთან ერთად დიდი გამოცდილება მოუტანა, თანამშრომლობენ როგორც ყველაზე ცნობილ DVB ჩიფსეტების მწარმოებლებთან, ასევე უსაფრთხოების სერტიფიცირების ლაბორატორიებთან.

Sumavision ერთ-ერთი ყველაზე წარმატებული კომპანიაა ჩინეთში, რომელიც 2000 წელს დაარსდა. სწორედ აღნიშნულ კომპანიაში მომიწია რამდენიმე თვე მუშაობა. ჩემი ძირითადი მიზანი კრიპტო კოდირების სისტემის გარჩევა, გასაუმჯობესებლად ახალი გზების მოძიება და მიმღებ მოწყობილობაში ინტეგრაცია იყო.

ჩვენს მიერ შემუშავებული სისტემა ფუნქციონირებს შემდეგნაირად. სამართავი პანელიდან ხდება ბრძანებების გადაცემა მიმღებ მოწყობილობაში, რომელიც ერთმანეთთან არის თავსებადი, მაგალითად, შეგვიძლია პირობითი დაშვების მოდულიდან ვმართოთ სიხშირული დიაპაზონი, ასევე გავაგზავნოთ მოკლე ტექსტური შეტყობინება მობილურიდან, რომელიც OSD სახით გამოვა რესივერზე, შესაძლებელია „ყურების დონის მართვა“, ასევე სამართავ პანელში გაიწერა ყველა ის ბრძანება რომელიც მომხმარებელს აქვს რესივერის სამართავ ღილაკებზე, რაც უფრო ეფექტურს გახდის მომხმარებელთან ურთიერთობას.

მნიშვნელოვანია პირობითი დაშვების მოდულიდან მოხდეს არ მარტო კონკრეტული არხის კოდირება, არამედ შესაძლებელი იყოს სიხშირული დიაპაზონის ბლოკირებაც, რაც უფრო მეტად მოქნილს გახდის აღნიშნულ

სისტემას. მაგალითად, კომპანიები რომლებიც აბონენტებს აწვდიან მომსახურებას, შესაძლებელია მომხმარებელი ანალოგიურ სერვისს იღებდეს უფასოდ საზღვრისპირა რეგიონიდან, რა დროსაც ჩვენ არ გვექნება შესაძლებლობა კონკრეტული სერვისის დაბლოკვისა, სწორედ ასეთი შემთხვევების დროსაც უალტერნატივოა ჩვენი სისტემა. აღნიშნული სერვისი უკვე დანერგულია რამდენიმე კომპანიაში, როგორც საქართველოში ისე მის ფარგლებს გარეთ. ასევე ინტეგრირებულ მოდულებში გაიწერა უამრავი ბრძანება რაც მომხმარებელზე იქნება მორგებული და სერვისის ხარისხს უფრო გაზრდის.

რამდენიმე სახის ამოცანა გვექონდა დასმული ციფრული კრიპტო კოდირებული DVB-T/T2 ქსელისთვის. პირველი, გვინტერესებდა რამდენად შევძლებდით გაგვეგო აღნიშნული ქსელის მომხმარებელი, სად იმყოფებოდა და შესაბამისად რომელი სამაუწყებლო ანმა ემსახურებოდა. როგორც ცნობილია, აღნიშნული ქსელში ორმხრივი კავშირი არ არსებობს, მხოლოდ ცალმხრივად ხდება ინფორმაციის მიწოდება, შესაბამისად იმ შემთხვევაში როცა კონკრეტული სამაუწყებლო პუნქტის გათიშვა ხდება, თუნდაც ტექნიკური სამუშაოების გამო, აბონენტი რომელიც აღნიშნული ანტიდან იღებდა სამაუწყებლო სიგნალს რჩება ინფორმაციის გარეშე, თუ რატომ გაითიშა, ან როდის მოვა და ა.შ. ეს ძალიან მნიშვნელოვანია კონკრეტული ოპერატორის სერვისის ხარისხის კუთხით.

შემდეგი ამოცანა იყო აბონენტებისთვის კონტენტის შეზღუდვა ქვეყნების და რეგიონების მიხედვით. ეს საკმაოდ აქტუალურია სატელიტურ მაუწყებლობაში, DVB-S/S2 ქსელში. წინა თავში განვიხილეთ ეს საკითხი, სადაც მუხედავად იმისა რომ თითქმის ყველა კრიპტო კოდირების ოპერატორს უდევს აღნიშნული დაცვა კოდირების ალგორითმში, მაინც ბოლომდე ვერ ხდება პრობლემის მოგვარება, თუმცა GPS-ის ინტეგრაციამ ეს პრობლემა საბოლოოდ გადაჭრა.

ასევე მნიშვნელოვანია GPS ჩიპის ინტეგრაცია მობილურ ციფრულ მაუწყებლობაში, რაც იძლევა შემდეგ შედეგებს:

- 1) მიღების ბიტრეიტის(ნაკადის სიჩქარის) ოპტიმიზაცია - მაგალითად თუ არხი გადაიცემა MPEG 4 ფორმატში 0.7 მეგაბიტით, GPS-ის ჩიპის მეშვეობით შესაძლებელია დადგინდეს ავტომობილი მოძრაობს თუ გაჩერებულია; თუ გაჩერებულია, შესაძლებელია მოხდეს მაღალი სიჩქარის არხის შერჩევა რაც არ გამოიწვევს სიგნალის წყვეტას.
- 2) ზოგ ქვეყანაში კანონმდებლობით განსაზღვრულია მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარე, რის შემდეგაც აღარ შეიძლება ავტომობილში ტელევიზორის ყურება, შესაბამისად GPS-ის მეშვეობით ამ კანონში მოქცევაა შესაძლებელი. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ აკრძალვის უგულველყოფისას 250 კმ/სთ-ით მოძრაობის დროსაც კი მაუწყებლობას წყვეტა არ ექნება.
- 3) ავტომაგისტრალებზე სადაც მძღოლის მაქსიმალური ყურადღებაა საჭირო შესაძლებელია Set Top Box (STB) გათიშვა ან სხვა რეჟიმში გადაყვანა.
- 4) თუ პროექტს კავკასიის მასშტაბით განვიხილავთ, შესაძლებელი იქნება სპექტრული რუკის ინტეგრაცია Set top box-ში და ქვეყნის საზღვრებზე მიახლოებისას შესაბამის სიხშირეზე გადასვლა, ასევე კონკრეტულ ქვეყანაში მოქმედ საავტორო და სხვა კანონმდებლობაში მოქცევა და ა.შ.
- 5) იმ შემთხვევაში, თუ რეგიონების მიხედვით სიხშირული სპექტრი სხვადასხვაა და გვინდა, რომ არხმა წყვეტა არ განიცადოს, შესაძლებელია წინასწარ განსაზღვრა თუ რომელ რეგიონში რა სიხშირეზე ხდება მაუწყებლობა და მიმღები მოწყობილობა GPS-ის მეშვეობით მოახდენს კონკრეტულ სიხშირეზე გადასვლას. (მართალია ამის მიღწევა გადამცემის ID და EPG - ელექტრონული საპროგრამო გიდითაც შეიძლება, მაგრამ შესაძლებელია კანონის მეტი სიხისტის და კომფორტის მიღწევა მოხდეს GPS პროგრამირებით)

კრიპტო კოდირების სისტემის აღწერის დროს გავამახვილეთ ყურადღება იმაზე, რომ „აბონენტის მართვის სისტემის“ საგანგებო პროგრამული მაუწყებლობის ფუნქციით ოპერატორს შეუძლია, მოსთხოვოს ყველა მომხმარებელს ან მთელ ქსელს, უყურონ ერთსა და იგივე პროგრამას საგანგებო შემთხვევაში და გადასცეს ეს საგანგებო შინაარსი ეკრანზე. ეს პირობა შეიძლება გავრცელდეს კონკრეტულ ბარათაზე ან ბარათების დიაპაზონზე. მას შემდეგ რაც STB მიიღებს და დაამუშავებს ამ ინფორმაციას, რესივერი ავტომატურად ჩაირთვება მითითებულ არხზე და გახდება უმოქმედო (მომხმარებელი მართვის პულტიდან ვეღარც შეძლებს არხების ამორჩევას და ა.შ.). საგანგებო მაუწყებლობის შემდეგ, STB დაიბრუნებს წინანდელ მდგომარეობას, რათა ნორმალურად მიიღოს პროგრამა. სწორედ GPS სისტემის DVB ქსელში ინტეგრაცია საშუალებას იძლევა რეგიონალური დონის საგანგაშო, გამაფრთხილებელი ან სხვა განსაკუთრებული სიტუაციის ინფორმაცია გამოყვანილი იქნას იმ რეგიონში მოძრავ მიმღებ საშუალებებში, რომლებსაც ეს სიტუაცია შეეხო, რაც თავისთავად აადვილებს მსგავსი საგანგაშო ან გამაფრთხილებელი ინფორმაციის გადაცემის ტრაფიკს და გამორიცხავს ფართომასშტაბიანი პანიკური სიტუაციის შექმნას ქვეყნის მასშტაბით.

კრიპტო კოდირების მიზმა GPS მიმღებთან, გარანტი იქნება იმისი, რომ თუ GPS არ გაეშვა მაშინ ავტომატურად შესაძლებელი იქნება კონკრეტული სიხშირეები დაიბლოკოს მიმღებ მოწყობილობაში, რათა მომხმარებლის მხრიდან არ მოხდეს ხელოვნურად GPS სიგნალის დაბლოკვა.



## დასკვნები

1. შედარებული და გამოკვლეულია ციფრული სამაუწყებლო სტანდარტები, განსაკუთრებული ყურადღებაა გამახვილებული DVB ოჯახის იმ სტანდარტზე რომელზეც ჩვენმა ქვეყანამ გააკეთა არჩევანი.

2. განხილული და გადაჭრილია ყველა ის ძირითადი პრობლემა რაც ქვეყნის ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლას მოყვას, მათ შორის SFN სინქრონიზაციის საკითხი, ტესტირებისთვის შევარჩიეთ ყველა ის სამაუწყებლო ზონა სადაც SFN სინქრონიზაციის არსებობა აუცილებელია. შედეგებმა გვიჩვენა, რომ სხვადასხვა მოდელის სამაუწყებლო გადამცემის შემთხვევაში, მიუხედავად იმისა რომ ერთი სტანდარტის ქვეშ არიან მოქცეულები, მაინც პროცესინგის დრო განსხვავებულია, რაც იწვევს მიღებული სიგნალის დამუშავებაში დროის სხვაობას, კონკრეტულ შემთხვევაში პრობლემის გადაჭრა მოვახერხეთ პროგრამულ დონეზე, თუმცა შესაძლებელი იყო უფრო რთულად ყოფილიყო საქმე და ჰარდვეარის გამოცვლა გამხდარიყო საჭირო. აღნიშნულ კვლევაზე დაყრდნობით კარგი იქნებ თუ სხვა ქვეყნები გაითვალისწინებენ და SFN ქსელის აგების დროს სამაუწყებლო გადამცემებს ერთი მწარმოებლისას გამოიყენებენ, რაც თავიდან აგვარიდებს ბევრ გაუთვალისწინებელ პრობლემას.

3. გამოკვლეულია და შერჩეულია პარამეტრები, როგორც მიმღების ისე გადამცემის მხარეს, რომელიც თბილისის მასშტაბით მოძრავ ობიექტებს მისცემს საშუალებას სიჩქარის მიუხედავად უწყვეტად ისარგებლონ ციფრული მაუწყებლობით.

4. მიმოხილულია კრიპტო კოდირების სისტემები, დეტალურად განვიხილეთ Sumavision ის პირობითი დაშვების მოდულის მუშაობის სპეციფიკა.

5. შემუშავებული და ინტეგრირებულია ახალი მოდულები კრიპტო კოდირების სისტემაში როგორც მიმღები მოწყობილობის ისე

მართვის პანელის მხარეს. მნიშვნელოვანია პირობითი დაშვების მოდულიდან მოხდეს არ მარტო კონკრეტული არხის კოდირება არამედ შესაძლებელი იყოს სიხშირული დიაპაზონის ბლოკირებაც, რაც უფრო მეტად მოქნილს გახდის აღნიშნულ სისტემას.

6. განხილულია და გაკეთებულია დასკვნები თუ რამდენად მნიშვნელოვანია GPS ჩიპის ინტეგრაცია ციფრულ სამაუწყებლო მიმღებ მოწყობილობებში.

დღეის მდგომარეობით იმ სიახლეების უმრავლესობა, რომელიც განვიხილეთ ნაშრომში უკვე დანერგულია და აქტიურად იყენებენ კომპანიები როგორც ჩვენს ქვეყანაში ისე მის ფარგლებს გარეთ.

## დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. გ.ხითარიშვილი „ციფრული მობილური მაუწყებლობა“. მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერჯეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ ქუთაისი, საქართველო, 2013, გვ. 337-339
2. გ.ხითარიშვილი „თანამედროვე ციფრული მაუწყებლობის მიმართულებები“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი No 1 (vol.65),2013. გვ 43-45
3. გ.ხითარიშვილი „OTT ტექნოლოგია და მისი უპირატესობები“ საქართველოს საინჟინრო სიახლენი No 4 (vol.68),2013. გვ 37-39
4. G.Khitarishvili „Mobile TV Standards Review“ Sumavision Technologies Group Newspaper, 2013. Beijing, China. Page 3.

## RESUME

International Telecommunication Union (ITU) defined 17 June 2017 as the deadline for the Europe countries for transition from the analogical broadcasting to the digital. In 2006 Georgia shared this obligation and signed the Geneva Agreement. The telecommunication technology development convinced the world that there were more effective ways of using the frequency resources. For this reason most of the developed countries of the world nowadays use the digital broadcasting instead of analogical. Georgia carried out this reform successfully and I personally was involved in this process loaded with responsibilities and I should say that in a comparatively short time my country managed to do what other countries have not done yet. The process of the digital broadcasting transition necessitated many non-standard decisions because of the time shortage. Various applied innovations conditioned the successful digitalization of the country. I suppose the experience we have gained will be shared by other countries, especially – by our neighbouring ones.

The Open digital Broadcasting is also accompanied by the Closed Crypto - code broadcasting (PayTV). In this Thesis we will deal with this direction discussing in details the most successful coding in the market drawing attention to their positive and negative sides. We shall get acquainted with the functions of the Crypto-code System which is being worked out with the new approaches that will be integrated in the receivers (Set Top Box). All the above-mentioned will make the system more effective and secured.

Also, GPS integration in the digital Satellite and Terrain broadcast receivers is offered and carried done. As the research results have shown, the implementation of this module can meet many existing challenges. This approach will play an important role in the mobile digital broadcasting from the point of view of monitoring and quality improvement as well as of the regional Crypto – coding and content protection and that of the security.

GPS integration in the DVB net enables receiving the regional alarm, warning and other disasters informative signals to be transmitted to the mobile receiving devices of the region the situation takes place in and thus, eases the information transition excluding the panic situations country-wide. GPS Module also makes it possible to restrict watching the video content in a car according to the speed of driving.

The Thesis also considers all the digital broadcast standards currently used by the most successful countries of the world. We have paid special attention to the standard which our country was going to implement in 2015; two generations of the terrain broadcast standard – DVB- T and DVB –T2 were studied in details by us and the obvious advantages of and DVB –T2 over DVB - T prevailed. It is significant that Georgia has chosen the modern DVB –T2 standard; MPEG 4 (H.264 - ISO/IEC 14496 is defined as the data consolidation technology with

multiple opportunities that enables the customer to watch more diversified and quality content.

The Thesis also offers the ways and means of solving the main challenge of the digitalization process – SFN synchronization. GPS synchronization enables the synchronic work (transmitting the packets simultaneously) of the receiving points on one and the same or different towers. As a result the used resource can be halved and the frequency interference between the receiving points – minimized which in the end means the significant increase of conductivity. We have observed all the parameters that has provided SFN net synchronization country-wide.

And lastly, we have dealt with the mobile digital broadcasting which is implemented in several countries. We have chosen the broadcast standard, carried out signal test extension in Tbilisi broadcast zone, identified the broadcasting points with all their parameters to cover the most part of the highways. Also, we have worked out the receiving device and the receiving aerial/antenna according to our needs. The chosen parameters increased the distance and the reflected signal became more stable which increased the signal extension distance and excluded the video signal break while moving in the high- storey buildings.