

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გიორგი ხითარიშვილი

ციფრული სამაუწყებლო ქსელებისათვის კოდირების  
სისტემების შემუშავება და გამოკვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: “ტელეკომუნიკაცია“

შიფრი: 0402

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2018 წელი

საავტორო უფლება © 2018 წელი, გიორგი ხითარიშვილი

თბილისი

2018 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ხითარიშვილი გიორგის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ციფრული სამაუწყებლო ქსელებისათვის კოდირების სისტემების შემუშავება და გამოკვლევა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ივლისი, 2018

ხელმძღვანელი ----- პროფესორი ს. შავგულიძე

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2018

**ავტორი:** გიორგი ხითარიშვილი

**თემის დასახელება:** ციფრული სამაუწყებლო ქსელებისათვის კოდირების სისტემების შემუშავება და გამოკვლევა

**ფაკულტეტი :** ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

**აკადემიური ხარისხი:** აკადემიური დოქტორი

**სხდომა ჩატარდა:** ივლისი, 2018

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

ქენევაში აღებული 2006 წლის ვალდებულების თანახმად, საერთაშორისო საკომუნიკაციო გაერთიანებამ საქართველოს როგორც სხვა ევროპულ ქვეყნებს ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლის ბოლო ვადად განუსაზღვრა 2015 წლის 17 ივნისი. ციფრულ მაუწყებლობაში, ანალოგურთან შედარებით მკვეთრად გაუმჯობესებულია ხმის და გამოსახულების ხარისხი, ასევე მნიშვნელოვანია სიხშირული რესურსის დაზოგვის მხრივ, რაც მომავალში იძლევა საშუალებას გამოთავისუფლებული სიხშირეების სხვა ტექნოლოგიებში გამოყენებას. აქედან გამომდინარე დღეის მდგომარეობით ციფრული მაუწყებლობით მსოფლიოს თითქმის ყველა განვითარებული ქვეყანა სარგებლობს. საქართველომ ეს რეფორმა წარმატებით განახორციელა, პირადად მე ვიყავი ჩართული ამ საპასუხისმგებლო საქმეში და ვფიქრობ, რომ ჩვენმა ქვეყანამ მოახერხა მცირე დროში გაეკეთებინა ის რაც სხვა ქვეყნებმა დღემდე ვერ შეძლეს. ციფრულზე გადასვლის პროცესმა შემჭიდროებული დროის გამო ბევრი არასტანდარტული გადაწყვეტა მოითხოვა, ბევრი სიახლე დაინერგა, რამაც განაპირობა ქვეყნის წარმატებული გაციფრულება. ვფიქრობ მომავალში ჩვენს გამოცდილებას სხვა ქვეყნებიც გაიზიარებენ, განსაკუთრებით ჩვენი მეზობელი სახელმწიფოები.

ღია ციფრულ მაუწყებლობას თან ერთვის დახურული კრიპტო კოდირებული მაუწყებლობაც (PayTV). სადისერტაციო ნაშრომში გვექნება საუბარი ამ მიმართულებაზე, დეტალურად განვიხილავთ ბაზარზე არსებულ ყველაზე წარმატებულ კრიპტო კოდირებებს, გავამახვილებთ მათ დადებით და უარყოფით მხარეებზე ყურადღებას, ფუნქციონალურად გავეცნობით იმ კრიპტო კოდირების სისტემას, რომელთანაც მომიწია მუშაობა, სადაც შემოგვაქვს ახალი მიდგომები, რომლის ინტეგრირებასაც ვახდენთ მიმღებ მოწყობილობაში (Set Top Box) ყოველივე ზემოთაღნიშნული უფრო ეფექტურსა და უსაფრთხოს გახდის მათი ფუნქციონირებას.

შემოთავაზებულია და ჩატარებულია GPS-ის ინტეგრაცია ციფრული სატელიტური და მიწისზედა მაუწყებლობის მიმღებებისთვის. როგორც კვლევის შედეგებმა აჩვენა უამრავი თანამედროვე გამოწვევების გადაჭრა შეუძლია ამ მოდულის დანერგვას. აღნიშნული გადაწყვეტა მნიშვნელოვან როლს ითამაშებს მობილურ (მოდრავ) ციფრულ მაუწყებლობაში როგორც მონიტორინგის, ისე ხარისხის ამაღლების თვალსაზრისით, 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.

ასევე სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია ყველა ის ციფრული სამაუწყებლო სტანდარტები, რომელსაც დღეის მდგომარეობით მსოფლიოს ყველაზე წარმატებული ქვეყნები იყენებენ. ყურადღება გავამახვილოთ იმ სტანდარტზე რომელზეც ჩვენი ქვეყანა 2015 წელს უნდა გადასულიყო, დეტალურად გავეცანით მიწისზედა ციფრული ვიდეო მაუწყებლობის სტანდარტის ორ თაობას (DVB-T და DVB-T2). ამ ორი სტანდარტის შედარების დროს თვალნათლივ დავინახეთ ის უპირატესობები რაც გააჩნია DVB-T2 სტანდარტს, DVB-T სტანდარტთან შედარებით. მნიშვნელოვანია, რომ ჩვენმა ქვეყანამ არჩევანი სწორედ თანამედროვე DVB-T2 სტანდარტზე გააკეთა, მონაცემთა შემჭიდროვების ტექნოლოგიად განისაზღვრა MPEG 4 (H.264 - ISO/IEC 14496) რაც უფრო მეტ შესაძლებლობებს იძლევა და მომხმარებელს უჩნდება საშუალება უფრო მრავალფეროვანი და ხარისხიანი კონტენტი მიიღოს.

ასევე 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 ურთიერთ ხელშეშლის მინიმიზაცია, რაც საბოლოო ჯამში გამოიხატება გამტარუნარიანობის მნიშვნელოვან ზრდაში. ჩვენს მიერ განხილულია ყველა პარამეტრი რამაც უზრუნველყო SFN ქსელის სინქრონიზაცია ქვეყნის მასშტაბით.

და ბოლოს, ჩვენ შევეხეთ მობილურ ციფრულ მაუწყებლობას, რომელიც მსოფლიოს რამდენიმე ქვეყანაშია დანერგილი. ავირჩიეთ სამაუწყებლო სტანდარტი, განვახორციელოთ სიგნალის სატესტო განფენა თბილისის სამაუწყებლო ზონაში, შევარჩიეთ სამაუწყებლო წერტილები ყველა შესაძლო პარამეტრით, რათა ავტომაგისტრალების დიდი ნაწილი სრულად დაფარულიყო. ასევე შევიმუშავეთ მიმღები მოწყობილობა და მიმღები ანტენა რომელიც სპეციალიზებული იყო ჩვენს მოთხოვნებზე. 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.

## 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.

## შინაარსი

გვ.

შესავალი.....	18
თავი 1. ციფრული მაუწყებლობა საქართველოში .....	20
1.1. ციფრული მაუწყებლობის სტანდარტების მიმოხილვა და სტანდარტის შერჩევა.....	21
1.2. ციფრული სიგნალის სინქრონიზაცია SFN ქსელისთვის, მისი შედეგები და გადაწყვეტები.....	34
1.3. მობილური ციფრული მაუწყებლობა.....	50
1.4. I თავის დასკვნა.....	72
თავი 2. კრიპტო კოდირების სისტემაში GPS მოდულის ინტეგრაცია.....	74
2.1. კრიპტო კოდირების სისტემების მიმოხილვა.....	76
2.2. კრიპტო კოდირების სისტემის აღწერა.....	78
2.3. სისტემის უპირატესობა.....	86
2.4. სისტემის მახასიათებლები.....	89
2.5. GPS მოდულის ინტეგრაცია.....	93
2.6. შედეგები და დასკვნები.....	96
დასკვნა.....	98
გამოყენებული ლიტერატურა.....	100

## ცხრილების ნუსხა

83.

ცხრილი 1.1. DVB-T ქსელში გადაცემის სიჩქარის მონაცემები.....	24
ცხრილი 1.2. DVB სისტემებთან OFDM ის ძირითადი მახასიათებლები.....	26
ცხრილი 1.3. DVB-T2 ქსელში გადაცემის სიჩქარის მონაცემები.....	28
ცხრილი 1.4. დაცვითი ინტერვალი ერთი შემსვლელის და ერთი გამომსვლელის დროს.....	31
ცხრილი 1.5. დაცვითი ინტერვალი ბევრი შემსვლელის და ერთი გამომსვლელის დროს.....	31
ცხრილი 1.6. განსხვავება DVB-T და DVB-T2 სტანდარტებს შორის.....	33
ცხრილი 1.7. მიმღები მოწყობილობის პარამეტრები.....	38
ცხრილი 1.8. SFN სინქრონიზაცია დროის მიხედვით.....	41
ცხრილი 1.9. SFN სინქრონიზაცია მანძილის მიხედვით.....	41
ცხრილი 1.10. მიმღები მოწყობილობის (Set Top Box) პარამეტრები.....	52
ცხრილი 1.11. ფუნქციების სახე.....	84
ცხრილი 1.12. კრიპტო კოდირების პარამეტრები.....	87

## ნახაზების ნუსხა

გვ.

ნახ. 1.1. ობიექტის მოძრაობის და გაჩერების დროს ვიდეო ნაკადის შერჩევა.....	19
ნახ. 1.2. გაყიდული რესივერების რაოდენობა ქვეყნების მიხედვით.....	21
ნახ. 1.3. DVB-H სტანდარტის პარამეტრები.....	23
ნახ. 1.4. კონსტელაცია.....	29
ნახ. 1.5. პარამეტრების გამომანგარიშება არხში 20 მგ/წმ სთვის.....	29
ნახ. 1.6. პარამეტრების გამომანგარიშება არხში 21.7 მგ/წმ სთვის.....	30
ნახ. 1.7. ერთი შემსვლელი ერთი გამომსვლელი PP2 ის შემთხვევაში.....	32
ნახ. 1.8. ერთი შემსვლელი ერთი გამომსვლელი PP7 ის შემთხვევაში.....	32
ნახ. 1.9. მრავალ შესასვლელიანი და მრავალ გამოსასვლელიანი PP7 ის შემთხვევაში.....	32
ნახ. 1.10. მრავალ შესასვლელიანი და მრავალ გამოსასვლელიანი PP2 ის შემთხვევაში.....	33
ნახ. 1.11. ციფრული სტანდარტების მსოფლიო რუკა.....	34
ნახ. 1.12. პარამეტრების გამომანგარიშება არხში 28.58 მგ/წმ სთვის.....	35
ნახ. 1.13. ქუთაისის სამაუწყებლო პუნქტიდან ეფექტური გამოსხივებული სიმძლავრე.....	36
ნახ. 1.14. ქუთაისის სამაუწყებლო ზონა.....	37
ნახ. 1.15. მარტვილის სამაუწყებლო პუნქტიდან ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე.....	39
ნახ. 1.16. მარტვილის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა.....	40
ნახ. 1.17. პარამეტრების გამომანგარიშება არხში 27.59 მგ/წმ სთვის.....	42
ნახ. 1.18. ტყიბულის სამაუწყებლო პუნქტიდან ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე.....	43
ნახ. 1.19. ტყიბულის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა.....	44

ნახ. 1.20. ჭიათურის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე.....	45
ნახ. 1.21. ჭიათურის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა.....	45
ნახ. 1.22. საჩხერის სამაუწყებლო პუნქტიდან ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე.....	46
ნახ. 1.23. საჩხერის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა.....	47
ნახ. 1.24. თბილისის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე .....	48
ნახ. 1.25. თბილისის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა.....	48
ნახ. 1.26. კოჯრის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე.....	49
ნახ. 1.27. კოჯრის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა.....	49
ნახ. 1.28. პარამეტრების გამომანგარიშება არხში 4.5 მგ/წმ სთვის.....	51
ნახ. 1.29. პასიური ანტენა, მაგნიტური სამაგრით.....	52
ნახ. 1.30. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 1- ში.....	53
ნახ. 1.31. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 2- ში.....	54
ნახ. 1.32. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 3 -ში.....	54
ნახ. 1.33. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 4- ში.....	55
ნახ. 1.34. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 5- ში.....	55
ნახ. 1.35. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 6- ში.....	56
ნახ. 1.36. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 7- ში.....	56
ნახ. 1.37. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 8- ში.....	57
ნახ. 1.38. პარამეტრების გამომანგარიშება არხში 6.6 მგ/წმ- სთვის.....	58
ნახ. 1.39. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 1-ში (კვლევა 2).....	58
ნახ. 1.40. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 2-ში (კვლევა 2).....	59

ნახ. 1.41. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 3-ში (კვლევა 2).....	59
ნახ. 1.42. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 4-ში (კვლევა 2).....	60
ნახ. 1.43. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 5-ში (კვლევა 2).....	60
ნახ. 1.44. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 6-ში (კვლევა 2).....	61
ნახ. 1.45. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 7-ში (კვლევა 2).....	61
ნახ. 1.46. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 8-ში (კვლევა 2).....	62
ნახ. 1.47. პარამეტრების გამონგარიშება არხში 20.2 მგ/წმ სთვის.....	63
ნახ. 1.48. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 1-ში (კვლევა 3).....	63
ნახ. 1.49. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 2-ში (კვლევა 3).....	64
ნახ. 1.50. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 3-ში (კვლევა 3).....	64
ნახ. 1.51. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 4- ში (კვლევა 3).....	65
ნახ. 1.52. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 5-ში (კვლევა 3).....	65
ნახ. 1.53. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 6-ში (კვლევა 3).....	66
ნახ. 1.54. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 7- ში (კვლევა 3).....	66
ნახ. 1.55. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 8-ში (კვლევა 3).....	67
ნახ. 1.56. პარამეტრების გამონგარიშება არხში 13.2 მგ/წმ სთვის.....	68



ნახ. 1.57. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 1-ში (კვლევა 4).....	68
ნახ. 1.58. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 2-ში (კვლევა 4).....	69
ნახ. 1.59. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 3-ში (კვლევა 4).....	69
ნახ. 1.60. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 4- ში (კვლევა 4).....	70
ნახ. 1.61. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 5-ში (კვლევა 4).....	70
ნახ. 1.62. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 6-ში (კვლევა 4).....	71
ნახ. 1.63. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 7- ში (კვლევა 4).....	71
ნახ. 1.64. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 8-ში (კვლევა 4).....	72
ნახ. 2.1. CAS ორ საფეხურიანი დეტალური დეტალური სქემა.....	81

## დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

CAS	პირობითი დაშვების სისტემა
DVB	ციფრული ვიდეო მაუწყებლობა
DVB-T	მიწისზედა ციფრული ვიდეო მაუწყებლობა
DVB-T2	ციფრული ვიდეო მაუწყებლობა - მიწისზედა მაუწყებლობის მეორე თაობა
PIN	პირადი საიდენტიფიკაციო ნომერი
ECMG	უფლების საკონტროლო პაკეტის გენერატორი
EMMG	უფლების მენეჯმენტის პაკეტის გენერატორი
ECM	უფლების საკონტროლო პაკეტი
SMS	აბონენტის მართვის სისტემა
TS	ტრანსპორტ სტრიმი
STB	მიმღები მოწყობილობა
STBLoader	მიმღები მოწყობილობის ჩამტვირთავი
Smart Card	სმარტ ბარათ
EMM	უფლების მენეჯმენტის პაკეტი
IPP	ინფორმაცია პროგრამულ პაკეტზე
NIT	ცხრილი ქსელის ინფორმაციის შესახებ
HDTV	მაღალი გარჩევადობის ტელევიზია
SDTV	სტანდარტული დარჩევადობის ტელევიზია
DVB-S	სატელიტური ციფრული ვიდეო მაუწყებლობა
DVB-C	საკაბელო ციფრული ვიდეო მაუწყებლობა
Wideband	ფართოზოლოვანი ქსელი
DES	მონაცემთა შიფრაციის სტანდარტი
SARFT	რადიოსა და ტელევიზიის სახელმწიფო ადმინისტრაცია
RAID	დამოუკიდებელი დისკების მასივი
DFA	დიფერენციალური თავდასხმები
GPS	გლობალური პოზიციონირების სისტემა

EPG	ელექტრონული საპროგრამო გიდი
EIRP	ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე
FEC	შეცდომების პირდაპირი კორექცია
SFN	ერთფუნქციური სიხშირული ქსელი
SISO	ერთი შემსვლელი ერთი გამომსვლელი
MFN	მრავალფუნქციური სიხშირული ქსელი
MIMO	მრავალ შესასვლელიანი და მრავალ გამოსასვლელიანი
MISO	ბევრი შესასვლელი ერთი გამოსავლელი
UHF	ულტრა მაღალი სიხშირე
AES	მოწინავე დაშიფვრის სისტემა
OFDMA	მრავლობითი შეღწევადობა ორთოგონალური სიხშირული დაყოფით
QPSK	კვადრატორული ფაზური მოდულაცია
ITU	საერთაშორისო სატელეკომუნიკაციო კავშირი
dBi	ანტენის გაძლიერება იზოტროპულ ანტენასთან მიმართებაში
EIRP	ექვივალენტური იზოტროპულად გასხივებული სიმძლავრე
CDMA	მრავლობითი შეღწევადობა კოდური დაყოფით
BPSK	ორობითი ფაზური მოდულაცია
LDPC	დაბალი სიმკვრივის პარიტეტული შემოწმება
T2 MI	მიწისზედა ციფრული ვიდეო მაუწყებლობის მოდულატორის ინტერფეისი
DPA	დიფერენციალური სიმძლავრის ანალიზი
PID	პაკეტის იდენტიფიკატორი
IP	ინტერნეტ პროტოკოლი
MPEG-4 AVC	გაფართოებული ვიდეო კოდირება
H.265 HEVC	მაღალი ეფექტურობის ვიდეო კოდირება

S-DMB	სატელიტური - ციფრული მულტიმედიური მაუწყებლობა
T-DMB	მიწისზედა - ციფრული მულტიმედიური მაუწყებლობა
ISDB	ინტეგრირებული სერვისების ციფრული მაუწყებლობა
PAPR	პიკური სიმძლავრის შეფარდება საშუალოსთან

## მადლიერება

პირველ რიგში მინდა ბ-ნი სერგო შავგულიძის მიმართ გამოვხატო ჩემი მადლიერება. ბატონ სერგოს ვიცნობ 2009 წლიდან, პირველი შეხება საქართველოს კომუნიკაციების ეროვნული კომისიაში გვოქნდა, ბ-ნ სერგო იყო ჩემი სამეცნიერო თემის ხელმძღვანელი. განვლილი წლების მანძილზე, მისგან შევიძინე პროფესიული უნარ ჩვევები, მან ჩემში ჩამოაყალიბა მეცნიერული მიდგომები და წინამდებარე სადისერტაციო კვლევების დროს გამიწია მაღალი ხარისხის სამეცნიერო ხელმძღვანელობა. ამ ყველაფრისთვის მე ბ-ნ სერგო შავგულიძეს ვუხედი ძალიან დიდ მადლობას.

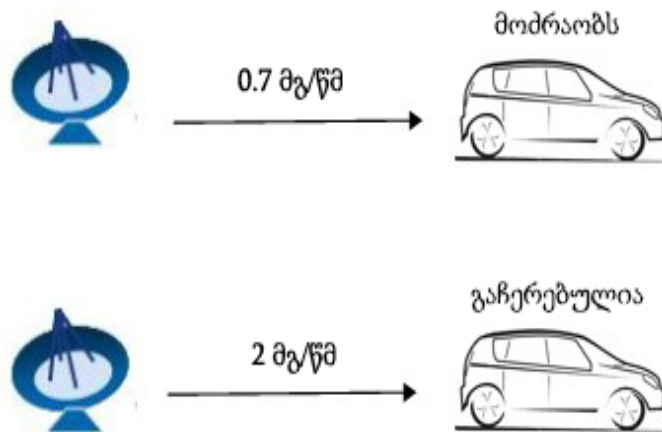
ასევე მინდა მადლიერება გამოვხატო შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი ხელმძღვანელობის მიმართ, მათ მიერ გაცემული გრანტი დამეხმარა მემუშავა ჩინეთის წამყვან ლაბორატორიაში, რამაც დიდი როლი ითამაშა როგორც ჩემ პროფესიულ განვითარებაში ისე დისერტაციის ნაშრომის შექმნაში.

მე მინდა ასევე ჩემი დიდი მადლიერება გამოვხატო ჩემი ოჯახის მიმართ: დედის, მამის, მეუღლის მიმართ, რომლებიც ასევე მამხნელებდნენ და სტიმულს მაძლევდნენ სამეცნიერო სამუშაოებისას, სახლის პირობებში მიქმნიდნენ სამუშაო გარემოს და ყველანაირად ხელს მიწყობდნენ მუშაობაში.

## შესავალი

ჩვენმა ქვეყანამ ჟენევის 2006 წლის შეთანხმების თანახმად აიღო ვალდებულება ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლასთან დაკავშირებით, რომელიც წარმატებით განხორციელდა. ასევე მნიშვნელოვანია რომ შევჩერდით იმ სტანდარტზე რომელიც დღეისთვის ტექნოლოგიურად ყველაზე დახვეწილი და მოთხოვნადია. აღნიშნული რეფორმის ერთ-ერთი დადებითი მხარე სიხშირული რესურსის გამოთავისუფლებაა, ამასთან SFN ქსელის აგების შემთხვევაში აღნიშნული რესურსი უფრო იზოგება. ჩვენი ქვეყნის რელიეფიდან გამომდინარე აღნიშნული საკითხის სწორედ გადაწყვეტა დამატებითი გამოწვევა იყო. მეორე თავში დეტალურად განვიხილავთ ყველა იმ სირთულეებს და მათ გადაჭრის გზებს, რაც ერთსიხშირიანი ქსელის აგების პროცესში შეგვხვდა.

მობილური ციფრული მაუწყებლობა DVB-T2 სტანდარტით, ეს არის ინოვაციური პროექტი, რაც გულისხმობს მოძრაობაში (მაგ. ავტომობილში) უწყვეტად მაუწყებლობის მიღებას. ამ საკითხზე მუშაობისას მნიშვნელოვანი იყო სწორი პარამეტრების შერჩევა, როგორც გადამცემ ისე მიმღებ მხარეს; რელიეფთან ერთად ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევა ქალაქში მოძრაობის დროს მაღალსართულიანი შენობები იყო, რაც ხშირად სიგნალის წყვეტის მიზეზი ხდებოდა, სადისერტაციო ნაშრომში დეტალურად განვიხილავთ დასმული საკითხის გადაწყვეტის გზებს. აღნიშნულ პროექტში GPS ჩიპის ინტეგრაციას ბევრი თანამედროვე გამოწვევების გადაჭრა შეუძლია, რომელსაც ანალოგი არ ყავს მსოფლიოში. ინტეგრაცია მნიშვნელოვან როლს ითამაშებს მობილურ (მოძრავ) ციფრულ მაუწყებლობაში როგორც მონიტორინგის, ისე ხარისხის ამაღლების თვალსაზრისით. მაგალითად, თუ მოძრავ ობიექტს შედარებით დაბალ ვიდეო ნაკადს ვაძლევთ, რაც გამოწვეულია მოდულაციის პარამეტრებით, რათა უფრო საიმედო იყოს სიგნალის მიღება, მოძრავი ობიექტის გაჩერების დროს ამის აუცილებლობა აღარ არის და შესაძლებელია ვიდეო ნაკადი გავზარდოთ (თვალსაჩინოებისთვის იხილეთ ნახაზი 1.1).



ნახ. 1.1. ობიექტის მოძრაობის და გაჩერების დროს ვიდეო ნაკადის შერჩევა

აღნიშნული ტექნოლოგიით მოძრავს ობიექტს მაუწყებლობაში არ ექნება შეფერხება ნებისმიერი სიჩქარის განვითარების დროსაც.

დახურულ კრიპტო კოდირებულ მაუწყებლობაში ერთ-ერთი მთავარი ამოცანა მისი უსაფრთხოებაა, რათა თავიდან იქნეს აცილებული არასანქცირებული წვდომა ამა თუ იმ არხზე. დღეს მსოფლიოში რამდენიმე ცნობი კრიპტო კოდირების პროვაიდერია, მათ შორის Irdeto, Viaaccess, Conax და ა.შ. ყველა სისტემას გააჩნია თავისი უნიკალური ალგორითმი, რომელიც უზრუნველყოფს მონაცემების დაშიფვრას, ერთ-ერთი კოდირების სისტემა რომლის ალგორითმზეც მოგვიწია მუშაობა არის Sumavision, მეორე თავში განვიხილავთ აღნიშნული სისტემის უპირატესობებს, ყველა იმ დაცვით პარამეტრებს რაც თანამედროვე კრიპტო კოდირების სისტემებს უნდა გააჩნდეთ.

## თავი 1. ციფრული მაუწყებლობა საქართველოში

ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლა საქართველოს საერთაშორისო ვალდებულება გახლდათ [1]. ჟენევის 2006 წლის შეთანხმების თანახმად, ე.წ. პირველი რეგიონის ქვეყნები, რომლებშიც საქართველოც შედის, 2015 წლამდე ციფრულ მაუწყებლობაზე უნდა გადასულიყვნენ.

ციფრული მაუწყებლობის დროს შესაძლებელია H.264 ვიდეო კომპრესიით ერთი ანალოგური არხის ნაცვლად შესაძლებელია იმაუწყებლოს თორმეტამდე სტანდარტული გარჩევადობის სატელევიზიო არხმა და თუ თანამედროვე კომპრესიას გამოვიყენებთ (H.265) მაშინ მულტიპლექსში ოცდახუთი არხის მაუწყებლობაცაა შესაძლებელი. მომხმარებელთათვის მიწისზედა ტელე-მაუწყებლობის გაციფრულებამ უზრუნველყო ხმისა და გამოსახულების გაუმჯობესებული ხარისხი, უფრო მეტი სატელევიზიო პროგრამა გახადა ხელმისაწვდომი. ასევე მნიშვნელოვანია სიხშირული რესურსის დაზოგვის მხრივ, რაც მომავალში იძლევა საშუალებას გამოთავისუფლებული სიხშირეების სხვა ტექნოლოგიებში გამოყენებას, რომლის მაგალითიც მსოფლიოში არაერთია [2].

უშუალოდ ჩართული ვიყავი ქვეყნის გაციფრულების პროცესში და ჩემი სადისერტაციო ნაშრომის დიდი ნაწილი გადასვლის პროცესში გამოწვეულ სირთულეებზე და მათ გადაჭრის გზებზეა აგებული, ბევრი არასტანდარტული გადაწყვეტები გამოვიყენეთ და უამრავი სიახლე დავწერეთ, რადგან თითოეული ქვეყნის გაციფრულება მისი რელიეფის სპეციფიკიდან გამომდინარე სხვადასხვაა. ყველა უწყება იყო ჩართული ციფრული მაუწყებლობის გადასვლის პროცესში, რადგან ეს ქვეყნის ვალდებულება იყო, მსოფლიოში არ მოიძებნება ქვეყანა რომელმაც 11 თვეში მოახერხდა ანალოგური მაუწყებლობიდან ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლა, მაშინ როდესაც ჩვენმა მეზობელმა ქვეყნებმა ოფიციალურად ჯერ კიდევ ვერ მოახერხეს გაციფრულება.

საქართველოს ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლის სტანდარტად



DVB-T2 განისაზღვრა და ვფიქრობ, რომ არა ეს სტანდარტი, SFN ქსელის აგება გაჭირდებოდა. შემდეგ თავში მიმოვიხილავთ DVB-T და T2 სტანდარტებს, გავამახვილებთ ყურადღებას მათ დადებით და უარყოფით მხარეებზე, ასევე ვისაუბრებთ ქვეყნის გაციფრულების დროს წარმოქმნილ პრობლემებზე და გადაჭრის გზებზე.

### 1.1. ციფრული მაუწყებლობის სტანდარტების მიმოხილვა და სტანდარტის შერჩევა

DVB-T მაუწყებლობა მსოფლიოს 40 ზე მეტ ქვეყანაში ხორციელდება და დაახლოებით 200 მილიონამდე Set top box გაყიდული, აქედან 150 მილიონი ევროპის ქვეყნებზე მოდის[3]. იხილეთ ნახაზი 1.2.

Country	Population (million)	DVB-T Services Launched	Receivers Sold (million to nearest 0.5)
United Kingdom	60	1998 (2002 Freeview)	46
Spain	45	2000	30
Italy	59	2004	29
France	64	2005	17.5
Germany	82	2002	16
Australia	21	2001	2.5
Taiwan	30	2005	2.5

The most successful DVB-T markets (Dec. 2009)

#### ნახ. 1.2. გაყიდული რესივერების რაოდენობა ქვეყნების მიხედვით

DVB-T სტანდარტის შემუშავების დროს მნიშვნელოვანი მოდულაციის ტიპის არჩევაა - ერთსიხშირიანის, თუ მრავალსიხშირიანის. ამერიკელებმა უკვე ამოირჩიეს თავიანთი სტანდარტი ATSC - ერთსიხშირიანი მოდულაციის სქემით, 8-VSB (Vestigial sideband modulation) [4]. ATSC სისტემა შემუშავდა სპეციალურად ისეთი სახით, რომ უკვე არსებულ თითოეულ ანალოგურ NTSC სისტემას შეძლებოდა დამატებით

მიერთებინა ციფრული გადაცემები გადაცემის ზონაში, როგორც სტატიკურ, ასევე მოძრავ რეჟიმში. იაპონელები თავიანთი გზით წავიდნენ და შეჩერდნენ ISDB - OFDM სისტემაზე [5]. ISDB სისტემა ახლოსაა DVB-T სისტემასთან, მაგრამ ახასიათებს მულტიმედია გადაცემის უფრო მეტი შესაძლებლობა, რაც გამოიხატება თითოეული სეგმენტირებული სიხშირული ზოლის მოდულაციის ინდივიდუალური შესაძლებლობითა და კოდირების კორექტირებით.

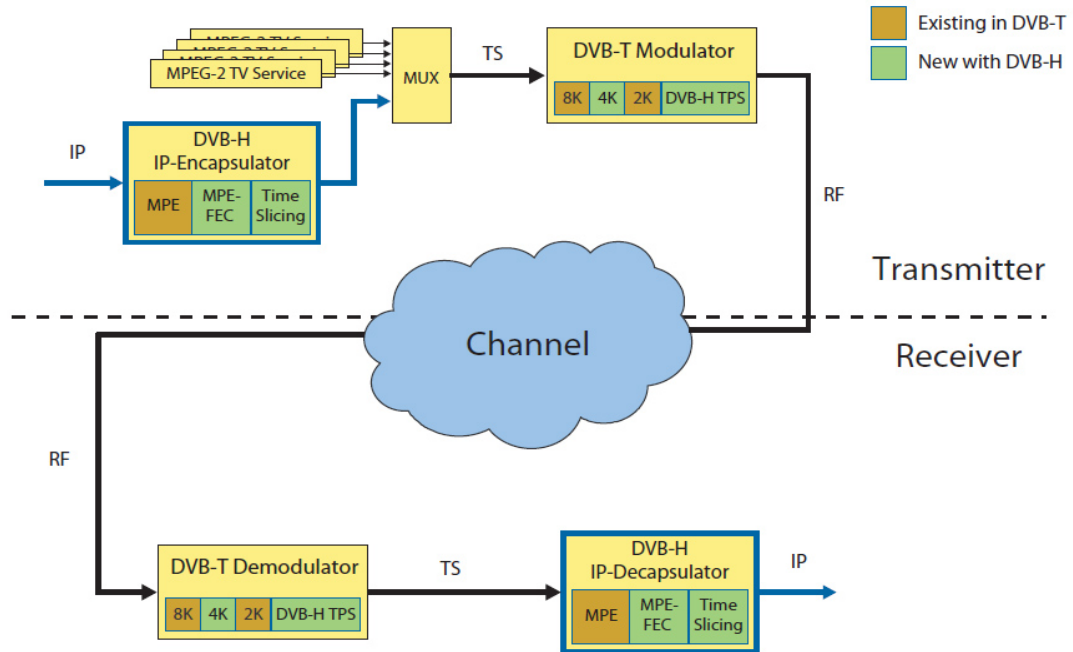
DVB-T სისტემის შემუშავების დროს მნიშვნელოვანი იყო ადაპტირება ყველა შესაძლო სისტემასთან, ფიქსირებულ, თუ მობილურ მიმღებებთან, აგრეთვე, ერთსიხშირიან ქსელებთან. სამაუწყებლო ყველა არსებულ ციფრულ სისტემებთან შედარებით, DVB-T სისტემა ვითარდება ყველაზე უფრო დინამიურად, მას უფრო მეტი მომხმარებელი ჰყავს, რადგანაც 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 ით, ხოლო მინიმალური 5 მგბ/წმ ით. 1.1 ცხრილში დეტალურად არის მოცემული გადაცემის სიჩქარის კალკულაცია სხვადასხვა პარამეტრების მიხედვით: მოდულაცია, ხელშემლამდგრადი კოდირების სიჩქარე, დამცავი ინტერვალი.

DVB-H სტანდარტი, ესაა DVB-T სტანდარტის მოდიფიცირებული ვერსია და ორიენტირებულია მობილური ტელეფონის ენერჯის დაზოგვაზე, რომელიც გამოიყენება პორტატულ მიმღებებში. DVB-H როგორც სტანდარტი პირველად გამოქვეყნდა 2004 წლის ნოემბერს „ETSI“ (European Telecommunications Standards Institute) მიერ.

DVB-H შეიძლება ჰქონდეს საერთო მულტიპლექსი DVB-T სთან, ის იყენებს პარამეტრს სახელწოდებით multi-protocol encapsulation (MPE), რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია გადასცეს მონაცემები ქსელში - TS (transport

streams). DVB-H ის Forward Error Correction (FEC) პარამეტრში DVB-T სთან შედარებით დამატებულია 4k, რაც უფრო მეტ სტაბილურობას აძლევს ქსელს. იხილეთ ნახაზი 1.3



ნახ. 1.3. DVB-H სტანდარტის პარამეტრები.

DVB-H ის ერთ-ერთი მთავარი პარამეტრია მიმღებ მოწყობილობაში ენერჯის დაზოგვა, ინდივიდუალურად ყველა არხი(სერვისი) რომელიც გადაიცემა DVB-H ფორმატში პაკეტურად არის ძილის რეჟიმში (sleep mode), მხოლოდ გადმოიცემა ის არხი რომელსაც მომხმარებელი უყურებს.

DVB-T2 სტანდარტის ტესტირება - სპეციფიკაციის ტესტირება დაიწყო დიდ ბრიტანეთში 2008 წლის ივნისში. BBC-იმ, სამაუწყებლო ოპერატორებთან - Arqiva და National Grid Wireless ერთად განახორციელა პირველი სატესტო გადაცემა DVB-T2 სტანდარტით. 2008 წლის სექტემბერში, ციფრული მაუწყებლობის გამოფენაზე ამსტერდამში, DVB-ის სტენდზე დამთვალეირებლებმა პირველად იხილეს HD კონტენტი, კოდირებული H.264 და გადაცემული DBV-T2 ტექნოლოგიით. პირველად დემონსტრირებებში სამი HD არხი გადაიცემოდა ერთ მულტიპლექსში,

თითოეული არხის სიჩქარე 11 მგბ/წმ იყო. სიგნალის დეკოდირება ხდებოდა შესაბამისი დემოდულატორით და H.264 დეკოდერით, რომლის შემდეგ ჩვენება ხდებოდა HD მონიტორზე. მეორე პრეზენტაციაზე ENENSYS Technologies, NXP Semiconductors და Pace განისაზღვრა ყველაზე საიმედო მახასიათებლები DVB-T2 ტექნოლოგიაში. პრეზენტაციამ აჩვენა, თუ რა საიმედო და მაღალი ხარისხის მიღება ჰქონდა სიგნალს.

ცხრილი 1.1. DVB-T ქსელში გადაცემის სიჩქარის მონაცემები.

მოდულაცია	ხელშეშლამდგრადი კოდის სიჩქარე	დაცვითი ინტერვალი			
		1/4	1/8	1/16	1/32
<b>QPSK</b>	1/2	4,976	5,529	5,855	6,032
	2/3	6,635	7,373	7,806	8,043
	3/4	7,465	8,294	8,782	9,048
	5/6	8,294	9,216	9,758	10,053
	7/8	8,709	9,676	10,246	10,556
<b>16-QAM</b>	1/2	9,953	11,059	11,709	12,064
	2/3	13,271	14,745	15,612	16,086
	3/4	14,929	16,588	17,564	18,096
	5/6	16,588	18,431	19,516	20,107
	7/8	17,418	19,353	20,491	21,112
<b>64-QAM</b>	1/2	14,929	16,588	17,564	18,096
	2/3	19,906	22,118	23,419	24,128
	3/4	22,394	24,882	26,346	27,144
	5/6	24,882	27,647	29,273	30,160
	7/8	26,126	29,029	30,737	31,668

DVB-T2 ახალი სტანდარტის დამტკიცება და ექსპლუატაციაში გაშვება: ბრიტანეთის ტელეკომუნიკაციების მარეგულირებელმა ორგანომ (Ofcom) გადაწყვიტა ერთი მულტიპლექსი აემუშავებინა ღია, მაღალი გარჩევადობის სერვისისთვის და მულტიპლექსში DVB-T2 სტანდარტით უნდა გადაცემულიყო სამი არხი - BBC, ITV და Channel4 მაღალი რეზოლუციით, იმ დროისთვის ყველაზე თანამედროვე ვიდეო კომპრესიით - MPEG-4. აღნიშნული იდეა განხორციელდა 2009 წლის 2

დეკემბერს [6]. ფინეთში DNA Oy -იმ მიიღო ლიცენზია ორი მულტიპლექსით სამუშაოდ, რომლის გაშვებაც შედგა 2010 წლის ნოემბერში. შვეიცარიაში გაუშვეს 2010 წლის 1 ნოემბერს 5 HD არხით. იტალიაში Europa7-მა 7 HD არხით გაუშვა 2010 წლის გაზაფხულზე. ზამბიაში ZNBC-მ 10 ფასიანი არხი გაუშვა 2011 წლის 1 ივლისიდან. ისეთი ქვეყნები როგორცაა თურქეთი, ავსტრია, სერბეთი, ჩეხეთი, ინდოეთი, ავსტრალია და ა.შ. უკვე მიღებულია DVB-T2 სტანდარტი. ჩვენმა ქვეყანამ 2015 წელს წარმატებით განახორციელა აღნიშნული სტანდარტის დანერგვა. DVB-T2-ს ტექნიკური გამოცდისას დიდ ბრიტანეთში BBC და Ofcom ერთობლივად ცდიდნენ და მოდერნიზირებას უკეთებდნენ DVB-T2 სისტემებს გრენადის რეგიონში. გამოცდას გადიოდა ასევე მიმღები სისტემაც. ტესტები მოიცავდნენ როგორც ლაბორატორიულ, ასევე ღია ეთერით გადაცემა-მიღებას. ტესტირების წარმატებით ჩატარებას ხელი შეუწყო Arqiva და ENENSYS-სთან მჭიდრო თანამშრომლობამ. ENENSYS-იმ წარმოადგინა აპარატურული, რეალურ რეჟიმში მომუშავე DVB-T2 მოდულატორი, რომელიც მიერთებულ იქნა Arqiva-ს გადამცემ აპარატურაზე.

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) მოდულაციას. (1.2 ცხრილში იხილეთ სხვადასხვა სისტემებისათვის OFDM-ის ძირითადი მახასიათებლები). რეჟიმების დიდ რიცხვზე ხელმისაწვდომობა იძლევა გამოყენების ნებისმიერი უბნის სპეციფიკაციაზე მორგების საშუალებას მოქნილობის იმავე დონისთვის, რაც გააჩნდა DVB-T სტანდარტს. 256 QAM

ის დამატება DVB-T2-ის სპეციფიკაციაში საშუალებას იძლევა, გაიზარდოს თითოეული სიგნალთა სისტემის მიერ გადატანილი ბიტების რიცხვი, რასაც არხში ნაკადის გაზრდამდე მივყავართ.

**ცხრილი 1.2. DVB სისტემებთან OFDM ის ძირითადი მახასიათებლები**

დასახელება	DVB - T	DVB - H	DMB - T/H	DVB - T2
მიღების წლები	1997	2004	2006	2007
სიხშირული დიაპაზონი	470 – 862 მჰც 174 – 230 მჰც	470–862 მჰც	470–862 მჰც	470 – 862 მჰც 174 – 230 მჰც
არხის ინტერვალი (მჰც)	6.7.8	5.6.7.8	8	1.7. 5. 6. 7. 8. 10
FFT ზომა (k=1,024)	2k. 8k	2k, 4k, 8k	4k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
მოდულაცია	QPSK. 16QAM. 64QAM	QPSK. 16QAM. 64QAM	4QAM. 4QAM-NR. 16QAM. 32QAM. 64QAM.	QPSK. 16QAM. 64QAM. 256QAM
სასარგებლო სიმბოლოების სიგრძე	2K რეჟიმი: 224 8K რეჟიმი: 896	224, 448, 896	500	112-3,584 (1K-32K)
დამატებითი დაცვითი ინტერვალი	$\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{8}$ , $\frac{1}{16}$ , $\frac{1}{32}$	$\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{8}$ , $\frac{1}{16}$ , $\frac{1}{32}$	$\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{6}$ , $\frac{1}{9}$	$\frac{1}{128}$ , $\frac{1}{32}$ , $\frac{1}{16}$ , $\frac{19}{256}$ , $\frac{1}{8}$ , $\frac{19}{128}$ , $\frac{1}{4}$ . (32k რეჟიმისთვის მაქსიმალური 1/8)
შიდა შეცდომების კორექცია	$\frac{1}{2}$ , $\frac{2}{3}$ , $\frac{3}{4}$ , $\frac{5}{6}$ , $\frac{7}{8}$	$\frac{1}{2}$ , $\frac{2}{3}$ , $\frac{3}{4}$ , $\frac{5}{6}$ , $\frac{7}{8}$	LDPC 0.4, 0.6, 0.8	LDPC $\frac{1}{2}$ , $\frac{3}{5}$ , $\frac{2}{3}$ , $\frac{3}{4}$ , $\frac{4}{5}$ , $\frac{5}{6}$
გარე შეცდომების კორექცია	RS (204, 188, t=8)	RS (204, 188, t=8) + MPE-FEC	BCH კოდი (762, 752)	BCH კოდი
დროის ინტერვალი (მ/წ)	0.6–3.5	0.6–3.5	200–500	250 - 500
წყაროს კოდირება	2–18 მბ/წმ სტანდარტული გარჩევადობა - მაღალი გარჩევადობა	ვიდეო: MPEG-2. H.264 ხმა: AC-3	ვიდეო: MPEG-2. H.264 ხმა: AC-3	H.264, MPEG2 (ხმა: AAC HE, AC-3 (A52), MPEG-2 AL 2.)

DVB-S2-ის სტანდარტის მსგავსად, DVB-T2 სტანდარტი იყენებს LDPC (Low-density parity-check) კოდეებს BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham) კოდეებთან კომბინაციაში, რათა მოახდინოს დაცვა ხმაურის მაღალი დონეებისა და ხელშეშლებისაგან. DVB-T და DVB-T2, ორივე COFDM (Coded rthogonal Frequency Division Multiplex)[7] გადაცემის სქემას იყენებს, თუმცა T2 გამოირჩევა მთელი რიგი ტექნიკური გაუმჯობესებით, როგორც ვისაუბრეთ

მთავარი ამოცანა 30% ით არხის გამტარუნარიანობის გაზრდა გახლდათ. DVB-T მაღალი ხმაურის დონეების დასაცავ იყენებს კონვოლუციურ კოდს და რიდ-სოლომონს, ხოლო DVB-T2 ში LDPC და BCH ბევრად 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 -ი იწვევს არხში ნაკადის კიდევ უფრო მეტ ტევადობას (ცხრილი 1.3).

შემდეგი ცვლილება გახლავთ კონსტელაციის ბრუნვა, რაც უფრო მეტ ენერგეტიკულ ეფექტურობას იძლევა და ზრდის ხელშეშლამდგრადობას მიყუჩების შემცველ არხებში [8]. შესაბამისად სიგნალი უფრო მდგრადია და არ მოქმედებს გარე ფაქტორები, მაგალითად შენობები, ამინდი და ა.შ.

QPSK მოდულაციის შემთხვევაში შესაძლებელია 29 გრადუსიანი ბრუნვი, 16 QAM ის დროს 16.8 გრადუსი, 64 QAM ის დროს 8.6 გრადუსი, 256 QAM ის დროს დაახლოებით 3.57 გრადუსი. დამცავ ინტერვალში დამატებულია სამი პარამეტრი: 19/256, 19/128, 1/128 [9]. 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.

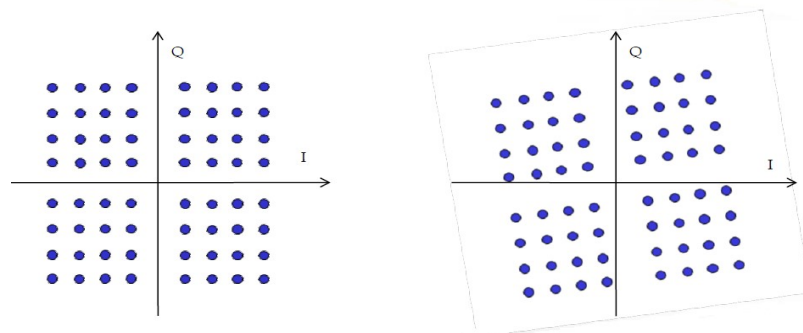
**ცხრილი 1.3. DVB-T2 ქსელში გადაცემის სიჩქარის მონაცემები**

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
	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

16-QAM	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
64-QAM	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
	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

ერთი და იგივე პარამეტრების შემთხვევაში 19/256 დამცავი ინტერვალის დროს არხში ბიტების გადაცემის სიჩქარე ნაკადში შეადგენს 20,364 მბ/წმ, რაც ნაჩვენებია ნახ. 1.5 ზე.[10]. ხოლო 1/128 ის შემთხვევაში 21,711 მგ/წმ. იხ. ნახაზი 1.6

DVB-T      64 QAM      DVB-2 ამობრუნებული      64 QAM



ნახ. 1.4. კონსტელაცია



**DVB-T2**

**DVB-T2**

Bandwidth: 8 MHz  ext. Pilot Pattern: PP4 FFT: 8 k Guard: 19/256

TR-PAPR  SISO  MISO  T2 Lite

PLP

Modulation: 64 QAM Code Rate: 1/2 LDPC: 64k  HEM

Frame

Data Symbols: 241 [7..258] FEC Blocks: 147 [1..147]

Bit-Rate

Netto: 20,364,967 Bit/s Brutto: 41,074,759 Bit/s

Data Rate	Symbols	Blocks
20,323,992	258	157
20,272,743	257	156
20,351,553	256	156
20,300,012	255	155
20,248,066	254	154
20,327,710	253	154
20,275,463	252	153
20,355,847	251	153
20,303,297	250	152
20,250,326	249	151
20,331,577	248	151
20,278,294	247	150
20,360,315	246	150
20,306,715	245	149
20,252,679	244	148
20,335,603	243	148
20,281,241	242	147
<b>20,364,967</b>	<b>241</b>	<b>147</b>
20,310,276	240	146

ნახ. 1.5. პარამეტრების გამოსწავრიშება არხში 20 მგ/წმ სთვის

**DVB-T2**

**DVB-T2**

Bandwidth: 8 MHz  ext. Pilot Pattern: PP4 FFT: 8 k Guard: 1/128

TR-PAPR  SISO  MISO  T2 Lite

PLP

Modulation: 64 QAM Code Rate: 1/2 LDPC: 64k  HEM

Frame

Data Symbols: 264 [7..275] FEC Blocks: 161 [1..161]

Bit-Rate

Netto: 21,711,300 Bit/s Brutto: 43,790,222 Bit/s

Data Rate	Symbols	Blocks
21,623,670	275	167
21,702,231	274	167
21,650,937	273	166
21,599,268	272	165
21,678,605	271	165
21,626,656	270	164
21,706,682	269	164
21,654,452	268	163
21,601,833	267	162
21,682,663	266	162
21,629,755	265	161
<b>21,711,300</b>	<b>264</b>	<b>161</b>
21,658,100	263	160
21,604,495	262	159
21,686,877	261	159
21,632,972	260	158
21,578,653	259	157
21,661,888	258	157
21,607,260	257	156
21,691,254	256	156
21,636,315	255	155

ნახ. 1.6. პარამეტრების გამოსწავრიშება არხში 21.7 მგ/წმ-სთვის

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.

რაოდენობა არხის გატარებისა 8 MHz იან ზოლში: სტანდარტულ რეჟიმში არის 7.61 MHz, ხოლო გაფართოებულ რეჟიმში 7.71 MHz 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 1.4 და ცხრილი 1.5, სადაც ნაჩვენებია PP - ის გამოყენება ფურიეს დისკრეტულ გარდაქმნასთან DFT და დამცავ ინტერვალთან (Guard Interval).

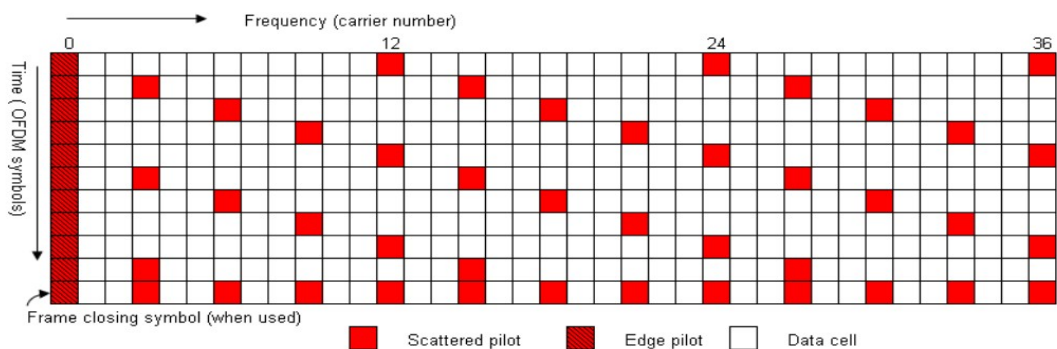
**ცხრილი 1.4. დაცვითი ინტერვალი ერთი შემსვლელის და ერთი გამომსვლელის დროს**

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							

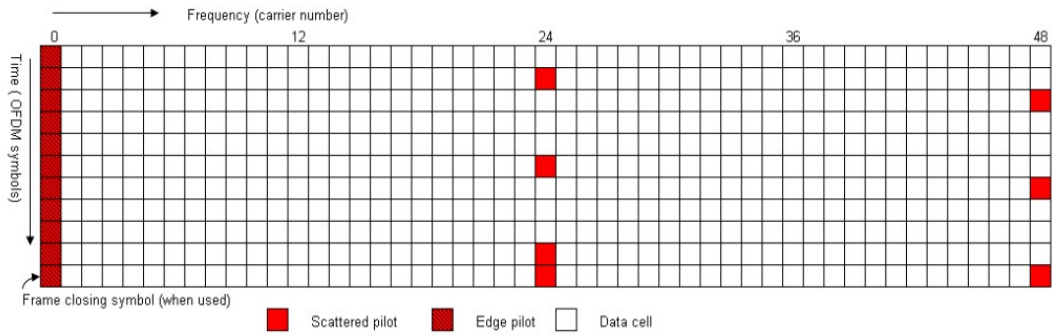
**ცხრილი 1.5. დაცვითი ინტერვალი ბევრი შემსვლელის ერთი გამოსავლელის დროს**

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							

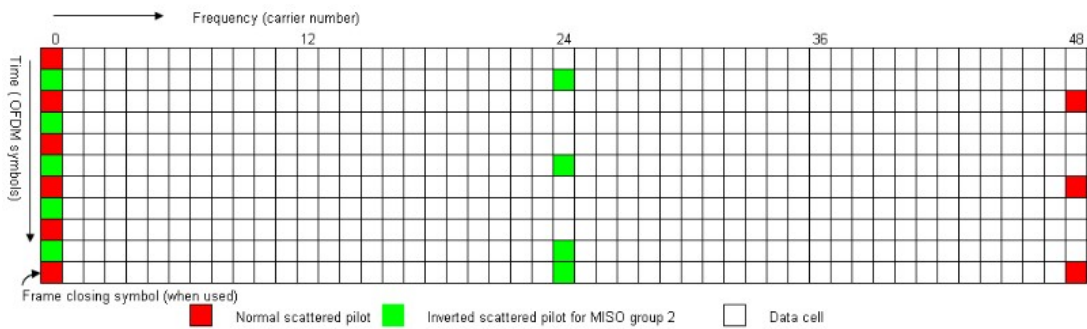
PP არჩევის დროს უნდა განვსაზღვროთ მიმღების მხარეს აქცენტი რაზე კეთდება, თუ გარე სახურავის ანტენით გვიხდება მიღება მაშინ უმჯობესია პარამეტრად PP7 ავიღოთ, რაც შედარებით მეტ ნაკადს მოგვცემს თუმცა მდგრადობა უფრო ნაკლები იქნება, იმ შემთხვევაში თუ მოძრაობაში გვინდა სიგნალის მიღება, მაშინ მყარი სიგნალის მისაღებად უმჯობესია PP2 ან PP4 ავირჩიოთ, ამ შემთხვევაში არხში ბიტების გადაცემის სიჩქარე შედარებით შეგვიმცირდება, თუმცა უფრო მეტი სტაბილურობა გვექნება სიგნალის მიღების დროს. აღნიშნული პარამეტრის უკეთ დასანახად იხილეთ ვიზუალური დიაგრამა. ნახ. 1.7, ნახ. 1.8, ნახ. 1.9, ნახ. 1.10,



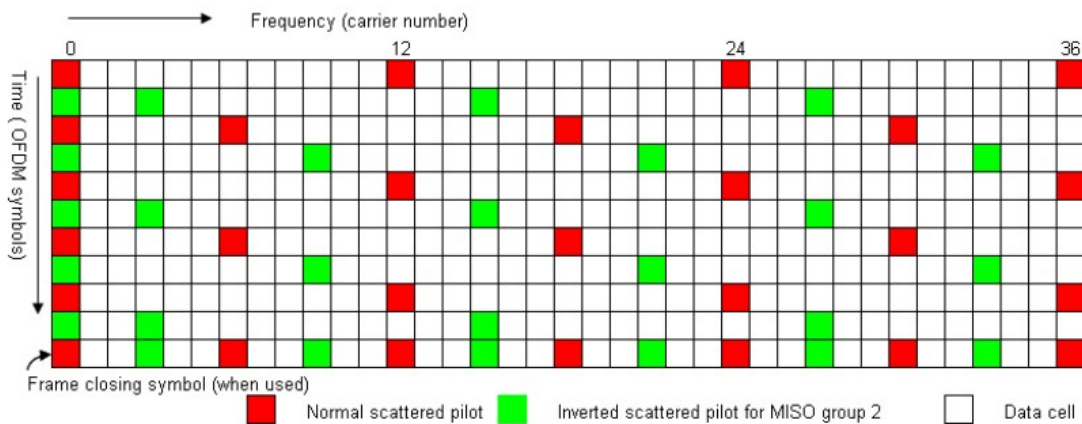
ნახაზი. 1.7. ერთი შემსვლელი ერთი გამომსვლელი PP2 ის შემთხვევაში



ნახაზი. 1.8. ერთი შემსვლელი ერთი გამოსვლელი PP7 ის შემთხვევაში



ნახ. 1.9. მრავალ შესასვლელიანი და მრავალ გამოსასვლელიანი PP7 ის შემთხვევაში



ნახაზი. 1.10. მრავალ შესასვლელიანი და მრავალ გამოსასვლელიანი PP2 ის შემთხვევაში

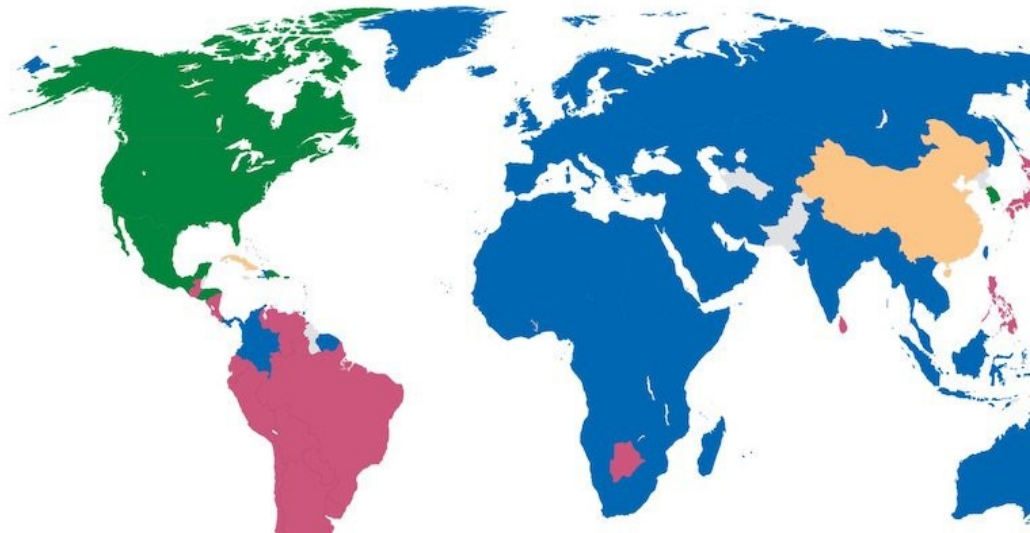
1.6 ცხრილში მოცემულია განსხვავება პარამეტრებში DVB-T და DVB-T2 სტანდარტებს შორის.

ცხრილი 1.6. 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.

166 ქვეყანამ DVB-T/T2 სტანდარტზე შეაჩერა არჩევანი, მათ შორის საქართველოცაა. ნახაზში 1.11. მოცემულია თუ რა ძირითად სტანდარტებს იყენებენ მსოფლიოში.[11]



ნახ. 1.11. ციფრული სტანდარტების მსოფლიო რუკა

## 1.2. ციფრული სიგნალის სინქრონიზაცია SFN ქსელისთვის, მისი შედეგები და გადაწყვეტები

ჩვენი ქვეყნის ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლის პროცესში მნიშვნელოვანი იყო SFN ქსელის აგება, რაც დაფარვის არეალს უფრო გაზრდიდა და სიხშირული რესურსის ეფექტური გამოყენება მოხდებოდა. ქვეყნის რელიეფიდან გამომდინარე, SFN სინქრონიზაცია ციფრულზე გადასვლის პროცესში ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევაა. შერჩეულ იქნა ის სამაუწყებლო პუნქტები საიდანაც გამოსხივებული სამაუწყებლო სიგნალის გადაფარვა გარდაუვალია და რეალურად დავინახავთ ყველა იმ პარამეტრის ცვლილების შედეგებს რომელსაც სათაო სადგურში გავწერთ.

სათაო სადგურში გაწერილია შემდეგი პარამეტრები:

Interface T2MI

Network Mode SFN

Bandwidth 8 MHz

T2 Profile Base

L1 Modulation BPSK

Extended Carrier ON



FFT 32 K

Guard Interval 1/32

Pilot Pattern PP4

T2 Frame 3

Constellation 64 QAM

Code Rate 2/3

Local Delay 700 MS (მილიწამი)

როგორც ნახ. 1.12.-დან ჩანს აღნიშნული პარამეტრებით არხის გამტარუნარიანობა შეადგენს 28.580 მეგაბიტს.

The screenshot shows the DVB-T2 configuration interface. On the left, various parameters are set: Bandwidth (8 MHz), Pilot Pattern (PP4), FFT (32 k), Guard (1/32), Modulation (64 QAM), Code Rate (2/3), LDPC (64k), and HEM (checked). The Data Symbols are set to 57 and FEC Blocks to 142. The Bit-Rate section shows a Netto rate of 28,579,546 Bit/s and a Brutto rate of 43,108,812 Bit/s. On the right, a table lists various configurations with their corresponding Data Rate, Symbols, and Blocks. The configuration with 28,579,546 Data Rate, 57 Symbols, and 142 Blocks is highlighted in blue.

Data Rate	Symbols	Blocks
28,479,468	65	161
28,456,541	63	156
28,432,136	61	151
28,406,105	59	146
<b>28,579,546</b>	<b>57</b>	<b>142</b>
28,556,917	55	137
28,532,614	53	132
28,506,444	51	127
28,478,183	49	122
28,447,569	47	117
28,414,297	45	112
28,378,005	43	107
28,338,261	41	102
28,294,548	39	97
28,246,242	37	92
28,192,577	35	87
28,132,610	33	82
28,429,644	31	78

ნახ. 1.12. შერჩეული პარამეტრები, რომელიც იძლევა არხში 28.58 მგ/წმ

სათაო სადაო სადგურში გაწერილი მონაცემები მიწისზედა სარელო ქსელით მივაწოდეთ ქუთაისის სამაუწყებლო ანძას, სადაც აყენია როდემზარცის ტიპის გადამცემი. სადისტრიბუციო(სარელო) ქსელში დაყოვნებამ შეადგინა 40 მილიწამი, რაც SFN ქსელისთვის იდეალურია.

განვსაზღვროთ ქუთაისის სამაუწყებლო ანძიდან რომლის კოორდინატებია - 42°16'47.99"N, 42°44'10.63"E, გამოსხივებული სიგნალის განფენა. იმისათვის რომ აღნიშნული დავიტანოთ ელექტრონულ რუკაზე საჭიროა ყველა პარამეტრის ცოდნა:

ანტენის დაკიდების სიმაღლე 110 მეტრი;

სიმძლავრე 700 ვატი;

დიაპაზონი UHF;

ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი 11 dBi.

ამ პარამეტრებიდან გამომდინარე, ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე როგორც 1.13 ნახაზიდან ჩანს შეადგენს დაახლოებით 5 კილოვატს, თუ გავითვალისწინებთ კაბელში დანაკარგსაც[12].

### Calculating ERP and EIRP

Enter the Transmitter Power Output (TPO) :   
Watts ▾

Enter the Antenna Gain :   
dBi ▾

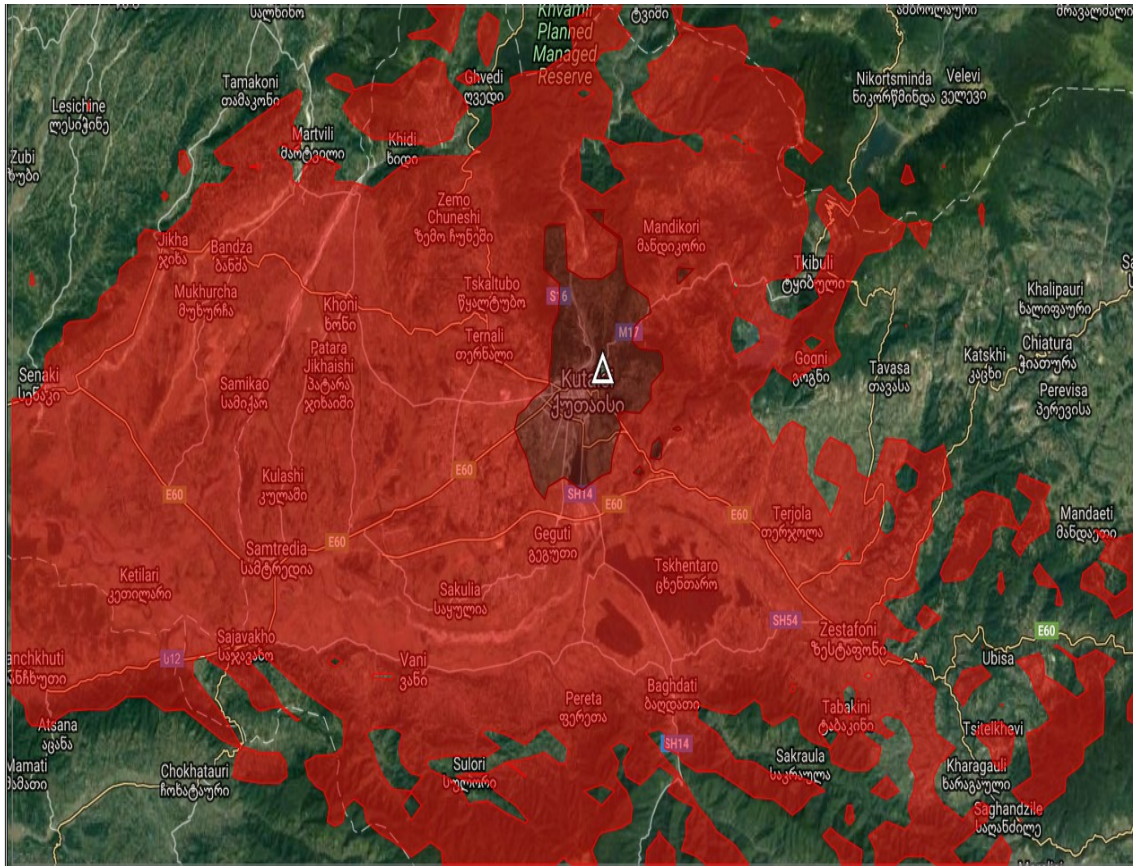
Effective Radiated Power (ERP) =  dBW =  Watts

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) =  dBW =  Watts

#### ნახ. 1.13. ქუთაისის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივებული სიმძლავრე

ზემოთ მოცემული პარამეტრებით მოვახდინოთ გამოსხივებული სიგნალის რუკაზე დატანა სპეციალური კომპიუტერული პროგრამით [13].





**ნახ. 1.14. ქუთაისის სამაუწყებლო ზონა**

მუქი წითელი ნიშნავს რომ ძალიან მაღალია მიღების დონე, და შესაძლებელია შიდა ანტენითაც, მოხდეს გამოსხივებული სიგნალის მიღება, რაც შეეხება წითელს, ნიშნავს რომ გარე დეციმეტრული ანტენით თავისუფლად მივიღებთ სიგნალს.

1.7. ცხრილში ნაჩვენებია მიმღები მოწყობილობის პარამეტრები რომელსაც ვიყენებთ ტესტირების ჩატარების დროს.

ტესტირების დრო გამოყენებული იქნა 8 დეციბელიანი ანტენა. ზემოთაღნიშნული მიმღები მოწყობილობით და ანტენით, იმერეთში ყველა ის ადგილი იფარება რომელიც რუკაზეა დატანილი, გარდა იმ შემთხვევებისა თუ ანტენას წინ არ ხვდება ხელოვნური ბარიერი.

**ცხრილი 1.7. მიმღები მოწყობილობის პარამეტრები**

მაღალი გარჩევადობის DVB-T2 მიმღები.  
 ავტომატური და მექანიკური ძიების მხარდაჭერა.  
 ციფრული რადიოს მხარდაჭერა.  
 ტელეტექსტის მხარდაჭერა.  
 ტელევიდის მხარდაჭერა.  
 ვიდეოს და აუდიოს ჩაწერის ფუნქცია მყარი დისკის მიერთების შემთხვევაში  
 სიხშირული მხარდაჭერა: 174-230 მჰც, 470-860მჰც  
 გამტარუნარიანობა: 6/7/8 მჰც  
 შემავალი დონე: -83 დბ  
 ანტენის ინტერფეისი: F კონექტორი  
 სურათის ფორმატი: JPEG, BMP, PNG  
 ხმის ფორმატი: MP3, WMA  
 ვიდეოს ფორმატი: AVI, DIVX, XVID, MOV, VOB, MPEG, MPG, MP4.  
 დემოდულაცია: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM  
 ხელშეშლამდგრადი კოდის სიჩქარე.: 1/2. 3/5. 2/3. 3/4 . 4/5. 5/6.  
 დაცვითი ინტერვალი 1/128 დან 1/4 მდე  
 მყარი დისკიდან პროგრამული განახლების მხარდაჭერა  
 ფუნქციური ღილაკები  
 ინტერფეისი: HDMI, RCA.  
 ანდენიდან მიღებული სიგნალის გამეორების საშუალება.  
 ანტენის კვების ჩართვა/გამორთვის ფუნქცია.  
 ფავორიტი არხების მართვა  
 ინტერფეისის ენა: ქართული, ინგლისური  
 თანაფარდობა: 4:3, 16:9  
 ვიდეო რეზოლუცია: 576i. 576p. 720p. 1080P. 1080i  
 აუდიო სტანდარტი: ISO/IEC 14.496-3, AAC, AAC+  
 კვების წყარო: 220 ვოლტი

იგივე სათაო სადგურის პარამეტრებით მოვახდინოთ სიგნალის გამოსხივება მარტვილის სამაუწყებლო პუნქტიდან. მარტვილის სამაუწყებლო ანძის კოორდინატები - 42°27'18.58"N, 42°22'2.32"E. იმისათვის, რომ აღნიშნული ანძიდან გამოსხივებული სიგნალის განფენა, დავიტანოთ რუკაზე საჭიროა ყველა პარამეტრის ცოდნა:

ანტენის დაკიდების სიმაღლე 20 მეტრი;

სიმძლავრე 100 ვატი;

დიაპაზონი UHF;

ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი 9 dbi.

ამ პარამეტრებიდან გამომდინარე, ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე როგორც ნახაზში 1.15 ჩანს შეადგენს დაახლოებით 400 ვატს, თუ გავითვალისწინებთ კაბელში დანაკარგსაც.

### Calculating ERP and EIRP

Enter the Transmitter Power Output (TPO) :   
Watts ▾

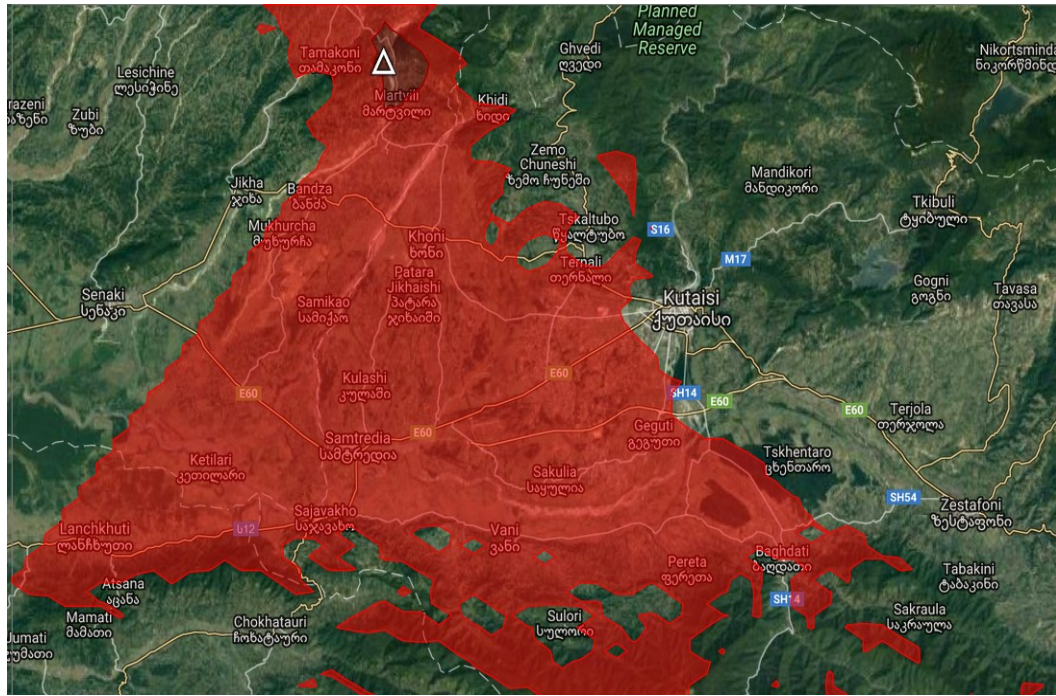
Enter the Antenna Gain :   
dBi ▾

Effective Radiated Power (ERP) =  dBW =  Watts

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) =  dBW =  Watts

#### ნახ. 1.15. მარტვილის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე

მარტვილის სამაუწყებლო პუნქტამდე სარელეო სადისტრიბუციო ქსელით მისული მონაცემების დაგვიანება 45 მილიწამია, რაც ნიშნავს რომ SFN მუშაობას პრობლემა არ უნდა შეექმნას. ქუთაისისგან განსხვავებით მარტვილში დგას GatesAir ის ფორმის გადამცემი. 1.16 ნახაზიდან ჩანს მარტვილის სამაუწყებლო ანტიდან გამოსხივებული სიგნალის განფენა ელექტრონულად გუგლის რუკაზე.



ნახ. 1.16. მარტვილის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა.

სატესტო მიმღები მოწყობილობით და ანტენით დავიწყეთ სიგნალის გაზომვა. ჩვენთვის მეტად საინტერესო იყო ვანის და ბაღდათის ტერიტორიაზე რამდენად კარგად შემოდიოდა სიგნალი, რადგან აღნიშნულ ტერიტორიაზე ქუთაისის სამაუწყებლო ანტიდენაც იდეალურად ხდება სიგნალის განფენა. ვანში ცალ-ცალზე ორივე ანტიდან სრულად ხორციელდება დაფარვა (როგორც ვთქვით მონაცემები ორივე ანტიდან ერთი და იგივე სიხშირეზე სხივდება) თუმცა ვიპოვეთ ბევრი ისეთი ადგილი სადაც ორივე ანტიდან გამოსხივებული სიგნალი ერთმანეთს უშლის ხელს და მიმღები მოწყობილობა დროში აცდენის გამო ვერ იღებს სიხშირეს, ეს პირადად ჩვენთვის მოულოდნელობა იყო, რადგან მოდულაციის აღნიშნული პარამეტრებით SFN სინქრონიზაციას პრობლემა არ უნდა შექმნოდა აღნიშნულ ტერიტორიაზე. მანძილი პირდაპირ ხედვაში მარტვილსა და ვანს შორის არის 40 კილომეტრი, ხოლო ქუთაისსა და ვანს შორის 25 კილომეტრი. სანამ მოდულაციის პარამეტრებს შევცვებოდით, ვცადეთ სხვადასხვა მიმღები მოწყობილობა, თუმცა შედეგი იგივე იყო, იმ შემთხვევაში თუ მიმღებ ანტენას „დავუმალავდით“ მარტვილის მხარეს და



მარტო ქუთაისის სამაუწყებლო ანბისკენ მივმართავდით რესივერი ხსნიდა სიგნალს.

როგორც 1.1 თავში ვისაუბრეთ DVB-T სტანდარტში 8 მჰც სიხშირული ზოლის შემთხვევაში SFN ის რეჟიმში მაქსიმუმი გადაცემის მანძილი არის 67.2 კილომეტრი (პარამეტრები FFT – 8K, Guard Interval – 1/4) ხოლო DVB-T2 ქსელის შემთხვევაში მანძილი ბევრად გაზრდილია და შეადგენს 159.5 კილომეტრს. იხილეთ ცხრილი 1.8 და 1.9

**ცხრილი 1.8. SFN სინქრონიზაცია დროის მიხედვით**

დამცავი ინტერვალი მიკრო წამებში							
	დაცვითი ინტერვალი						
FFT	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	28.0 us	112.0 us	223.9 us	265.9 us	447.8 us	531.8 us	
16k	14.0 us	56.0 us	112.0 us	133.0 us	223.9 us	265.9 us	447.9 us
8k	7.0 us	28.0 us	56.0 us	66.5 us	112.0 us	133.0 us	223.9 us

**ცხრილი 1.9. SFN სინქრონიზაცია კილომეტრების მიხედვით**

მაქსიმალური დისტანცია გადამცემებს შორის კილომეტრებში SFN ქსელისთვის							
	დაცვითი ინტერვალი						
FFT	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
8k	2.1 კმ	8,4 კმ	16,8 კმ	19,9 კმ	33,6 კმ	39,9 კმ	67.2 კმ
16k	4.2 კმ	16.8 კმ	33.6 კმ	39.9 კმ	67,2 კმ	79,8 კმ	134.4 კმ
32k	8,4 კმ	33,6 კმ	67,2 კმ	79,8 კმ	134,4 კმ	159,5 კმ	

სათაო სადგურში საწყისი მოდულაციის პარამეტრებში FFT - 32 K, ხოლო დამცავი ინტერვალი გაწერილი გვაქვს 1/32, რაც 33.6 კილომეტრზე

უზრუნველყოფს SFN სინქრონიზაციას. საწყის პარამეტრებში მხოლოდ დამცავი ინტერვალი შევცვალეთ 1/16 პარამეტრით, რამაც გადამცემებს შორის სინქრონიზაციის მანძილი 67.2 კილომეტრამდე უნდა გაგვიზარდოს, თუმცა როგორც 1.17 ნახაზში ჩანს მულტიპლექსში მეგაბიტების რაოდენობა ერთი მეგაბიტით შეგვიძვირდა.

Data Rate	Symbols	Blocks
27,473,435	63	156
27,449,898	61	151
27,424,793	59	146
<b>27,592,271</b>	<b>57</b>	<b>142</b>
27,570,454	55	137
27,547,023	53	132
27,521,791	51	127
27,494,544	49	122
27,465,028	47	117
27,432,950	45	112
27,397,959	43	107
27,359,640	41	102
27,317,495	39	97
27,270,920	37	92
27,219,179	35	87
27,161,362	33	82
27,448,230	31	78
27,397,959	29	73

ნახ. 1.17. შერჩეული პარამეტრები, რომელიც არხში იძლევა 27.59 მგბ/წმ

აღნიშნული პარამეტრის ცვლილებებს დიდი შედეგი არ გამოუღია, რაღაც ნაწილში უკეთესობა იგრძნობა, თუმცა ადგილები სადაც ორი ანძიდან გამოსხივებული ერთი და იგივე სიხშირე ხელს უშლიდა ისევ დარჩა, ვცადეთ დამცავი ინტერვალის გაზრდა 19/256 ით, რამაც ანძებს შორის სინქრონიზაციის მანძილი 80 კილომეტრამდე გაზარდა, თუმცა იგივე შედეგი მივიღეთ რაც 1/16 შემთხვევაში. მიუხედავად იმისა, რომ პრობლემა არალოგიკური იყო და ყველა პარამეტრით სინქრონიზაცია არ უნდა დარღვეულიყო, პრობლემა პრობლემად რჩებოდა, თუმცა მარტვილის და ქუთაისის სამაუწყებლო ანძების ადგილმდებარეობიდან გამომდინარე, მარტივად იყო შესაძლებელი პრობლემატურ ადგილებშიც კი მოძიებულიყო ისეთი ადგილი სადაც მიმღები ანტენა ერთ ანძას უყურებდა.

მას შემდეგ რაც ჩავრთეთ ტყიბულის სამაუწყებლო ანძა, პრობლემა უკვე აშკარად გამოჩნდა და ითხოვდა გადაჭრას, წინააღმდეგ შემთხვევაში SFN ქსელის აგება კითხვის ნიშნის ქვეშ დგებოდა.

ტყიბულის სამაუწყებლო პუნქტიც იგივე მონაცემებით ჩავრთეთ რაც მარტვილი. ტყიბულის სამაუწყებლო ანძის კოორდინატებია - 42°22'26.86"N, 43°2'20.04"E იმისათვის, რომ აღნიშნული ანძიდან გამოსხივებული სიგნალის განფენა, დავიტანოთ რუკაზე საჭიროა ყველა პარამეტრის ცოდნა.

ანტენის დაკიდების სიმაღლე 20 მეტრი;

სიმძლავრე 100 ვატი;

დიაპაზონი UHF;

ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი 9 dBi.

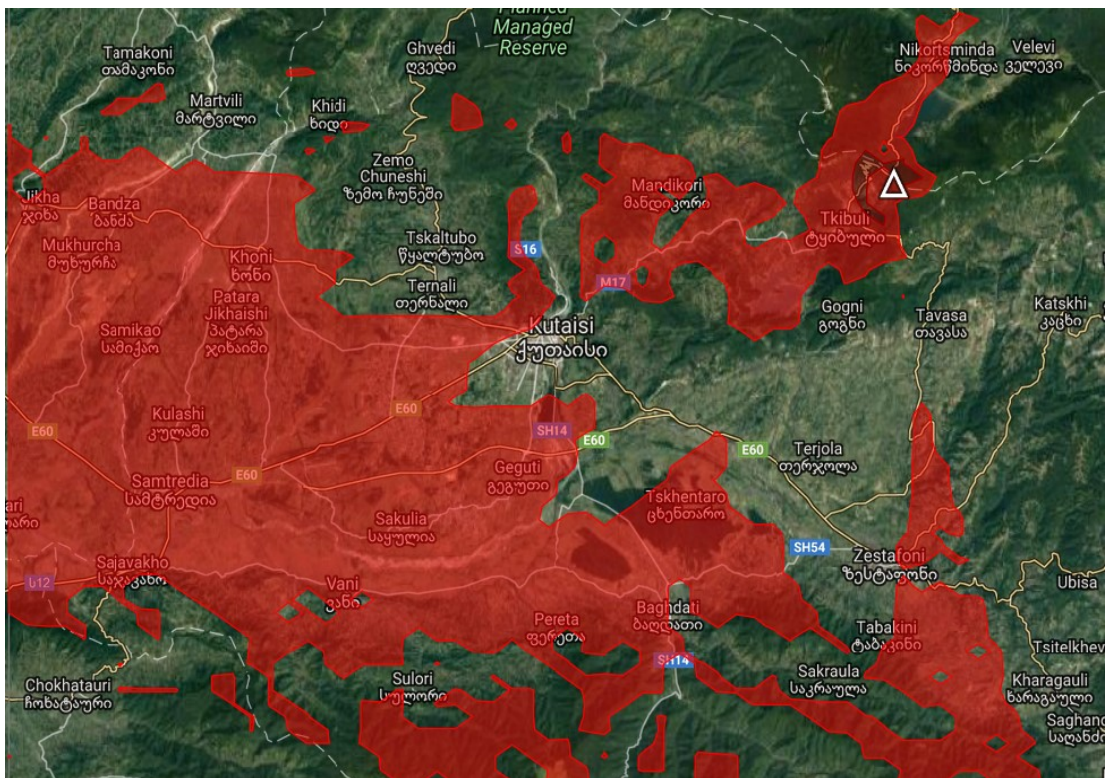
ამ პარამეტრებიდან გამომდინარე, ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე შეადგენს დაახლოებით 400 ვატს, თუ გავითვალისწინებთ კაბელში დანაკარგსაც. ტყიბულის სამაუწყებლო ანძიდან გამოსხივებული ეფექტური სიმძლავრე იხილეთ ნახაზზე 1.18.

### Calculating ERP and EIRP

Enter the Transmitter Power Output (TPO) :	<input type="text" value="100"/>			
	<input type="text" value="Watts"/>			
Enter the Antenna Gain :	<input type="text" value="9"/>			
	<input type="text" value="dBi"/>			
<input type="button" value="Calculate"/>				
Effective Radiated Power (ERP) =	<input type="text" value="26.85156151"/>	dBW =	<input type="text" value="484.34648"/>	Watts
Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) =	<input type="text" value="29"/>	dBW =	<input type="text" value="794.32823"/>	Watts

ნახ. 1.18. ტყიბულის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე

ტყიბულის სამაუწყებლო ანძიდან გამოსხივებული სიგნალის განფენა იხილეთ 1.19 ნახაზზე.



ნახ. 1.19. ტყიბულის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა

რუკაზე კარგად ჩანს თუ ზღვის დონიდან რა სიმაღლეზე იმყოფება ტყიბულის ანძა და როგორ კარგი სიგნალის განფენა აქვს. როგორც აღვნიშნეთ პრობლემებმა თავი თვალსაჩინოდ აღნიშნული პუნქტის ჩართვის შემდეგ იჩინა.

ანალოგიური ფაქტი დაფიქსირდა საჩხერის და ჭიათურის სამაუწყებლო ანძებიდან სიგნალის განფენის დროს, სადაც ანძებს შორის მანძილი 13.5 კილომეტრია, განვიხილოთ ეს კონკრეტული შემთხვევა. ჭიათურის ანძის კოორდინატებია 42°17'15.24"N, 43°15'39.94"E, სადაც განთავსებულია როდემზარცის 100 ვატიანი გადამცემი. ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი 9 დეციბელი, ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე ფიდერში დანაკარგების ჩათვლით დაახლოებით იქნება 450 ვატი. იხილეთ ნახაზი 1.20



## Calculating ERP and EIRP

Enter the Transmitter Power Output (TPO) :   
Watts ▾

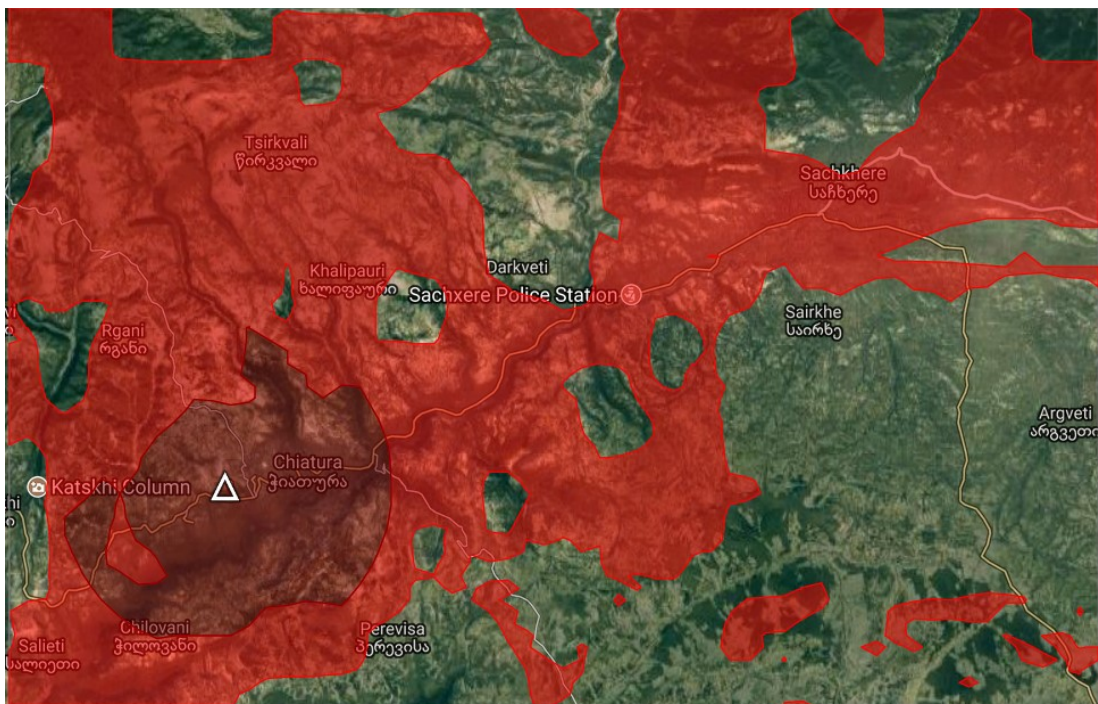
Enter the Antenna Gain :   
dBi ▾

Effective Radiated Power (ERP) =  dBW =  Watts

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) =  dBW =  Watts

ნახ. 1.20. ჭიათურის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე

სპეციალური ელექტრონული პროგრამის მეშვეობით გავაკეთოთ გამოსხივებული სიგნალის განფენა ჭიათურის სამაუწყებლო ანტიდან. იხილეთ ნახაზი 1.21.



ნახ. 1.21. ჭიათურის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა

დაფარვის ელექტრონულმა რუკამ კარგად დაგვანახა, რომ ჭიათურიდან გადაცემული სამაუწყებლო სიგნალი საჩხერის დიდ ნაწილსაც ფარავს. ანალოგიური დასხივება გავაკეთეთ საჩხერის სამაუწყებლო ანტიდანაც და თვალნათელი გახდება სად შეიძლება მოხდეს სავარაუდო გადაფარვები. საჩხერის სამაუწყებლო პუნქტზე განთავსებულია GataAir ის 100 ვატიანი გადამცემი, ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი 6 დეციბელი, როგორც 1.22 ნახაზიდან ჩანს ამ პარამეტრებით ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე იქნება 240 ვატი.

### Calculating ERP and EIRP

Enter the Transmitter Power Output (TPO) :

Enter the Antenna Gain :

Effective Radiated Power (ERP) =  dBW =  Watts

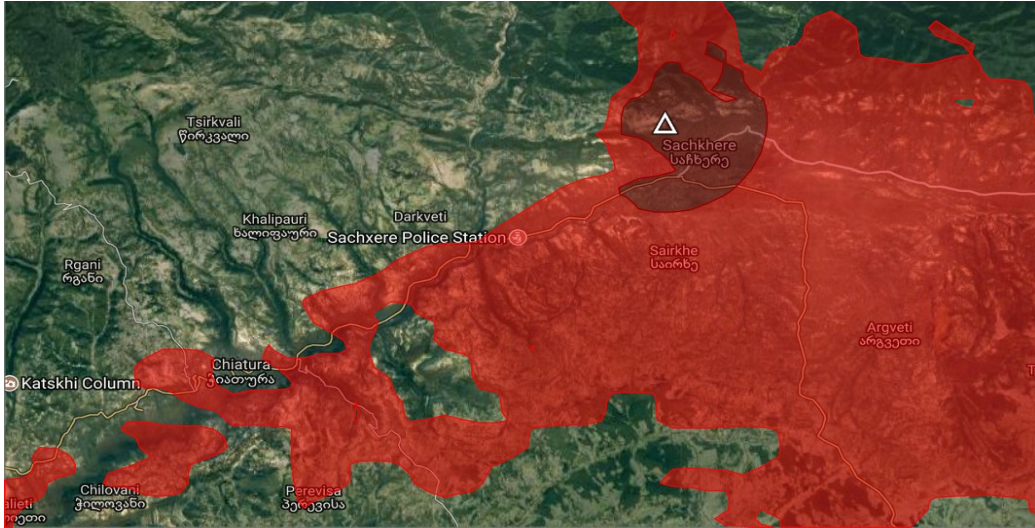
Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) =  dBW =  Watts

#### ნახ. 1.22. საჩხერის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე

ჭიათურის სამაუწყებლო პუნქტის მსგავსად მოვახდინეთ საჩხერის სამაუწყებლო რუკიდან დასხივებული სიგნალის დატანა ელექტრონულ რუკაზე. იხ. ნახაზი 1.23

სადისტრიბუციო (სარელეო) ქსელის დაყოვნება ჭიათურის და საჩხერის ანძებამდე ერთნაირია, ასევე დიდად არ განსხვავდება ქუთაისის, ტყიბულის და მარტვილის სამაუწყებლო ანძებზე მიმავალი სარელეო სიგნალის დაყოვნების დროც, სხვაობა მხოლოდ გადამცემის მოდელები და მწარმოებლებია. იმისათვის, რომ პრობლემა საბოლოოდ დაგვედგინა, გადავწყვიტეთ მარტვილის სამაუწყებლო პუნქტზე აგვეტანა ის მოდელი

გადამცემი აპარატურა რაც გვედგა ქუთაისში, რადგან ეჭვი უკვე სადისტრიბუციო ქსელით მიღებული მონაცემების სხვადასხვა დროში დამუშავებაზე გვექონდა.



ნახ. 1.23. საჩხერის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა.

მას შემდეგ რაც შევცვალეთ მარტვილში გადამცემი პრობლემა ქუთაისსა და მარტვილს შორის მოგვარდა. პრობლემა უკვე ნათელი იყო, დავიწყეთ მუშაობა მწარმოებლებთან, რათა პრობლემა მოგვარებულიყო სოფთვეარის შეცვლის დონეზე და არა ჰარდვეარის. ინტენსიური მუშაობის შემდეგ, შევქმენით დამატებითი მოდული, რომლის მეშვეობითაც გაგვიჩნდა შესაძლებლობა ხელით შეგვეცვალა კონკრეტულ გადამცემებში პროცესინგის დრო, რამაც მოგვცა საშუალება სამაუწყებლო პუნქტებზე გაგვეწერა ისეთი პარამეტრები რომელიც უფრო უკეთეს კონსტელაციას მოგვცემდა.

SFN სინქრონიზაციის პრობლემის მოგვარების შემდეგ დავიწყეთ სამაუწყებლო სიგნალის განფენის ტესტირება თბილისის და კოჯრის სამაუწყებლო ანძებიდან. ცნობილია, რომ გადაფარვა აქ საკმაოდ მაღალია და SFN სინქრონიზაციის დარღვევის შემთხვევაში დედაქალაქში მაუწყებლობას შეექმნებოდა პრობლემა. დავიტანოთ ორივე სამაუწყებლო

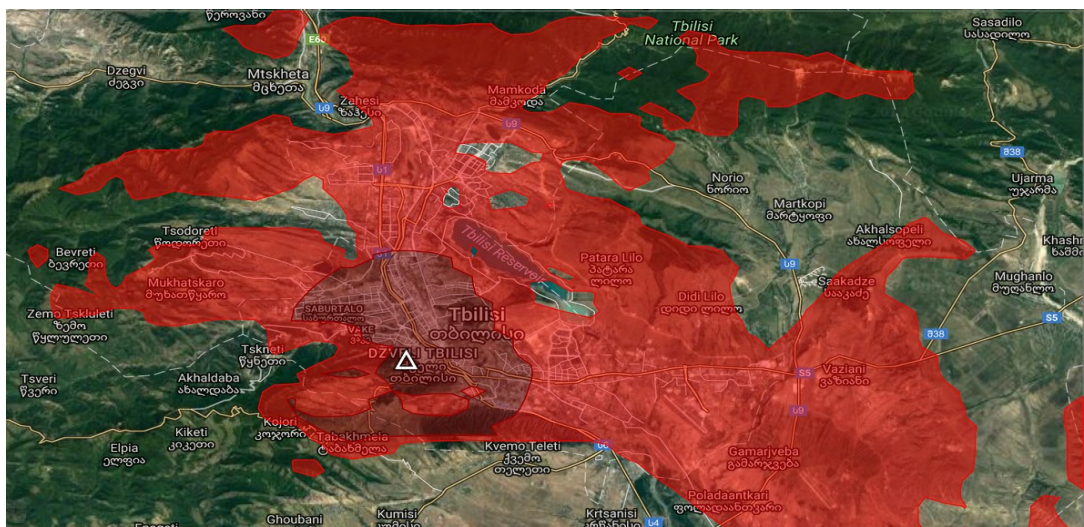


პუნქტიდან ეფექტური გამოსხივებული სიმძლავრეები ელექტრონულ რუკაზე. თბილისის სამაუწყებლო ანძის კოორდინატებია 41°41'44.75"N, 44°47'6.44"E. ანტენის დაკიდების სიმაღლეა 220 მეტრი, გადამცემის სიმძლავრე შეადგენს 850 ვატს, ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი 10 დეციბელი, ამ პარამეტრების შესაბამისად ეფექტური გამოსხივება შეადგენს 5 კილოვატს. იხ. ნახაზი 1.24.

Effective Radiated Power (ERP)		
37.145751519523024	dBW =	5182.92772 Watts
Rounded		
37.146	dBW =	5182.928 Watts
Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)		
39.29419	dBW =	8500.00145 Watts
Rounded		
39.294	dBW =	8500.001 Watts

ნახ. 1.24. თბილისის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე

1.25 ნახაზიდან კარგად ჩანს სიგნალის განფენა ტელერადიოცენტრის ანძიდან თბილისის ზონაში, რომლის ეფექტური გამოსხივებული სიმძლავრე შეადგენს 5 კილოვატს.



**ნახ. 1.25. თბილისის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა**

კოჯრის სამაუწყებლო ანძის კოორდინატებია 41°40'11.31"N, 44°41'17.24"E. ანტენის დაკიდების სიმაღლეა 55 მეტრი, გადამცემის სიმძლავრე შეადგენს 500 ვატს, ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი 10 დეციბელი, ამ პარამეტრების შესაბამისად ეფექტური გამოსხივება შეადგენს 3 კილოვატს. იხ. ნახაზი 1.26.

Enter the Transmitter Power Output (TPO) :    
Watts ▾

Enter the Antenna Gain :    
dBi ▾

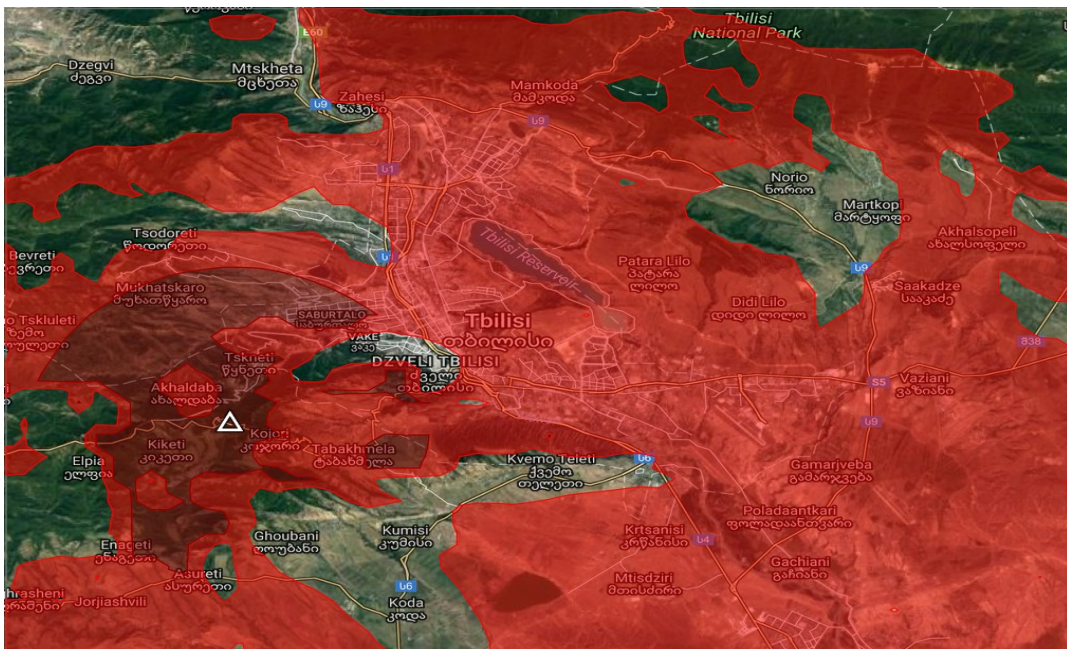
Calculate

Effective Radiated Power (ERP) =  dBW =  Watts

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) =  dBW =  Watts

**ნახ. 1.26. კოჯრის სამაუწყებლო პუნქტის ეფექტური გამოსხივების სიმძლავრე**

კოჯრის სამაუწყებლო ანძიდან გამოსხივებული სიგნალი განფენა ელექტრონულ რუკაზე ასე გამოიყურება (ნახაზი 1.27).



### **ნახ. 1.27. კოჯრის სამაუწყებლო პუნქტიდან სიგნალის განფენა**

მიღებული შედეგებით კარგად ჩანს, რომ აღნიშნული პარამეტრების გამოყენებით თითქმის თბილისის ტერიტორიის 95 პროცენტს ორივე ანძა კარგად ფარავს, შესაბამისად SFN სინქრონიზაციის დროს ერთმანეთში გადაფარვა ამდენივე პროცენტი იქნება. მას შემდეგ რაც განვიხილეთ ანძების ერთმანეთში სინქრონიზაციის პრობლემები, დავადგინეთ მიზეზები და მივაგენით გადაჭრის გზებს, აღნიშნულმა მოგვცა იმისა საშუალება, რომ ჩვენს დედაქალაქში ორი ერთმანეთისგან გამოუკიდებელი წერტილი გვქონდა, რომელიც 95%-იან გადაფარვაში იქნებოდნენ, რაც გულისხმობს იმას რომ თბილისის მოსახლეობის უმრავლესობა რომელიმე ანძის გათიშვას ვერ იგრძნობს, რაც ძალზედ მნიშვნელოვანია ციფრული მაუწყებლობის სტაბილურობისთვის.

### **1.3. მობილური ციფრული მაუწყებლობა**

როგორც 1.1 თავში აღვნიშნეთ DVB-T2 სტანდარტი იძლევა შესაძლებლობას კონკრეტული გადაწყვეტების დროს შევარჩიოთ კონკრეტული პარამეტრები. წინა თავში განვიხილეთ SFN სინქრონიზაცია, სადაც სიგნალის მიღებას გარე სახურავზე დამაგრებული ანტენით ვახდენდით. პარამეტრებიც შესაბამისად იყო შერჩეული და კარგად გამოჩნდა, რომ თბილისის სამაუწყებლო ზონა, მთლიანდ არის დაფარული აღნიშნული გადაწყვეტით. ამ თავში ჩვენ ვისაუბრეთ რამდენად შესაძლებელია და რა პარამეტრების შერჩევა დაგვჭირდება როგორც გადამცემის ისე მიღების მხარეს, რომ მომხმარებელმა სიგნალი მოძრაობისას მიიღოს. DVB-T2 სტანდარტში სწორედ შერჩეული პარამეტრების შემთხვევაში მოძრაობისას სიჩქარეც არ იქნება შეზღუდული და არც ვიდეო გამოსახულებას ექნება წყვეტა[14].

DVB-T2 სტანდარტის განხილვის დროს დავინახეთ, რომ ყველაზე საიმედო QPSK მოდულაციაა, ასევე შევარჩიეთ ყველაზე დაცვადი

პარამეტრები - Guard Interval 19/128, FFT 8, Coda Rate 1/2, PP2, Bandwidth – 6 Mhz, გამოვიყენეთ მეტრული სიხშირე, აღნიშნული კონფიგურაციით მულტიპლექსში მეგაბიტების რაოდენობამ შეადგინა 4.5 მგ/წმ. იხ. ნახაზი 1.28, რაც საკმაოდ დაბალია, თუმცა თანამედროვე ვიდეო შეკუმშვის სტანდარტით - H.264, შესაძლებელია 4 – 6 არხის გატარება დაბალი რეზოლუციით.

თბილისის სამაუწყებლო ანძაზე ანტენის დაკიდების სიმაღლეა 220 მეტრი, ხოლო ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი 6 დეციბელი, გადამცემის სიმძლავრე 100 ვატი. მოდულაციის პარამეტრები - QPSK, Guard Interval 19/128, FFT 8, Code Rate 1/2, PP2, Bandwidth – 6 Mhz. მნიშვნელოვანია განვსაზღვროთ ანტენის ტიპი მიმღების მხარეს, იქიდან გამომდინარე, რომ ანტენა უნდა იყოს კომპაქტური, როგორც 1.29 ნახაზზე ჩანს, ტესტირებისთვის ავიღეთ პასიური 1.5 დეციბელიანი ანტენა მაგნიტური სამაგრით, რათა მარტივად დამაგრდეს ავტომობილის სახურავზე.

Data Rate	Symbols	Blocks
4,394,792	180	34
4,419,186	179	34
4,443,851	178	34
4,337,359	177	33
4,361,841	176	33
4,386,601	175	33
4,411,644	174	33
4,436,975	173	33
4,327,368	172	32
4,352,503	171	32
4,377,932	170	32
4,403,660	169	32
4,429,692	168	32
<b>4,456,033</b>	<b>167</b>	<b>32</b>
4,342,606	166	31
4,368,741	165	31
4,395,192	164	31
4,421,965	163	31
4,449,066	162	31
4,332,099	161	30
4,358,979	160	30
4,386,195	159	30

ნახ. 1.28. პარამეტრების გამოანგარიშება არხში 4.5 მგ/წმ სიხშირის





ნახ. 1.29. პასიური ანტენა, მაგნიტური სამაგრიტ

მიმღები მოწყობილობა სპეციალურად შევიმუშავეთ ჩვენი მონაცემებით, რადგან სტანდარტული მიმღები მოწყობილობის (Set Top Box) ავტომობილში გამოყენება გაჭირდება და თან არაკომფორტულია. DVB-T2 მიმღების მონაცემები იხილეთ ცხრილ 1.10 ში.

ცხრილი 1.10. მიმღები მოწყობილობის (Set Top Box) პარამეტრები

<p>მაღალი გარჩევადობის DVB-T2 მიმღები.  ავტომატური ძიების მხარდაჭერა.  ციფრული რადიოს მხარდაჭერა.  ტელეტექსტის მხარდაჭერა.  ტელევიდის მხარდაჭერა.  სიხშირული მხარდაჭერა: 174 – 860 მჰც.  ანტენის კვების ჩართვა/გამორთვის ფუნქცია.  ფავორიტი არხების მართვა.  დემოდულაცია: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM.  ფუნქციური ლილაკები.  ანტენის ინტერფეისი: F კონექტორი.  გამტარუნარიანობა: 6/7/8MHz.  მულტიმედია: JPEG, BMP, PNG.  აუდიო ფორმატი: MP3, WMA.  დემოდულაცია: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM.  ხელშეშლამდგრადი კოდის სიჩქარე.: 1/2. 3/5. 2/3. 3/4 . 4/5. 5/6.  დაცვითი ინტერვალი 1/128 დან 1/4 მდე.  დისტანციური მართვის დაგრძელების შესაძლებლობა.  თანაფარდობა: 4:3, 16:9.  ვიდეო რეზოლუცია: 576i, 576p, 720p and 1080i,1080P.</p>
--



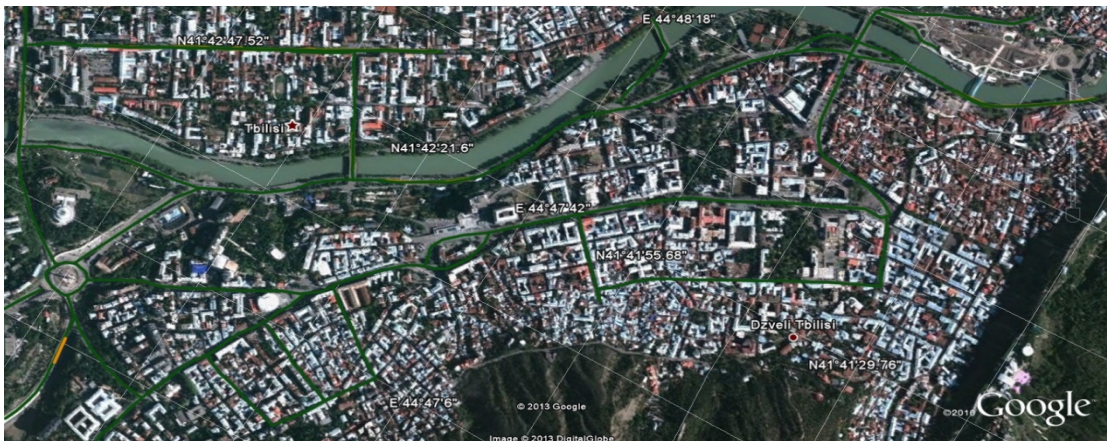
ინტერფეისი: 4 ვიდეო და 1 აუდიო გამოსასვლელი.  
კვების წყარო: 12 ვოლტი.

თბილისი პირობითად დავყავით ზონებად და თითოეულ ზონაში ცენტრალურ გზებზე შესაბამისი აღჭურვილობით ჩავატარეთ კვლევა.

რუკაზე პირობითად ავიღეთ სამი ფერი:

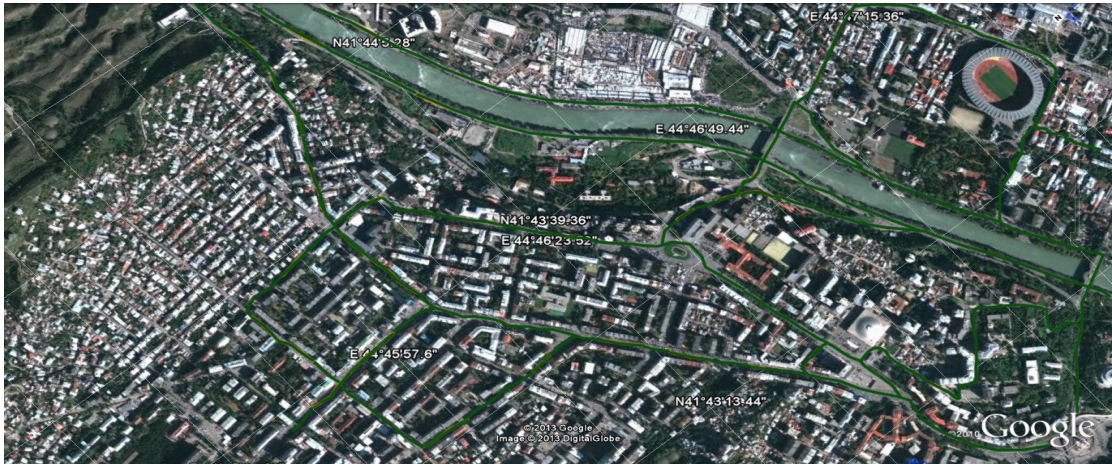
- იდეალური მიღება
- დამაკმაყოფილებელი მიღება
- სუსტი მიღება

ზონა ერთში (ნახაზი 1.30) იქიდან გამომდინარე, რომ სატელევიზიო ანტენა ძალიან ახლოსაა და პირდაპირ დაჰყურებს აღნიშნულ ზონას, ყველაზე არადაცვადი პარამეტრებითაც კი არ ექნებოდა წყვეტა სამაუწყებლო სიგნალს, შესაბამისად საკმაოდ მაღალი მიღების დონზე გვაქვს აღნიშნულ ზონაში.



ნახ. 1.30. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 1- ში

ზონა ორში (ნახაზი 1.31) ხშირია მაღალსართულიანი შენობები. შესაბამისად საინტერესო იყო, რაიმე ჩავარდნა ექნებოდა თუ არა სიგნალს, თუმცა იმდენად სტაბილური პარამეტრები გვაქვს შერჩეული, რომ ანარეკლების დროსაც პრობლემა არ ჰქონია აღნიშნულ ზონაში სიგნალის მიღებას.



**ნახ. 1.31. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 2-ში**

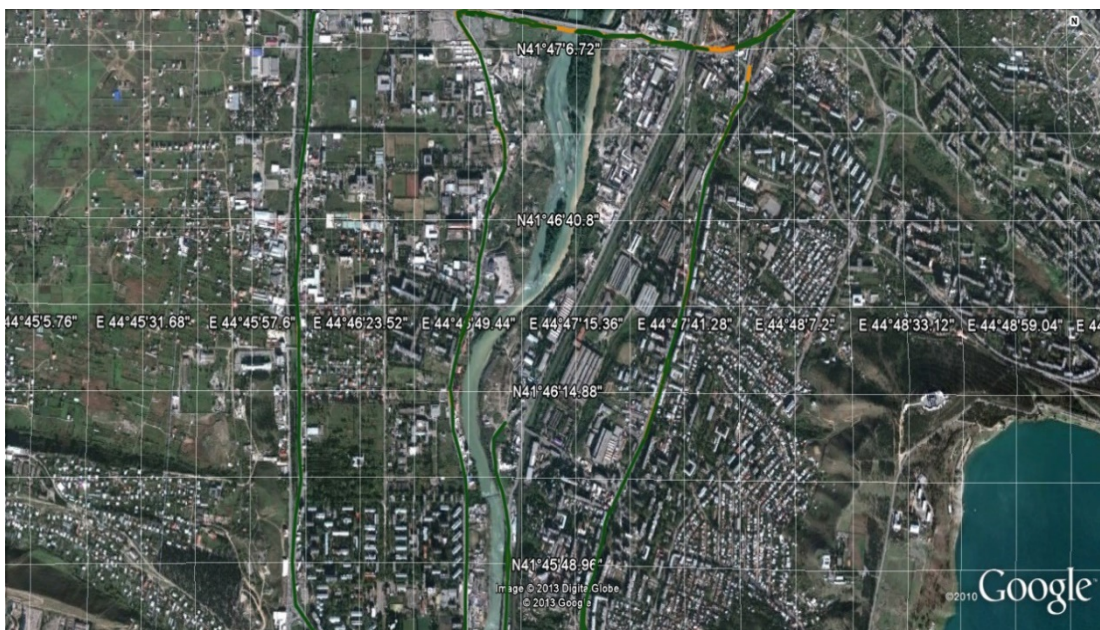
მიუხედავად იმისა, რომ მესამე ზონა შედარებით შორსაა სამაუწყებლო ანტიდან, მიღების დონე ისეთივე სტაბილური გვაქვს როგორც ზონა 2 ში. იხ. ნახაზი 1.32.



**ნახ. 1.32. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 3-ში**

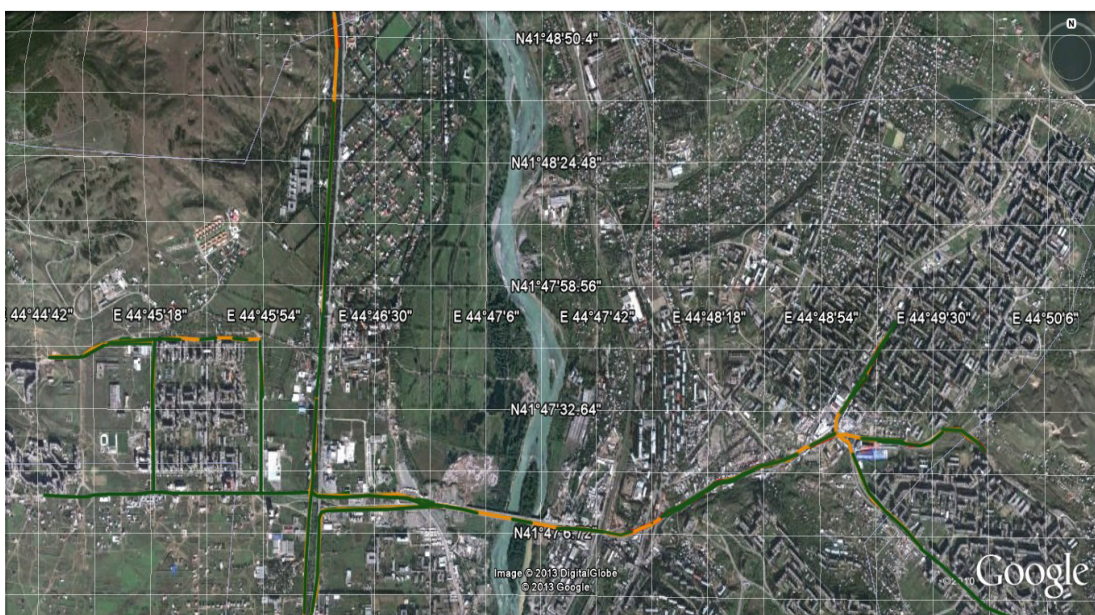
მეოთხე ზონაში (ნახაზი 1.33) შედარებით ჩავარდნილი ადგილია გლდანის ხიდების მიმდებარე ტერიტორია. აქ მიღების დონე შედარებით დაეცა თუმცა, ამას მაუწყებლობის შეფერხება არ გამოუწვევია.





**ნახ. 1.33. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 4-ში**

მეხუთე ზონა (ნახაზი 1.34) ანძიდან შედარებით მოშორებითაა, თანაც ამას ემატება მაღალსართულიან შენობებში მოძრაობა. მიუხედავად ამისა მოძრაობაში სიგნალი წყვეტას არ განიცდის, რაც დადებითი შედეგია.



**ნახ. 1.34. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 5-ში**

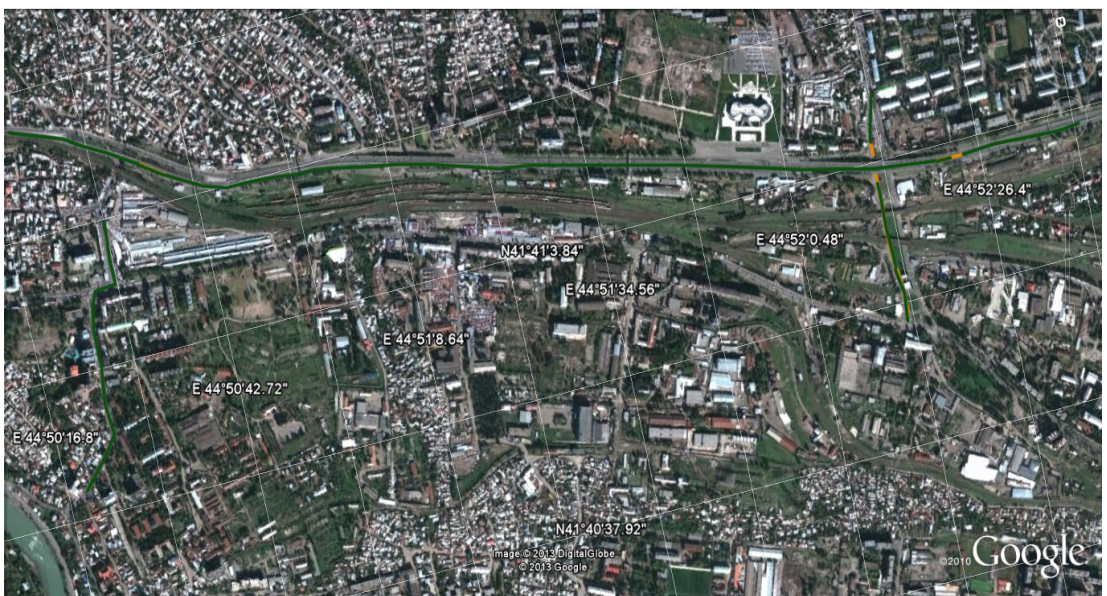


მეექვსე ზონაში (ნახაზი 1.35) სიგნალის დონე საკმაოდ მაღალია, იქიდან გამომდინარე, რომ სამაუწყებლო ანმა პირდაპირ ხედვამია, ამ ზონაში მოძრავ ავტომობილს იდეალური მიღება აქვს.



**ნახ.1.35. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 6-ში**

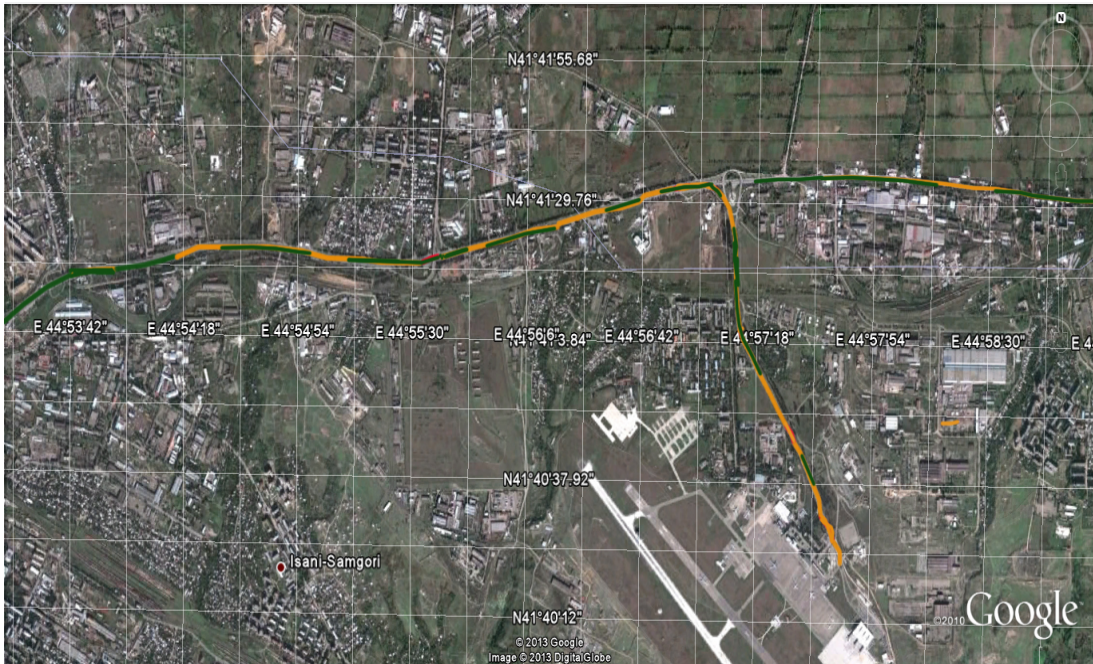
მეშვიდე ზონაში (ნახაზი 1.36) ნაჩვენებია კახეთის გზატკეცილი, სადაც სიგნალის მიღება იდეალურია.



**ნახ. 1.36. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 7-ში**



მერვე ზონაში (ნახაზი 1.37) სიგნალის დონე ადგილებში შედარებით ეცემა, თუმცა ეს არ იწვევს სამაუწყებლო სიგნალის გათიშვას.



**ნახ. 1.37. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისის ზონა 8-ში**

მოდულაციის ამ პარამეტრებით სიგნალის მიღება არის მყარი, თბილისის სამაუწყებლო ზონაში არ გვხვდებოდა ადგილები, სადაც შეიძლება, თუნდაც რამდენიმე წამიანი ჩავარდნა ყოფილიყო; თუმცა არხში გვაქვს 4.5 მეგაბიტი რაც საკმაოდ დაბალია, როგორც ვთქვით აღნიშნული პარამეტრებით მულტიპლექსში შესაძლებელია დაბალი ვიდეო რეზოლუციით და H.264 კომპრესიით, 4 - 6 ვიდეო არხის ჩასმა. კარგი შედეგიდან გამომდინარე გადავწყვიტეთ შეგვეცვალა პარამეტრები და შეძლებისდაგვარად აქცენტი მულტიპლექსში მეგაბიტების გაზრდაზე აგველო. შემდეგი მონიტორინგი ამ პარამეტრებით ჩავატარეთ: მოდულაცია QPSK, Guard Interval 1/32, FFT 32K, Coda Rate 1/2, PP2, Bandwith – 8 Mhz. არხის გამტარუნარიანობა შეადგენს 6.6 მეგაბიტს, რაც წინა პარამეტრთან შედარებით 2.2 მეგაბიტით მეტია. იხ ნახაზი 1.38.

**DVB-T2**

Bandwidth: 8 MHz  ext. Pilot Pattern: PP2 FFT: 32 k Guard: 1/32

TR-PAPR  SISO  MISO  T2 Lite

PLP  
 Modulation: QPSK Code Rate: 1/2 LDPC: 64k  HEM

Frame  
 Data Symbols: 41 [3..65] FEC Blocks: 32 [1..32]

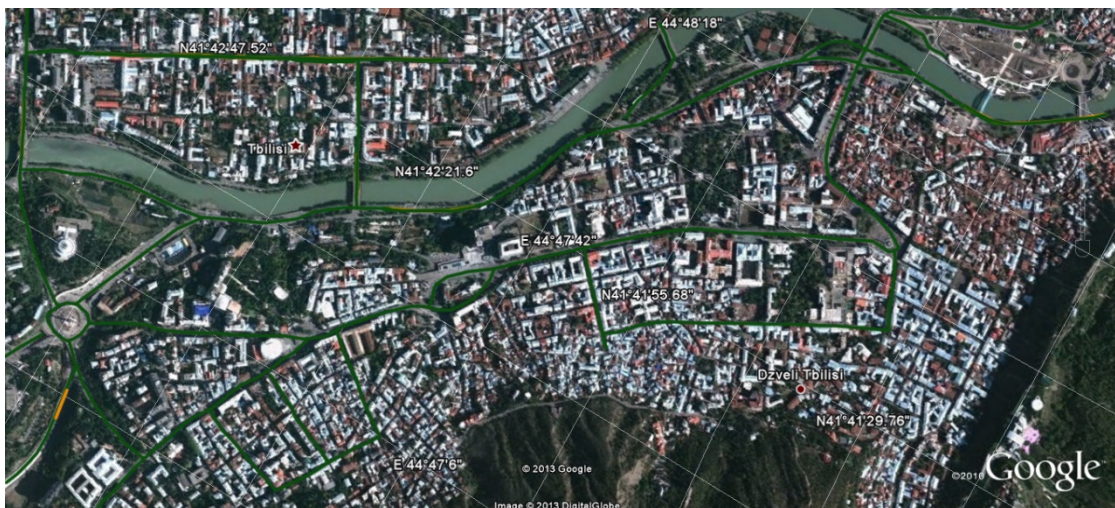
Bit-Rate  
 Netto: 6,613,421 Bit/s Brutto: 13,338,822 Bit/s

Data Rate	Symbols	Blocks
6,579,292	65	50
6,513,313	63	48
6,583,147	61	47
6,512,902	59	45
6,587,533	57	44
6,512,432	55	42
6,592,569	53	41
6,511,891	51	39
6,598,409	49	38
6,511,259	47	36
6,605,263	45	35
6,510,513	43	33
<b>6,613,421</b>	<b>41</b>	<b>32</b>
6,509,617	39	30
6,394,904	37	28
6,508,523	35	27
6,380,274	33	25

ნახ. 1.38. შერჩეული პარამეტრები, რომელიც არხში იძლევა 6.6 მგ/წმ

მსგავსად წინა ჩატარებული ტესტირებისა, თბილისი დავყავით რვა ზონად და დავიწყეთ გაზომვები.

პირველ ზონაში(ნახაზი 1.39) ყველაზე მაღალია სიგნალის მიღების დონე, რადგან პირდაპირ დაყურებს სამაუწყებლო ანძას.

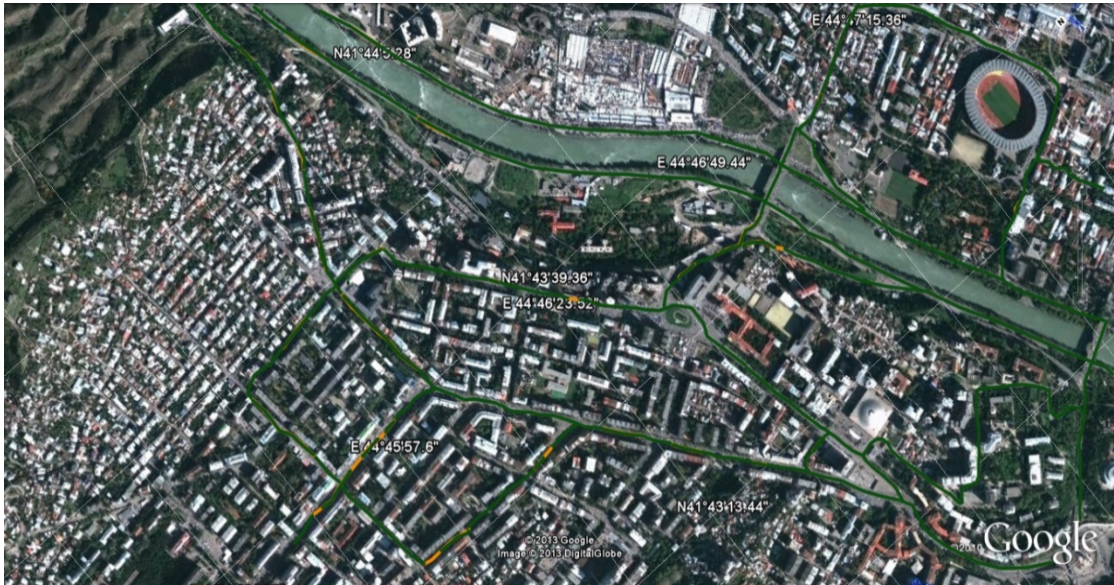


ნახ. 1.39. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 1-ში (კვლევა 2)

ზონა 2-ში (ნახაზი 1.40), წინა გაზომვებთან შედარებით, რომლის დროსაც უფრო დაცვადი პარამეტრები გვქონდა, შედარებით სიგნალის

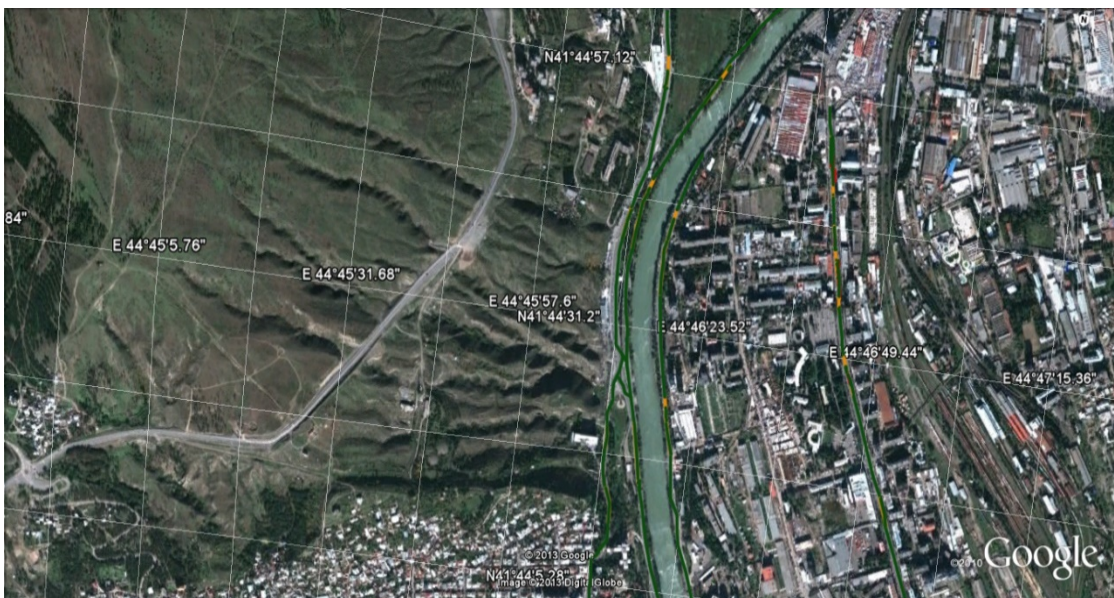


დონე უფრო დაბალია, თუმცა ეს არ იწვევს მაუწყებლობის წყვეტას, შესაბამისად შეგვიძლია აღნიშნულ ზონას დადებითი შეფასება მივცეთ.



ნახ. 1.40. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 2-ში (კვლევა 2)

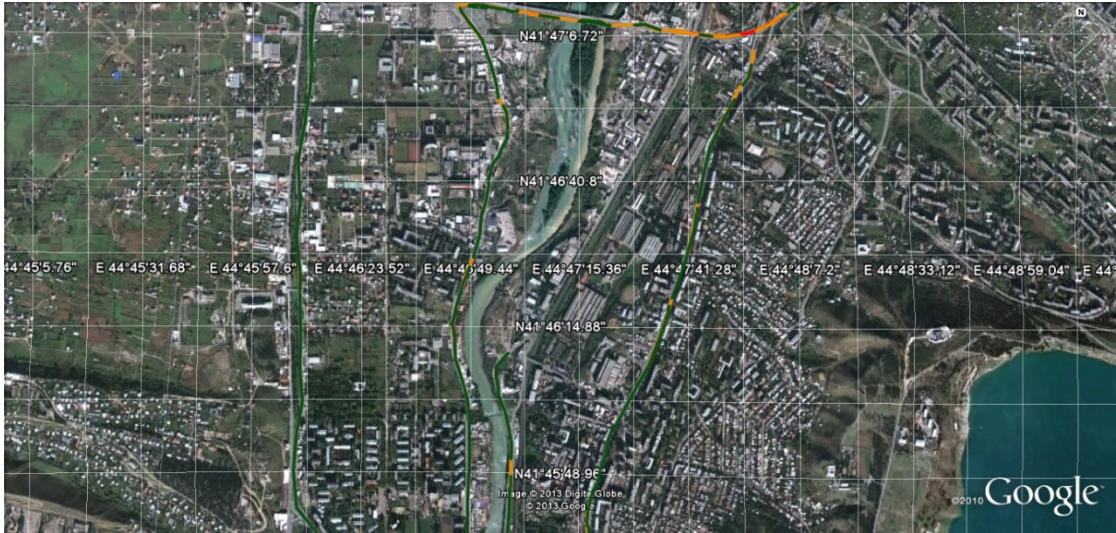
ზონა 3-ში (ნახაზი 1.41) იგივე სურათი გვაქვს როგორ პირველი მონიტორინგის დროს, არის ადგილები სადაც სიგნალის დონე შედარებით დაბალია თუმცა მაუწყებლობაზე გავლენას არ ახდენს.



ნახ. 1.41. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 3-ში (კვლევა 2)

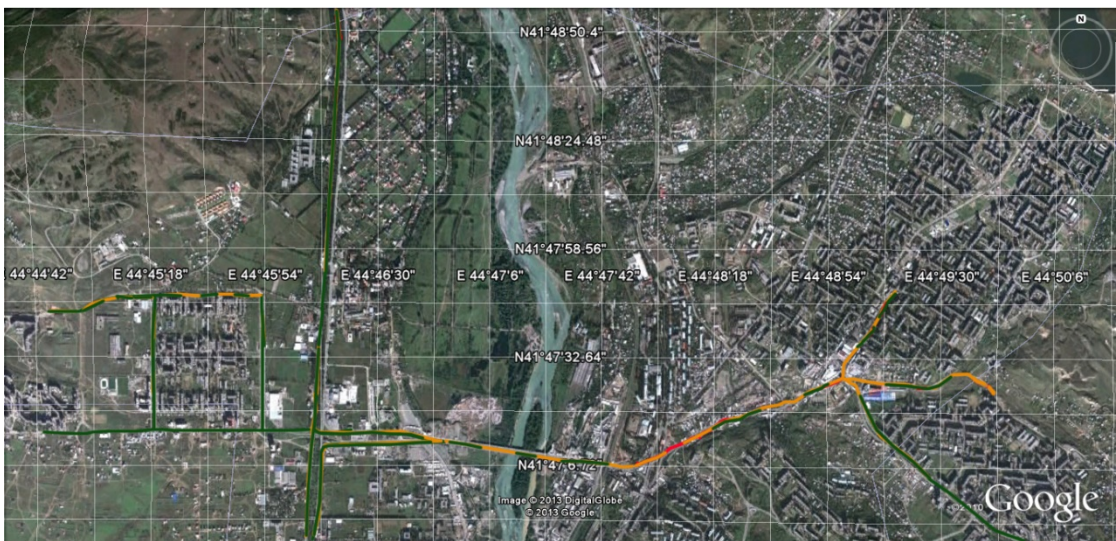


ზონა 4-ში (ნახაზი 1.42) შედარებით იგრძნობა სიგნალის დაბალი დონე. თუ წინა (კვლევა 1) პარამეტრებით სიგნალის დონე დაეცა მაგრამ წვეტა არ ყოფილა, ახლა რამდენიმე წამიანი წვეტები დაფიქსირდა, თუმცა მოძრაობისას ეს მომხმარებელს არ შეუქმნის დისკომფორტს.



ნახ. 1.42. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 4-ში (კვლევა 2)

ზონა 5-ში (ნახაზი 1.43) ანალოგიური სიტუაციაა რაც ზონა 4-ში, ყველაზე მეტად შერჩეულ პარამეტრებს შორის სხვაობა აღნიშნულ ზონაშია თვალსაჩინო, თუმცა ვფიქრობ მისაღებია წამიერი ჩავარდნები.



ნახ. 1.43. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 5-ში (კვლევა 2)



როგორც ნახაზ 1.44 ზე ჩანს მეექვსე ზონაში მიღების დონე საკმაოდ მაღალია, სიგნალის არ განიცდის წყვეტას.



ნახ. 1.44. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 6-ში (კვლევა 2)

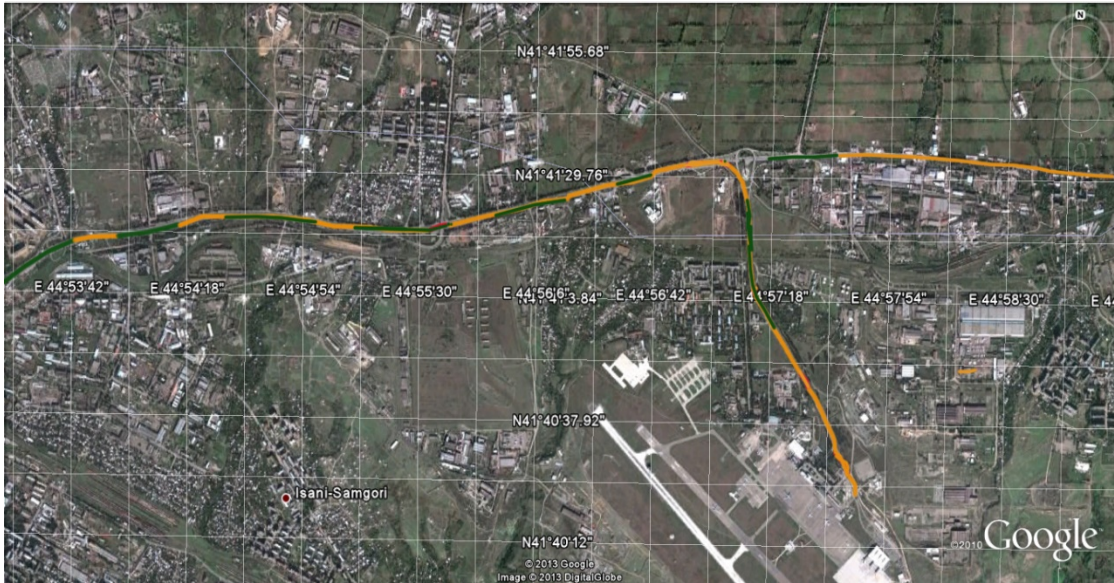
ზონა 7-ში (ნახაზი 1.45) ანალოგიურად ზონა 6-ის მიღების დონე საკმაოდ მაღალია, სიგნალის არ წყდება მაღალი სიჩქარით მოძრაობისას და იგივე შედეგი გვაქვს რაც პირველი კვლევის დროს.



ნახ. 1.45. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 7-ში (კვლევა 2)



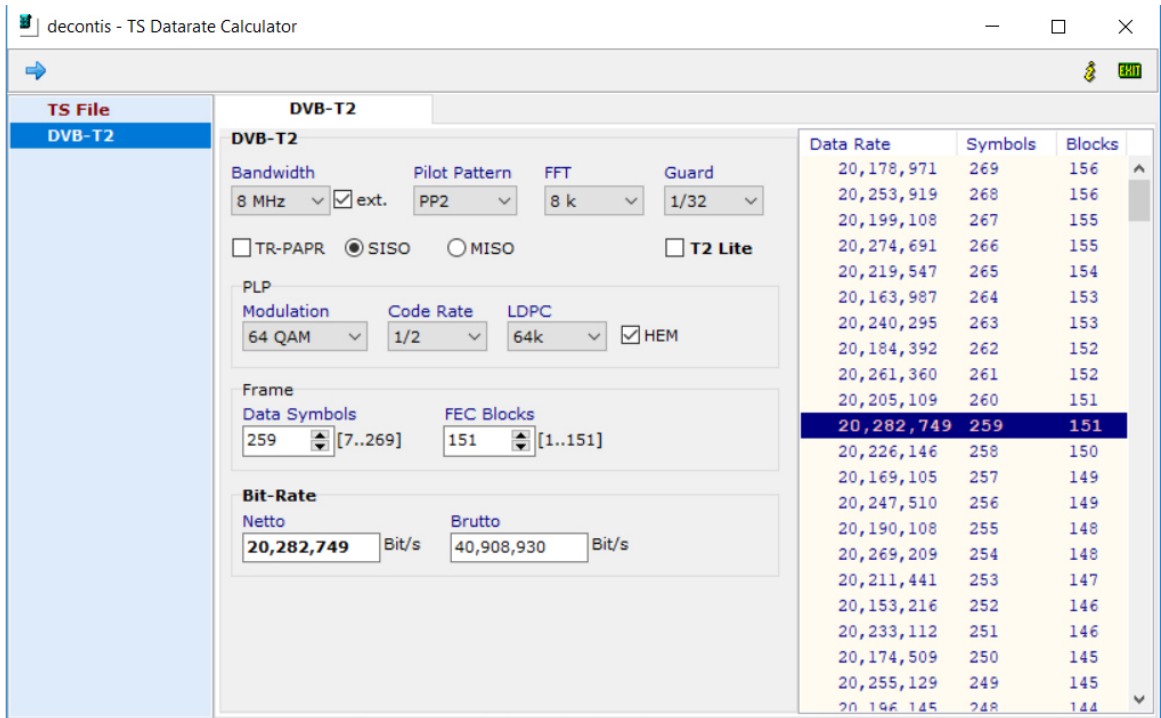
მიუხედავად იმისა, რომ ზონა 8-ის უბანი სამაუწყებლო ანტიდანი შორს მდებარეობს (ნახაზი 1.46), სიგნალს არ აქვს წყვეტა და თავისუფლად შესაძლებელი თბილისის საერთაშორისო აეროპორტიდან ქალაქის ნებისმიერ წერტილამდე გადაადგილება ისე, რომ სიგნალის მიღებას პრობლემა არ შეექმნება.



**ნახ. 1.46. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 8-ში (კვლევა 2)**

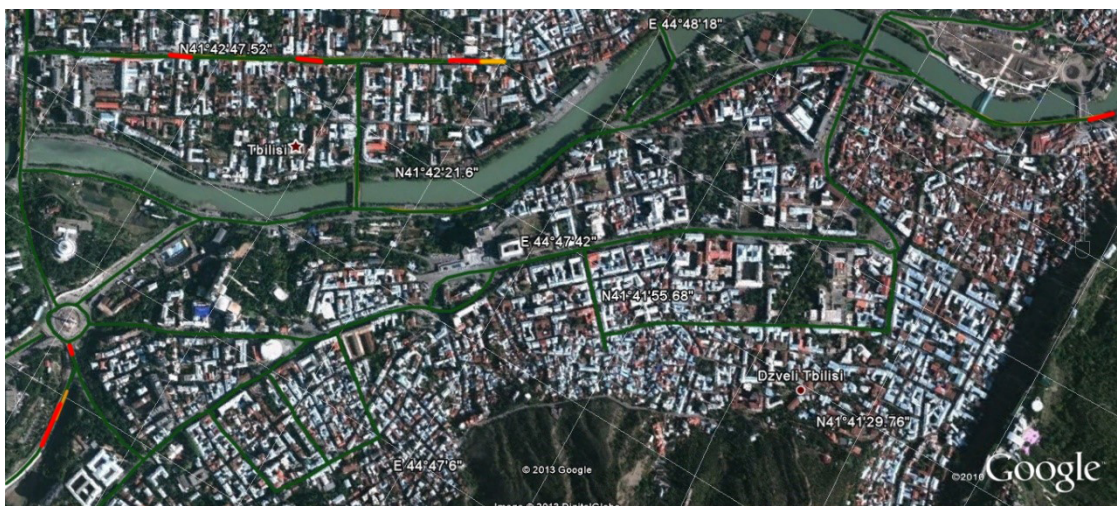
მეორე ტესტირების შედეგებმაც გვიჩვენა, რომ რეალურად სიგნალი თბილისის ზონაში მოძრაობის დროს არ განიცდის წყვეტას, მარტო ზონა 5-ში გვექონდა რამდენიმე წამიანი დაყოვნება რაც მისაღებია. იქიდან გამომდინარე, რომ შერჩეული პარამეტრებითაც მოძრაობაში მიმდების მხარეს ციფრულ სიგნალი არ განიცდის წყვეტას, მესამე ტესტირების დროსაც ყურადღება გავამახვილოთ ბიტრეიტის გაზრდაზე მულტიპლექსში და შემდეგი პარამეტრებით ჩავატარეთ გაზომვები:

მოდულაცია 64 QAM, Guard Interval 1/32, FFT 32K, Coda Rate 1/2, PP2, Bandwith – 8 Mhz. აღნიშნული პარამეტრებით მულტიპლექსში გვაქვს 20 მგ/წმ - ი.იხ. ნახაზი 1.47



ნახ. 1.47. შერჩეული პარამეტრები, რომელიც არხში იძლევა 20.28 მგ/წმ

პირველ ზონაში სიგნალის მიღების დონე ზემოთ მოყვანილი პარამეტრებითაც დამაკმაყოფილებელია, თუმცა არის ადგილები სადაც სიგნალის მიღების დონე განიცდის უმნიშვნელო წყვეტას, რომელიც მომხმარებელზე დიდად არ იმოქმედებს. იხ ნახაზი 1.48



ნახ. 1.48. სამაუწყებლო სიგნალის განვენა თბილისი ზონა 1-ში (კვლევა 3)

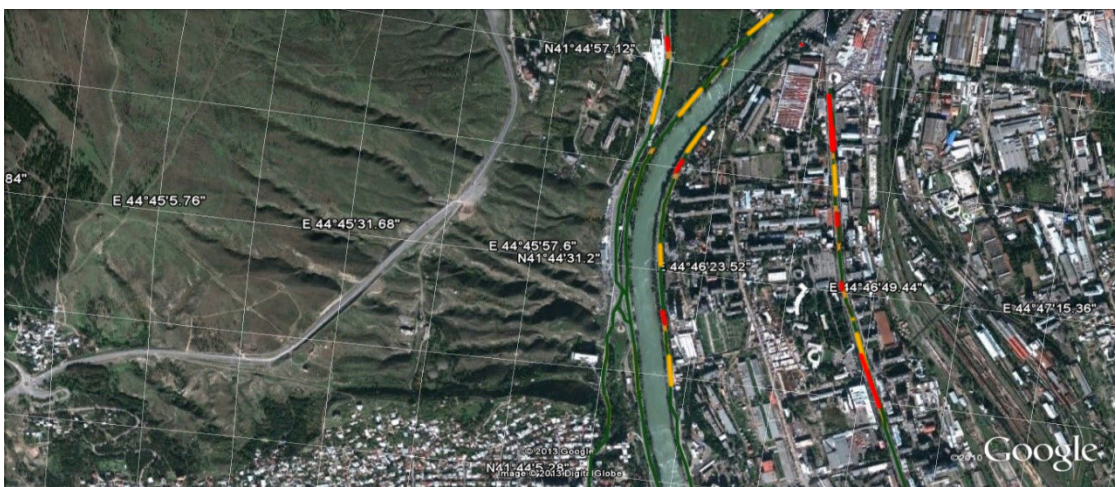


მეორე ზონაში, როგორც ელექტრონულ რუკაზე ვხედავთ(ნახაზი. 1.49) საკმაოდ ხშირია წყვეტები, ძირითადად ეს გამოწვეულია მაღალსართულიანი შენობებით, რომლებიც არ გვაძლევენ საშუალებას პირდაპირ ხედვაში ვიქონიოთ სატელევიზიო ანტენა, შერჩეული პარამეტრები შედარებით პრობლემატურია ანარეკლების შემთხვევაში, ჩვენს მიერ არჩეულ სხვა საცდელ პარამეტრებს შორის.



ნახ. 1.49. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 2-ში (კვლევა 3)

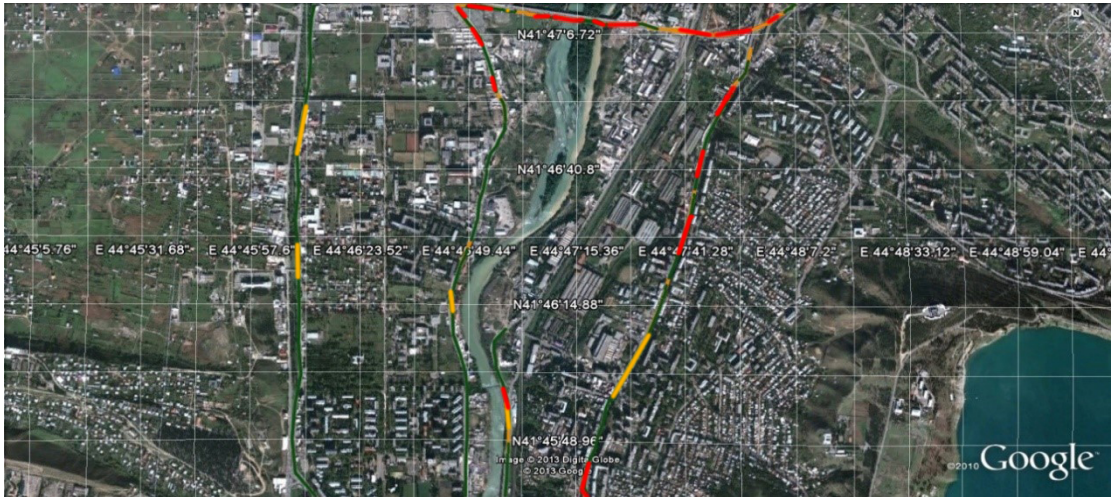
მესამე ზონაშიც შეინიშნება პრობლემები სიგნალის მიღებაში, განსაკუთრებით ჩავარდნილია დიდუბის მიმდებარე ტერიტორია. იხ. ნახაზი 1.50



ნახ. 1.50. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 3-ში (კვლევა 3)



მეოთხე ზონაში განსაკუთრებით თვალშისაცემია ჩავარდნები, გლდანის ხიდების მიმდებარე ტერიტორიაზე, მომხმარებელს მოძრაობის დროს შესაძლებელია სიგნალი რამდენიმე წუთი გაეთიშოს, რაც უკვე ცდება იმ შედეგის მიღებას, რომელიც კვლევის დასაწყისში გვაქვს ჩაფიქრებული. იხ. ნახაზი 1.51



ნახ. 1.51. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 4-ში (კვლევა 3)

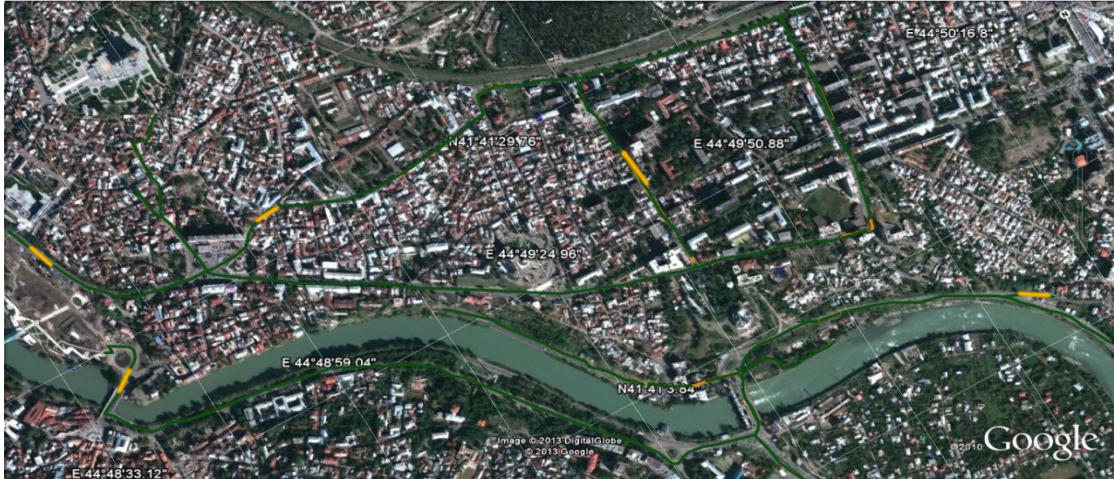
მეხუთე ზონაში აღებული გვაქვს თბილისის გასასვლელი დასავლეთისკენ, დიდი დიღმის და გლდანის ტერიტორია, როგორც ელექტრონულ რუკაზე ჩანს (ნახაზი 1.52) მომხმარებელი რომელიც აღნიშნულ ზონაში გადაადგილდება ექნება ხანგრძლივი სიგნალის წყვეტები.



ნახ. 1.52. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 5-ში (კვლევა 3)



ზონა ექვსში შედარებით უკეთესი სურათია სხვა ზონებთან შედარებით, რაც გამოწვეულია სამაუწყებლო ანძის პირდაპირი ხედვით. შეგვიძლია ვთქვათ, რომ აღნიშნულ ზონაში მოძრაობის დროს სამაუწყებლო სიგნალი არ განიცდის წყვეტას. იხ. ნახაზი 1.53



ნახ. 1.53. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 6-ში (კვლევა 3)

მეშვიდე ზონაში სიგნალის მიღების დონე დამაკმაყოფილებელია, მოძრავ ობიექტს არ ხვდება მაღალსართულიანი შენობები, შესაბამისად სამაუწყებლო ანძა მუდმივად პირდაპირ ხედვაში გვაქვს. იხ. ნახაზი 1.54



ნახ. 1.54. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 7-ში (კვლევა 3)

მას შემდეგ რაც ზონა შვიდს გავცდებით და ზონა რვაში გადავდივართ, მიღების მხარეს სულ უფრო და უფრო ინტენსიური ხდება

სიგნალის დონის ვარდნა, შესაბამისად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მერვე ზონაში აღნიშნული პარამეტრებით, შეუძლებელია დადებითი შედეგის მიღება ჩვენი კვლევისთვის.



**ნახ. 1.55. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 8-ში (კვლევა 3)**

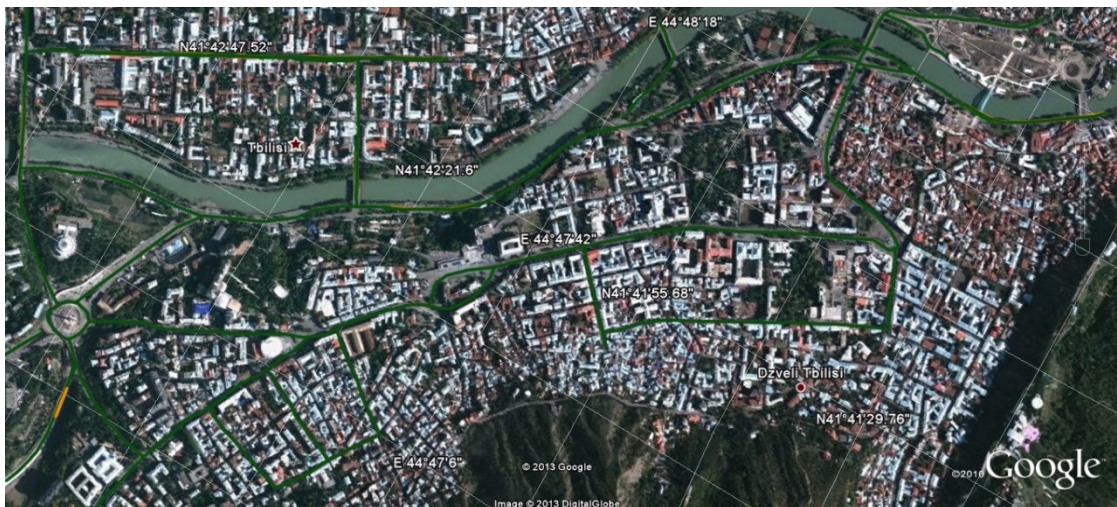
როგორც მესამე კვლევამ გვაჩვენა, 64 QAM მოდულაციით შეუძლებელია მივიღოთ ის შედეგი რაც გვაქვს დასახული მიზნად, თითქმის ყველა ზონაში მიმღების მხარეს ქონდა წყვეტები, განსაკუთრებით პრობლემები ქონდა ანარეკლების დროს, აღსანიშნავია რომ იმ შემთხვევაში თუ ობიექტი არ მოძრაობდა, ყველა ზონაში პრობლემურ ადგილებშიც კი შესაძლებელი იყო ისეთი ადგილის მოძებნა სადაც მიღების ნორმალური დონე ფიქსირდებოდა და მაუწყებლობას არ ექმნება პრობლემა, თუმცა მოძრაობის დროს აღნიშნული მოდულაცია თბილისის სამაუწყებლო ზონაში არ გამოგვადგება. მესამე კვლევის შედეგებიდან გამომდინარე, მეოთხე კვლევა შეცვლილი მოდულაციით გავაკეთეთ. პარამეტრები: მოდულაცია 16 QAM, Guard Interval 1/32, FFT 32K, Coda Rate 1/2, PP2, Bandwith – 8 Mhz. ამ პარამეტრებით საშუალება გვაქვს მულტიპლექსში 13 მეგაბიტი გავატაროთ. იხ. ნახაზი 1.56.



DVB-T2				Data Rate	Symbols	Blocks
Bandwidth	Pilot Pattern	FFT	Guard	13,158,584	65	100
8 MHz <input type="checkbox"/> ext.	PP2	32 k	1/32	13,162,319	63	97
<input type="checkbox"/> TR-PAPR <input checked="" type="radio"/> SISO <input type="radio"/> MISO			<input type="checkbox"/> T2 Lite	13,166,294	61	94
PLP				13,170,535	59	91
Modulation	Code Rate	LDPC		13,175,067	57	88
16 QAM	1/2	64k	<input type="checkbox"/> HEM	13,179,923	55	85
Frame				13,185,138	53	82
Data Symbols	FEC Blocks			13,190,753	51	79
39 [3..65]	61 [1..61]			13,196,818	49	76
Bit-Rate				13,203,387	47	73
Netto	Brutto			13,210,526	45	70
13,236,222 Bit/s	26,696,563 Bit/s			13,218,314	43	67
				13,226,842	41	64
				<b>13,236,222</b>	<b>39</b>	<b>61</b>
				13,018,198	37	57
				13,017,047	35	54

ნახ. 1.56. შერჩეული პარამეტრები, რომელიც არხში იძლევა 13.2 მგ/წმ

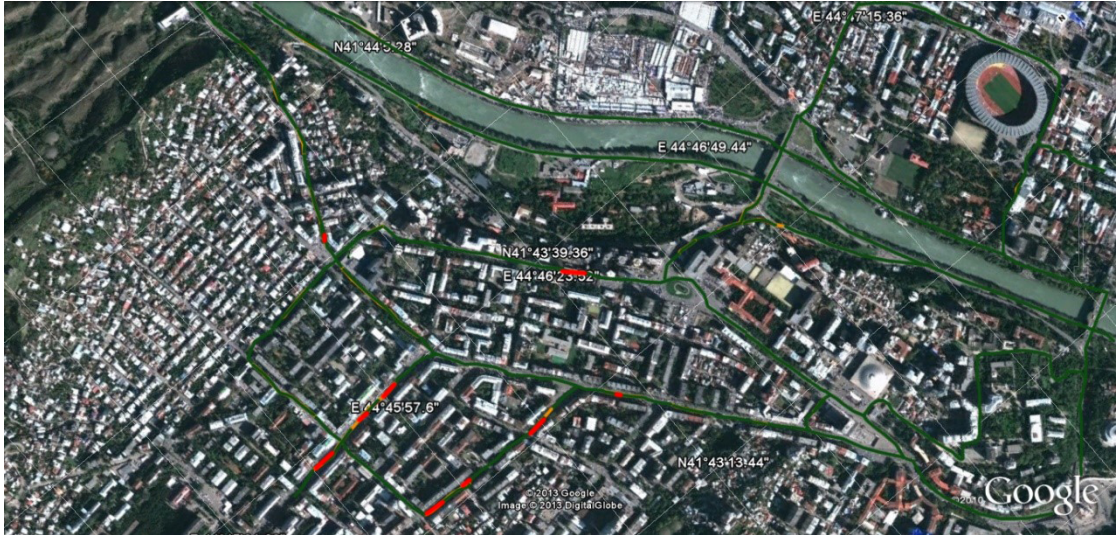
პირველ ზონაში მსგავსად პირველი და მეორე გაზომვებისა, სიგნალის წყვეტა არ ფიქსირდება. აქვე უნდა აღინიშნოს რომ, ამ უბანზე ნაკლებია ანარეკლები, შესაბამისად მოდულაციის ცვლილებას დიდი ზეგავლენა არ მოუხდენია მაუწყებლობაზე (იხ. ნახაზი. 1.57).



ნახ. 1.57. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 1-ში (კვლევა 4)

ზონა ორში (ნახაზი 1.58), საგრძნობლად შეიმჩნევა განსხვავება. გამოჩნდა ადგილები სადაც რამდენიმე წამიანი წყვეტები აღინიშნება, განსაკუთრებით ეს შესამჩნევია მაღალსართულიან შენობებში მოძრაობის დროს. რუკის აღნიშნულ უბანში გადაადგილებისას მომხმარებელი იგრძნობს დისკომფორტს ტელევიზიის ყურების დროს.





ნახ. 1.58. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 2-ში (კვლევა 4)

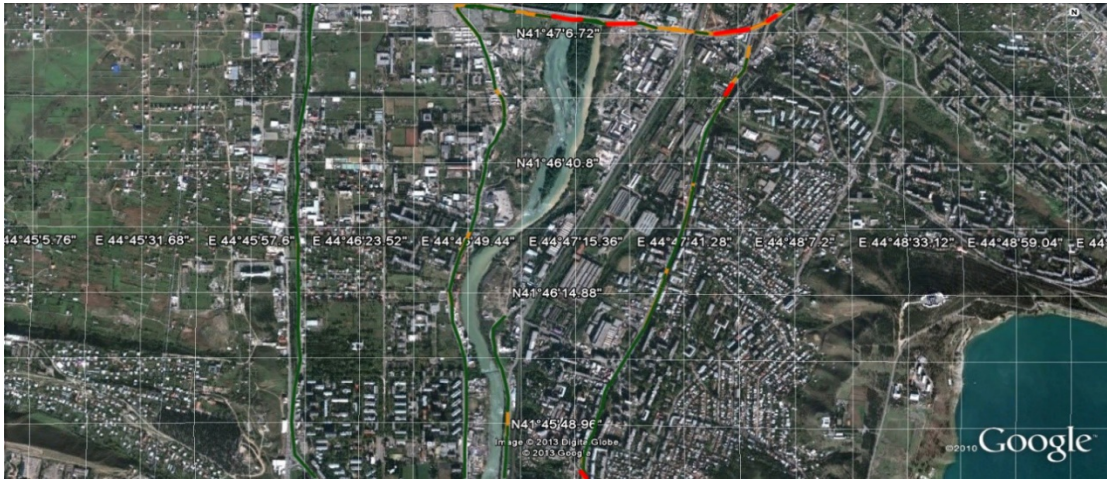
მესამე ზონაში მოძრაობისას ფიქსირდება წყვეტები, რაც წინა პირველი და მეორე კვლევების დროს არ აღინიშნებოდა. სიგნალის დონე უფრო მეტად განიცდის ვარდნას, თუმცა ხშირ შემთხვევაში ეს მაუწყებლობის შეფერხებას არ იწვევს. იხ. ნახაზი 1.59.



ნახ. 1.59. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 3-ში (კვლევა 4)

ზონა ოთხშიც (ნახაზი 1.60) მიღების დონე გაუარესებულა, განსაკუთრებით აღინიშნება წყვეტები გლდანის ხიდის მიმდებარე ტერიტორიაზე.





ნახ. 1.60. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 4- ში (კვლევა 4)

ზონა 5-ში (ნახაზი 1.61) განსაკუთრებით შესამჩნევია სიგნალის წყვეტა იქ, სადაც სამაუწყებლო ანძას ევარება მაღალსართულიანი შენობები, ამ პარამეტრებით, გლდანის ტერიტორიაზე აღნიშნული სერვისის გამოყენება დისკომფორტს გამოიწვევს მომხმარებლისთვის.



ნახ. 1.61. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 5-ში (კვლევა 4)

მეექვსე ზონაში (ნახაზი 1.62) ანძა პირდაპირ ხედვაშია და შესაბამისად როგორც წინა კვლევების დროს, აქაც სიგნალს წყვეტა არ ქონია, 16 QAM მოდულაციით მიღების დონე შედარებით უფრო ნაკლებად სტაბილურია, თუმცა მაუწყებლობა არ ითიშება.





**ნახ. 1.62. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 6-ში (კვლევა 4)**

მეშვიდე ზონაშიც (ნახაზი 1.63) სიგნალს არ აქვს ხარვეზები, მიღების დონე კარგია და არ აღინიშნება გათიშვები



**ნახ. 1.63. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 7- ში (კვლევა 4)**

მერვე ზონაში (ნახაზი 1.64) მიღების დონე, პირველ და მეორე კვლევებთან შედარებით უარესია. რაც უფრო ვცილდებით სამაუწყებლო ანძას, მით უფრო შესამჩნევი ხდება სიგნალის წყვეტები, დონე ხშირად ეცემა, რაც მაუწყებლობაზეც ისახება.



**ნახ. 1.64. სამაუწყებლო სიგნალის განფენა თბილისი ზონა 8-ში (კვლევა 4)**

მეოთხე კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ აღნიშნულ პირობებში, როგორც გადაცემის, ისე მიღების მხარეს 16 QAM მოდულაციის გამოყენება სასურველი არ არის, რადგან მომხმარებელს თბილისში და მის შემოგარენში მოძრაობის დროს ექნება სიგნალის წყვეტები, აქედან გამომდინარე ვფიქრობ ჩვენს მიერ შერჩეული პარამეტრები: მოდულაცია QPSK, Guard Interval 1/32, FFT 32K, Coda Rate 1/2, PP2, Bandwith – 8 Mhz. საუკეთესო გამოსავალია თბილისში მოძრავი მობილური მაუწყებლობისთვის, მულტიპლექსში მეგაბიტების რაოდენობა შეადგენს 6.6 მეგაბიტს, სადაც შესაძლებელი იქნება დაბალი რეზოლუციით და H 264 ვიდეო კომპრესიით 8 სატელევიზიო არხის გატარება.

## 1.4. დასკვნა

აღნიშნულ თავში მიმოვიხილეთ ციფრული სამაუწყებლო სტანდარტები, სადაც თვალნათლივ დავინახეთ, სტანდარტი რომელიც ჩვენმა ქვეყანამ შეარჩია დღეის მდგომარეობით ერთ-ერთი საუკეთესოდ ითვლება და ბევრი გამოწვევების გადაჭრა შეუძლია, განსაკუთრებით იმ რელიეფისთვის რომელიც ჩვენს ქვეყანას გააჩნია. განვიხილეთ ის



პრობლემები რომელმაც თავი იჩინა გაციფრულების პროცესში, დეტალურად განვსაზღვრეთ პარამეტრები თითოეული სამაუწყებლო პუნქტიდან გამოსხივებული სიგნალისა და შესაბამისი პროგრამით განვახორციელეთ სიგნალის განფენა. ასევე განხილულ იქნა სადისტრიბუციო (სარელეო) ქსელის დაყოვნება თითოეული სამაუწყებლო ანძისთვის, რომელიც ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია SFN ქსელის აგების დროს, საყურადღებოა სარეზერვო სადისტრიბუციო ქსელი და მისი დაყოვნების დროის სწორი განსაზღვრა. კვლევის შედეგად შერჩეული იქნა საუკეთესო პარამეტრები SFN ქსელისთვის, ასევე გამოვლენით და გადაჭრილ იქნა ის პრობლემები რომელიც ხელს უშლიდა სინქრონიზაციას ელექტრონული რუკის სხვადასხვა უბანში, აღნიშნულმა პრობლემის მოგვარებამ, დაგვაზოგინა სიხშირული რესურსი და მოგვცა საშუალება ნაკლები დანახარჯებით ფართო არეალი მოგვეცვა.

თბილისის სამაუწყებლო ზონაში განხილულ იქნა მოძრაობაში ციფრული მაუწყებლობის მიღების საკითხი, ჩატარებული ცდებით შერჩეულ იქნა საუკეთესო პარამეტრები როგორც მიღების ისე გადაცემის მხარეს, რომელმაც მოგვცა საშუალება სრულად დაფარულიყო დედაქალაქი და სიგნალს მოძრაობისას არ ქონოდა წყვეტა. SFN სინქრონიზაცია აღნიშნული საკითხის დროსაც საკმაოდ მნიშვნელოვანია, რადგან ტესტირებისთვის გამოსხივებული სამაუწყებლო სიგნალი ორი ერთმანეთთან ახლოს მდგომი ანძიდან განხორციელდა, სადაც გადაფარვა 90% ზე მეტი იყო. თუმცა იქიდან გამომდინარე, რომ მოდულაციის საკმაოდ დაცვითი პარამეტრები ავიღეთ, ეს საკითხი წინა შემთხვევისგან განსხვავებით არც თუ ისე მწვავედ იდგა.

## თავი 2. კრიპტო კოდირების სისტემაში GPS მოდულის ინტეგრაცია

ამ თავში საუბარი გვექნება კომპანია „სუმავიჟენში“ შექმნილ კრიპტო კოდირებაზე, რომელიც დღეის მდგომარეობით ერთ-ერთ მოთხოვნად პროდუქტად ითვლება მსოფლიო ბაზარზე, აღნიშნულ კომპანიაში რამოდენიმე თვე დავყავი და დეტალურად გავეცანი Suma Cas ის სტრუქტურას. ერთობლივად ვმუშაობდით კრიპტო კოდირების სისტემაში მოდულების შექმნაზე და მის ინტეგრაციაზე.

ციფრული სატელევიზიო კოდირების სისტემა (Suma CAS) შექმნილია DVB-ის simulcrypt სტანდარტებზე დაყრდნობით და მოიცავს ისეთ ფუნქციებს, როგორცაა: ავტორიზაციის მენეჯმენტი, მრავალ-ოპერატორული მხარდაჭერა (მათ შორის ორ დონიანი CAS და მრავალ დონიანი CAS), PIN დაცვა, მუშაობის დროის კონტროლი, პროგრამის რეიტინგის კონტროლი, მოწყობილობის ბარათის შესაბამისობა, თითის ანაბეჭდის კონტროლი, რეგიონული ბლოკირება, მონიტორინგის ინტერფეისი და მისამართების მენეჯმენტი.

მომიწია სხვა მიმდინარე სერვისების დანერგვაში მონაწილეობის მიღება, მაგალითად DVB სტანდარტში OTT ინტეგრაცია [15], ჩემს იქ ყოფნის დროს მიმდინარეობდა middleware - ის სისტემის დანერგვა DVB-C ოპერატორებისთვის, ასევე საინტერესო იყო თვითონ აბონენტის მართვის სისტემაში სხვადასხვა სერვისის დანერგვა. ჩემი იქ სწავლის და მუშაობის პერიოდში ვცდილობდი განსაკუთრებით გამემახვილებინა ყურადღება იმ საკითხებზე რომელიც მნიშვნელოვანი იქნებოდა ჩვენი ქვეყნისთვის მომავალი ათწლეულების მანძილზე, რადგან 2 წლის შემდეგ ქვეყანა ციფრულ მაუწყებლობაზე უნდა გადასულიყო - ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასვლა საქართველოს საერთაშორისო ვალდებულება გახლდათ ჟენევის 2006 წლის შეთანხმების თანახმად, ე.წ. #1 რეგიონის ქვეყნები, რომლებშიც საქართველოც შედის, 2015 წლამდე ციფრულ მაუწყებლობაზე უნდა

გადასულიყვნენ, იმ პერიოდისთვის ბევრი რამ ჯერ კიდევ გაურკვევი იყო, ბოლომდე არ იყო დამტკიცებული რომელ სტანდარტს ავირჩევდით, ასევე რომელ ვიდეო კომპრესიას გამოვიყენებდით, საერთოდ არ რჩებოდა დრო Simultaneous broadcasting პერიოდისთვის, რაც გულისხმობს პერიოდს, როდესაც მაუწყებლობებ როგორც ანალოგური ისე ციფრული ოპერატორები. აქედან გამომდინარე ეს ყველაფერი ჩემთვის დამატებითი სტიმული გახლდათ, ჩემი ყველა ნაშრომი თუ მოხსენება აღნიშნულ თემას ეხებოდა. თუმცა მთავარი ჩემი იდეა რისთვისაც იქ ვიყავი კრიპტო კოდირების სისტემაში მიმღები მოწყობილობის მხარეს დამატებითი მოდულების შექმნა და GPS ის ინტეგრაცია იყო, GPS -ი საკმაოდ დიდ როლს თამაშობს თანამედროვე მსოფლიოში, GPS ჩიპი სულ უფრო და უფრო მეტ საყოფაცხოვრებო ტექნიკაში გვხვდება, მაგალითად ბოლო პერიოდში მობილურ ტელეფონებში ბევრი ფუნქცია GPS ზეა მიბმული, ფოტოაპარატებში გვხვდება GPS ჩიპი, რომელიც გვეხმარება დავადგინოთ კონკრეტული სურათის გადაღების ადგილმდებარეობა. GPS ჩიპის ინტეგრაციასთან ერთად მოვახდინეთ ახალი მოდულების შექმნაც, რაც მიმღებ მოწყობილობას უფრო ეფექტურს და მართვადს ხდის, მაგალითად ჩვენი სიახლის შემოტანის შემდეგ გახდა შესაძლებელია პირობითი დაშვების სისტემიდან მართო სიხშირული დიაპაზონი.

დღესდღეობით როცა ქვეყნების ერთი ნაწილი გადასულია ციფრულ მაუწყებლობაზე და მეორე ნაწილი ახლახან გეგმავს ციფრული მაუწყებლობის დაწყებას, მნიშვნელოვანია მიმღებ მოწყობილობაში GPS ჩიპის ინტეგრაციით მიღებული შედეგების გაანალიზება, რომლის ანალოგიც არ არსებობს მსოფლიოში.

სწორედ ჩინეთში მიღებული გამოცდილება, სიახლეები, გამოწვევები და პრობლემების გადაჭრის გზები იქნება გადმოცემული აღნიშნულ თავში.



## 2.1. კრიპტო კოდირების სისტემების მიმოხილვა

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

კომპანია Irdeto დაარსებულია ნიდერლანდებში. კომპანია შეიმუშავებს პროგრამულ ტექნოლოგიებს, კონტენტის მართვისა და დისტრიბუციის გადაწყვეტილებებს, ციფრული კონტენტის დაცვისა და მონეტიზაციის კომპლექსური სისტემებს ფასიანი ციფრული და IP ტელევიზიებისთვის. კომპანიის ორი შტაბბინა მდებარეობს ჰუფდორფში, ამსტერდამთან ახლოს და ქალაქ პეკინში. [16]

Irdeto აწარმოებს სმარტ ბარათებსაც, კრიპტო კოდირებულ სისტემებს ფასიანი ტელევიზიისთვის და სხვა მიკროპროცესორულ და პროგრამულ ტექნოლოგიებს მრავალმხრივი გამოყენებისთვის, ასევე კონტენტის დამუშავებისა და გავრცელების ავტომატიზაციის საშუალებებს. Irdeto-ს ტექნოლოგიები გამოიყენება კომუნიკაციის მობილური საშუალებებისა და სატელევიზიო კონტენტის კოდირებისთვის ციფრული ტელევიზიის სხვადასხვა სტანდარტებში: DVB, S-DMB, T-DMB. Irdeto-ს სისტემები გამოიყენება OMA1, OMA2 სტანდარტების მხარდაჭერით მობილურ ტელეფონებზე კონტენტის დასაცავად. კომპანიის კლიენტებს შორის არიან: ფასიანი ტელევიზიების ოპერატორები, ტელეკომუნიკაციის ოპერატორები და სხვა მრავალი კომპანია. Irdeto — შვილობილი კომპანიაა საერთაშორისო მედია ჯგუფის Naspers, რომლის შემადგენლობაში შედიან მაუწყებლებიც.

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, 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 ალბათობი 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. V 2.6 გამოვიდა 2005-ის ბოლოს, V 3.0 კი - 2007-ის ზაფხულში. გამოიყენება Viaccess V 2.3 -ის ორი ვერსია: პირველი, ცნობილი, როგორც TPS Crypt, გამოიყენება TPS -ის მიერ. TPS Crypt სისტემა შემდგომში მოდიფიცირდა AES გასაღების გამოყენებაზე. AES გასაღები თავდაპირველად განახლდებოდა კვირაში ერთჯერ; გამოსვლისთანავე პირატულ მომხმარებელთა რიცხვმა იკლო, ხოლო საგრძნობლად შემცირდა მას შემდეგ რაც გასაღების გაგზავნის ინტერვალის დრო ერთი კვირიდან 12 წუთამდე დავიდა, გასაღები იგზავნებოდა TPS-ის შიდა Open TV სისტემით. ამგვარად, ეს ნიშნავდა იმას, რომ მხოლოდ TPS მიმღებებს შეეძლოთ მიეღოთ AES key. საკმაოდ მრავალრიცხოვანია იმ პროვაიდერების რაოდენობა რომლებიც იყენებენ აღნიშნულ სერვისს, მათ შორისაა - ART, NTV, Televisa Networks, Canal Satellite France, FRANSAT, ABSat, ETTV, TBLTV, Home2US, YouSee, Croatian Radiotelevision, RTV Slovenija, SRG.[17]

Conax Smart Cards არის სპეციალიზებული კრიპტოგრაფიული მოწყობილობები, გამოყენებული STB და TV კონტენტზე წვდომის გასაკონტროლებლად[18]. 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. დღეისათვის მიმღები მოწყობილობა რომლებსაც მომხმარებლები იყენებენ ყველაზე სუსტი რგოლია უსაფრთხოების ჯაჭვში. მომხმარებლის დაბალი უსაფრთხოების მქონე მოწყობილობა ადვილად შეიძლება იქნეს გამოყენებული ბარათების გაზიარების, STB -ის გატეხვის, ლაივ და შენახული კონტენტის არალეგალური რედისტრიბუციის ფორმით.

აქედან გამომდინარე კომპანიამ პირველმა წარმოადგინა „Chipset pairing“ პროდუქტი – კრიპტოგრაფიული შერწყმა მოწყობილობისა და სმარტ ბარათებს შორის, რომელიც თავიდან გვაცილებს საკონტროლო სიტყვების უკანონო გაზიარებას სხვა მომხმარებლების მოწყობილობებზე. კომპანიის პროდუქტი 85 ზე მეტ ქვეყანაში გამოიყენება, მათი კლიენტები არიან ისეთი ცნობილი მაუწყებლები და ოპერატორები როგორებიცაა - ციფრული არხი(ნორვეგია), მალივიზია (მალი), სტართაიმ მედია, დიშ ტვ (ინდოეთი), კ.პ.ნ. (ჰოლანდია), ფოკუს სატი (რუმინეთი), აკტა ტელეკომი(რუმინეთი) , ტვრ(რუმინეთი), სითი კაბელი(ინდოეთი).

Sumavision ერთ-ერთი ყველაზე წარმატებული კომპანიაა ჩინეთში, რომელიც 2000 წელს დაარსდა. სწორედ აღნიშნულ კომპანიაში მომიწია რამოდენიმე თვე მუშაობა. ჩემი ძირითადი მიზანი კრიპტო კოდირების სისტემის გარჩევა, გასაუმჯობესებლად ახალი გზების მოძიება და მიმდებ მოწყობილობაში ინტეგრაცია იყო. შემდეგ პარაგრაფში დეტალურად შევხებით კოდირების სისტემის პროცესინგს, დადებით და უარყოფით მხარეებს, ასევე მასში ახალი მოდულის ინტეგრაციას.

## 2.2. კრიპტო კოდირების სისტემის აღწერა

Suma CAS შეიძლება დაიყოს ორ ნაწილად: ძირითადი ნაწილი და ტერმინალი.

1. ძირითადი ნაწილი თავის მხრივ შეიძლება დაიყოს სამ ფენად: ქსელური მენეჯმენტი, მოდულები და მონიტორინგი.

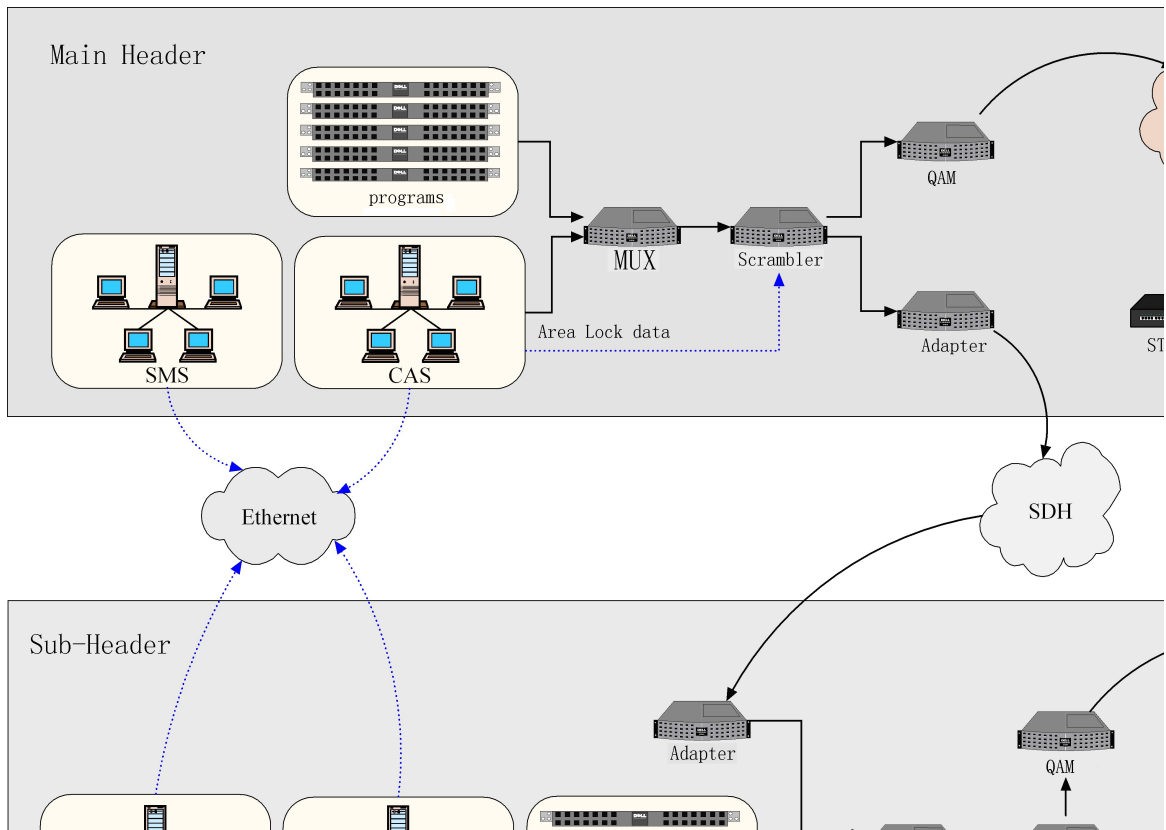
1) ქსელური მენეჯმენტი, რომელიც არის მოდული ეკრანული გამოსახულებით, ძირითადად, გამოყენებულია მოდულის პარამეტრების კონფიგურირებისთვის, მოდულების მიმდინარე სტატუსისა და შესაფერისი მონაცემებით დაინტერესებულ მომხმარებლებზე (იუზერებზე) ინფორმაციის დასადგენად.

- 2) მოდულები გამოიყენება Suma CAS-ის სპეციფიური ფუნქციების დასასრულებლად და წარმოადგენს მიმდინარე სერვის-პროგრამებს, ECMG (Entitlement Control Message Generator) & RF G (Entitlement Management Message Generator) -ის ჩათვლით.
- ა) ECMG (Entitlement Control Message Generator) გამოიყენება კომუნიკაციის პროტოკოლის შიფრატორთან ინტერაქციის შესასრულებლად და ძირითადად, ასრულებს ECM პაკეტების შიფრატორზე დაბრუნების ფუნქციას შიფრატორიდან მოწოდებული AC ინფორმაციის მიხედვით.
  - ბ) EMMG (Entitlement Management Message Generator) გამოიყენება კომუნიკაციის პროტოკოლის შიფრატორთან ინტერაქციის შესასრულებლად და ძირითადად, ასრულებს EMM პაკეტების შიფრატორზე გაგზავნის ფუნქციას.
  - გ) CA Packer. გამოიყენება ECM and EMM პაკეტების გენერირებისთვის და ამ პაკეტების დაშიფვრისთვის.
  - დ) CA აგენტი ფუნქციონირებს, როგორც CAS აგენტი და გამოიყენება SMS (Subscriber Management System) კომუნიკაციისთვის.
  - ე) CA მონიტორი გამოიყენება ტელევიზიისა და რადიოს მარეგულირებელ პლატფორმასთან მონაცემთა ინტერაქციის დასასრულებლად.
  - ვ) AreaLock გამოიყენება რეგიონული დაფარვის ფუნქციის შესასრულებლად.
  - ზ) TSPackSender გამოიყენება TS პაკეტების გაგზავნის შესასრულებლად.
  - თ) STBLoader გამოიყენება STB ში ნაკადის გასანახლებლად.
  - ი) BiGateway არის ორ-მხრივი ფუნქციური მოდული.
2. ტერმინალი იყოფა STB CA (Set-Top Box Conditional Access) მოდულად და Smart Card-ად.

- 1) STB CA მოდული არის ჩაშენებული აპლიკაცია, რომელიც ფუნქციონირებს STB-ის მთავარ პროგრამაში. ECM (Entitlement Control Message) და EMM (Entitlement Management Message) პაკეტების მიღებისა და გადამუშავების მექანიზმის ჩათვლით. დამატებით, ის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ინფორმაციის ინტერაქციისთვის Smart Card-თან.
- 2) Smart Card-ი ღებულობს მისთვის გამოყოფილ ინფორმაციას სპეციალური პროტოკოლის მეშვეობით რომელიც კომპანია სუმავიჟენში შეიქმნა, ასევე ის გამოიყენება მონაცემთა დაშიფვრასა და შენახვაში.
- 3) Suma CAS -ს ციფრული ტელევიზიისთვის გააჩნია მოქნილი და საიმედო სისტემური არქიტექტურა და ხელს უწყობს მეტი სერვისების შექმნას. ამასთან ერთად, მას აქვს მყარად სტაბილური მექანიზმი შიფრატორთან და STB-თან შეხამებისა, რათა უზრუნველყოს MPEG2/MPEG4 transport stream-ის დაშიფვრა - განშიფვრა და შესაძლებელი გახადოს ლიცენზირებული წვდომა ციფრულ სატელევიზიო პროგრამებზე.

დაშიფრული პროგრამები სერვერის ოპერატორებისგან უშუალოდ გადაეცემა მომხმარებელს ისე, რომ არ გაიშიფრება ქსელის ოპერატორების მიერ. მომხმარებელს შეუძლია უყუროს დაშიფრულ პროგრამას ორივე - სერვერისა და ქსელის ოპერატორებისგან STB -ით და Smart Card-ით. ბოლო მომხმარებლები იქმნება ქსელის ოპერატორების მიერ და როცა მათ უნდათ, უყურონ პროგრამას სერვერის ოპერატორებისგან, მათ ჭირდებათ ერთობლივი ნებართვა როგორც სერვერის, ისე ქსელის მხარეს.

ნახაზ 2.1 ზე ნათლად ჩანს CAS-ის ორ-საფეხურიანი დეტალური სქემა.



ნახაზი 2.1. CAS ორ საფეხურიანი დეტალური სქემა.

შენიშვნა: პირველი სურათი - სერვერის ოპერატორებია, მეორე სურათი - ქსელის ოპერატორებია

Suma CAS-ის IPPV ფუნქცია შეიძლება რეალიზებულ იქნას უკუკავშირისთვის. იუზერი ამოწმებს IPP პროგრამის ინფორმაციას STB-ზე, უმთავრესად - პროგრამის შინაარსს, პროგრამის ტიპს, პროგრამის ხანგრძლივობასა და პუნქტს პროგრამის ერთეულ დროისთვის, შემდეგ ირჩევს საყიდლად საინტერესო პროგრამას. როცა პროგრამა იწყება, თუ მას მომხმარებელი უყურებს, IC card ავტომატურად გამოთვლის შესაბამის პუნქტს ბარათიდან; IC ბარათის ჩატვირთვა უკუკავშირის არხის გავლით, რეგულარულად გადაიცემა უკან, ცენტრალურ მოწყობილობაზე რეგისტრაციისა და დადასტურებისთვის, რათა დაცულ იქნეს სისტემის უსაფრთხოება.

Suma CAS-მა შეიძლება განსაზღვროს, შეუძლია თუ არა მყარი დისკით აღჭურვილ STB-ს, ჩაიწეროს ვიდეო. პირველ რიგში, ECM პროდუქტის ინფორმაციამ უნდა გაარკვიოს, თუ შეუძლია ამ პროდუქტს,

ჩაიწეროს ვიდეო, შემდგომ, უნდა გაირკვეს, თუ იძლევა ავტორიზაცია ვიდეოს ჩაწერის ნებართვას. მხოლოდ ამ ორი პირობის დაკმაყოფილების შემთხვევაში, STB-ს ჩაერთვება ვიდეოს ჩაწერის ნება IC ბარათიდან.

Suma CAS-ის ავტომატური ჩართვის ფუნქცია მნიშვნელოვანი გარანტიაა სისტემის სტაბილურობისა. როცა ქსელის მენეჯმენტის სისტემა აღმოაჩენს სისტემის რომელიმე მოდულის გაუმართაობას, მას შეუძლია, გადატვირთოს ეს მოდული. თუ გაუმართაობა არ აღმოიფხვრა მოდულის გადატვირთვით, ჩართავს სარეზერვო სერვერს, რათა უზრუნველყოს სისტემის ნორმალური მუშაობა.

რეგიონული ინფორმაცია NIT-ის ცხრილში სრულად გადაიცემა ჩვეულებრივი ტექსტით, რაც აიოლებს მის ხელში ჩაგდებას მთელი უბნის რეგიონული პაკეტს გატეხვის მიზნით. Sumavision გვაწვდის დაშიფრული უსაფრთხო რეგიონული პაკეტის სხვა გადაწყვეტილებას.

Suma CAS აგენერირებს დაშიფრულ რეგიონულ ინფორმაციას - condition code stream. სადაც არის sub-head-end, რომელსაც სჭირდება რეგიონული ბლოკი, იქ უნდა იყოს შეასაბამისი მონაცემთა condition code stream-ის პაკეტი, ჩასმული პროგრამის ნაკადში. ქვეთავის კვანძზე, ის ფილტრავს სხვა რეგიონების რეგიონული ინფორმაციის condition code stream-ის მონაცემთა პაკეტს მულტიპლექსორით ან მოდულატორით PID გამფილტრავი ფუნქციით, ინარჩუნებს რა რეგიონული ინფორმაციის condition code stream-ის მონაცემთა პაკეტს.

როცა STB დებულობს პროგრამის ნაკადს, ის ამოიღებს რეგიონული ინფორმაციის condition code stream-ის მონაცემთა პაკეტს სიხშირის მთავარი წერტილიდან და გადასცემს მას smart card-ს, რათა აღადგინოს condition code stream-ის მონაცემთა პაკეტი smart card-ით და ადარებს აღდგენილ რეგიონული ინფორმაციას smart card-ის რეგიონულ კოდს, რათა smart card-მა დაიწყოს იუზერისთვის ოპერირება რომ მან, ნორმალურად, უყუროს პაკეტს.



შენიშვნა: მიმდინარე რეგიონული ბლოკი, ძირითადად, აღიქმება სიხშირის მთავარი წერტილიდან რათა შესაბამისი რეგიონული ინფორმაცია იქნეს მოპოვებული სიხშირის მთავარი წერტილის ძეხნით STB-ზე.

მაუწყებლობისა და TV ქსელის ორმხრივ ტრანსფორმაციასთან ერთად, Sumavision უშვებს ორმხრივ CAS-ს. ორმხრივ ქსელში CAS -ს დამატებით, შეთავსებული აქვს ორმხრივი დაცვის ფუნქცია ცალმხრივი CAS ბაზაზე, რათა მან დაიცვას ორმხრივი სერვისის უსაფრთხოება. ორმხრივი CAS შეიცავს უფრო მეტ ფუნქციას, უფრო წარმატებულად მუშაობს, უფრო უსაფრთხოა, ვიდრე ცალმხრივი CAS-ი.

ნაკლოვანებებმა განაპირობეს ის ფაქტი, რომ ორმხრივი CAS აუცილებლად დაიკავებს ცალმხრივი CAS-ის ადგილს.

EMM ავტორიზაციის პაკეტი შეიძლება გადაიცეს UDP-ით პროტოკოლით. როცა ტერმინალის smart card ღებულობს ავტორიზაციას, ის აბრუნებს უკუკავშირს ორმხრივი STB-ის IP ქსელის არხით, რათა გადასცეს და დაადასტუროს ავტორიზაცია დაუყოვნებლივ.

ECM-ის ტრანსმისია კონტროლდება დემიფრატორით. ECM(Enterprise content management) პაკეტი შეიცავს CW ინფორმაციას. თუ ECM პაკეტი გატყდება, CW მთლიანად გამჟღავნდება. მაგრამ დამატებით ECM დაშიფრულია დაშიფვრის ალგორითმით, რომლის უსაფრთხოების ხარისხი არ არის 3 DES (Data Encryption Standard) ნაკლები, ECM ინფორმაციის სრული უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

Suma CAS-ს აქვს ყველაზე დახვეწილი სისტემის არქიტექტურა უსაფრთხოების გარანტიით. მეოთხე კლასის სიმრავლე, გამტარუნარიანობის დინამიური პროტოკოლი, ჯგუფური მიმართვები გამოიყენება EMM(entitlement management message) ისეთი პაკეტების გასავრცელებლად, როგორცაა ავტორიზაცია; ამან გაზარდა დისტრიბუციის ეფექტურობა. ამასთან ერთად, ის მკაცრად იცავს DVB simulcrypt-ის სტანდარტით განსაზღვრულ პროტოკოლს და შეუძლია ინტეგრაცია ნებისმიერ დემიფრატორთან.

ტერმინალი შედგება STB CA მოდულისა და smart card-გან. STB CA მოდული აპლიკაციის პროგრამის ოპერირებასთან ერთად, ჩართულია STB-ის მთავარ პროგრამაში, რათა მიიღოს ECM და EMM პაკეტები და გაცვალოს ინფორმაცია smart card-თან. Smart card-ი იყენებს smart card COS, დამოუკიდებლად შემუშავებულს Sumavision-ის მიერ, რათა მართოს მონაცემთა დოკუმენტის სისტემა და გაშიფროს და შეინახოს მონაცემები. იხილეთ ცხრილი 1.11.

ცხრილი 1.11. ფუნქციების სახე

კატეგორია	ფუნქცია	კატეგორია	ფუნქცია
ავტორიზაციის მენეჯმენტი	პრე-ავტორიზაცია	სათვალთვალო კონტროლი	პროგრამის დონის ლიმიტი
	ფაზური ავტორიზაცია		სამუშაო საათები
	ავტორიზაციის ავტომატური ვადის გასვლა		ვიდეო კონტროლი
	ავტორიზაცია		რეგიონული ლიმიტი
	გამოწერის გაუქმება		STB-card-ის შესაბამისობა
Smart card მენეჯმენტი	გახსნა/შეწყვიტო ანგარიში		უფასო დათვალიერება
	PIN დაცვა		პირობითი მაუწყებლობა
	Mother-daughter Card კონტროლი		გადაუდებელიპროგრამის მაუწყებლობა
IPP	IPPT	აპლიკაციის ფუნქცია	OSD
	IPPV		E-მეილი
	საფულეს შევსება		
მრავალ-შრიანი CAS ოპერაცია	ორ-შრიანი ოპერატორები .გააზიარე mart card, და ზედა	დისტანციური ზედამხედველობა	რეგულირება IC card-ის გამოშვების ინფორმაცია,

	და ქვედა დონის პროგრამები შიფრატორზე.		ავტორიზაციის ინფორმაცია, და პროდუქტის ინფორმაცია.
უსაფრთხოების დაცვა	STB-card-ის კომუნიკაციის დაშიფვრა. ანტი-DPA თავდასხმა. ანტი-DFA თავდასხმა		

Suma CAS -ის პროგრამის ყოველ ტიპს შეუძლია დასაწყისში დაადგინოს დრო უფასო დათვალიერებისთვის. ამ პერიოდის განმავლობაში ყველა მომხმარებელს ან მათ, ვინც აკმაყოფილებს გარკვეულ პირობას. შეუძლიათ ამ პროგრამის უფასოდ ნახვა, თუ ის მხარდაჭერილია smart card-ით. CAS-ს ის საგანგებო პროგრამული მაუწყებლობის ფუნქციით ოპერატორს შეუძლია, მოსთხოვოს ყველა ავტორიზირებულ იუზეს 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 ამორჩევად და ა.შ.) საგანგებო მაუწყებლობის შემდეგ, STB დაიბრუნებს წინანდელ მდგომარეობას, რათა ნორმალურად მიიღოს პროგრამა. Stream Guard CAS უზრუნველყოფს გაძლიერებულ უფასო დათვალიერების/ Enhanced Free Preview რეჟიმს ოპერატორის ფაქტიური მოთხოვნის მიხედვით, რათა ეფექტურად იქნეს თავიდან აცილებული მომხმარებლის მიერ უფასო დათვალიერების დროის გადაცილების შესაძლებლობა, რაც ხშირად ხდება ტრადიციულ უფასო დათვალიერების რეჟიმებში დროის უწყესრიგოდ განსაზღვრის გამო. უფასო დათვალიერების ახალი ტიპით დროის ათვლა

იწყება მაშინ, როცა მომხმარებელი უყურებს დათვალიერებულ პროგრამას, რათა დარწმუნდეს, რომ იუზერს შეუძლია თავისუფლად გააკონტროლოს უფასო დათვალიერების დრო. Suma CAS-ს შეუძლია დაადგინოს პროგრამის კლასი თითოეული იმ პროდუქტისა, რომელიც იუზერმა შეიძლება დაადგინოს STB-ის IC card-ის ყურების კლასში. თუ იუზერის მიერ დადგენილი IC card-ის ყურების კლასი დაბალია პროგრამის კლასზე, IC card ნებას არ მისცემს იუზერს, უყუროს პროგრამას. ამ ფუნქციის მიზანია, დაიცვას ბავშვი მოზრდილების ზოგიერთი პროგრამის ყურებისგან. იუზერმა უნდა ჩასვას PIN კოდი STB-ზე IC card-ის ყურების კლასის მოდიფიცირებისთვის და თუ მცდარი PIN კოდი შეიყვანება 3-ჯერ ზედიზედ, IC card დაბლოკავს PIN კოდს.

### 2.3. სისტემის უპირატესობა

- დამოუკიდებელი ინტელექტუალური საკუთრების უფლება უზრუნველყოფს უამრავი მოდულის თუ ფუნქციის ჩაშენებას, რაც სტრუქტურას უფრო დახვეწილს და მოქნილს ხდის.
- სხვადასხვა ფუნქციები მოიცავენ ბაზარზე არსებული CAS-ის ყველა ფუნქციას.
- სისტემის მიერ მიღებული დაშიფვრის ფუნქცია ძალიან საიმედოა.
- დამოუკიდებლად გამოკვლეული და შემუშავებული Smart Card ძნელი გასატეხია.
- ბარათის გამოშვების დამოუკიდებელი სისტემა ძირშივე გამორიცხავს პირატობას.
- Suma CAS ის სერვისები მაქსიმალურად მომხმარებელზეა მორგებული.
- სრულყოფილი მონაცემების შენახვის სერვისი უზრუნველყოფს

სისტემის უსაფრთხო და საიმედო ფუნქციონირებას.

- ღია სისტემა მოსახერხებელია მენეჯმენტის სისტემასთან, მულტიპლექსორთან, შიფრატორთან და მომხმარებლის STB-თან ინტეგრირებისთვის.
- ონ-ლაინ განახლების მხარდაჭერა.

1.12 ცხრილში იხილეთ კრიპტო კოდირების სერვისის ფუნქციური მახასიათებლები.

**ცხრილი 1.12. კრიპტო კოდირების პარამეტრები**

მაქსიმალური რაოდენობა მომხმარებლებისა, რომელიც შეიძლება CAS პროგრამულმა მხარემ დაამუშაოს (ეხება პროგრამის სპეციფიურ კონფიგურაციას)	12 მილიონი
მაქსიმალური რიცხვი შიფრატორით მხარდაჭერილი სერვისებისა	6,000
მაქსიმალური რიცხვი პროდუქტებისა	65,535
მაქსიმალური რიცხვი ტრანსპორტის ნაკადისა სერვისის ინფორმაციის გატარებისას	100
მაქსიმალური რიცხვი სერვისის/ტრანსპორტის ნაკადისა	220
მაქსიმალური რიცხვი შიფრატორისა, რომელსაც მხარს უჭერს ერთეული EMMG (ეხება მყარი დისკის სპეციფიურ კონფიგურაციას)	52

ავტორიზაციის დრო მნიშვნელოვანი ინდექსია CAS-ის მუშაობის გასაზომად. SARFT (the State Administration of Radio Film and Television)-ის A კლასის ქსელის წვდომის ტესტირებაში (იუზერების რაოდენობა 10 მილიონია), Suma CAS მოიხმარს ყველაზე ნაკლებ დროს SARFT-ის



ტესტებში დაწყებული SMS ბრძანების წამოწყებით მონაცემთა STB მიღებით, IC ბარათის გაგზავნით მონაცემთა დასამუშავებლად, STB გამოხმაურებითა და ნორმალური დემიფრირებით დამთავრებული. ტესტირების გარემო: 10 ავტორიზაცია ყოველ იუზერზე, ე. ი. 100 მილიონი მონაცემი, რომელსაც დასამუშავებლად ჭირდება დაახლოებით 30 წამი. დაშიფვრისა და დემიფრირების სიჩქარე მნიშვნელოვანი ინდექსია მართვის მთავარი სისტემისა და თვით CAS-ის მუშაობის გასაზომად. Stream Guard CAS-ის დაშიფვრისა სიჩქარეა 90 მბ/წმ, 1 მილიონი იუზერი. EMM პაკეტისთვის, როგორც 100 ნებართვა თითოეულ იუზერზე, დაშიფვრა შეიძლება დასრულდეს 2.95 წუთის ფარგლებში. Suma CAS -ის დაშიფვრის მთავარი აღჭურვილობამ - დემიფრატორმა გაიარა "ეროვნული კომერციული შიფრის კომიტეტის" (National Commercial Cipher Committee) შემოწმება. ის იყენებს მყარ დისკს დაშიფვრისთვის, იყენებს ნამდვილ შემთხვევით მიმდევრობას (a true random sequence) და მხარს უჭერს დაშიფვრის მრავალგვარ ალგორითმს, რომელიც განაპირობებს მაღალი ხარისხის უსაფრთხოება.

სისტემის სტაბილურობა: Suma CAS იყენებს თანამედროვე ტექნოლოგიებს, რათა უზრუნველყოს სისტემის უსაფრთხო და უპრობლემო ფუნქციონირება. ყოველ სერვერს აქვს დუბლირებული კვება, რომელიც სერვერის ფუნქციონირებას უფრო საიმედოს ხდის. დისკის სიმრავლის ტექნოლოგია გამოიყენება რამდენიმე SCSI მყარი დისკის ინტეგრირებისთვის ქვე-სისტემაში RAID სისტემა-ინტეგრირებული შიდა დისკის სიმრავლის ბარათის გამოყენებით. მას, ასევე, გააჩნია წაკითხულის აქსელერაციის და დისკის მონაცემთა დაცვისა ფუნქცია. გაუმართავი დისკი შეიძლება შეიცვალოს ისე, რომ მან არ მოახდინოს გავლენა სისტემის ოპერირებაზე; ეს კი უსაფრთხოს ხდის დისკის მონაცემებს. Suma CAS მხარს უჭერს ორმაგ (ორმაგი აპლიკაციის სერვერი, ორმაგი სკრიპტაციის სერვერი, ორმაგი მონაცემთა ბაზის სერვერი) 1:1 სარეზერვო წყობის ერთდროულ მუშაობას, რათა მყისიერად გაკონტროლდეს მთავარი და სარეზერვო კვანძების სამუშაო მდგომარეობა ქსელის მენეჯმენტის სისტემითა და შიდა

გადართვის პროგრამით, როცა სისტემის ერთი ნაწილი გამოდის მწყობილებიდან, გადართვის მოდული აღმოაჩენს და სწრაფად და შეუფერხებლად, გადართავს სარეზერვო სისტემაზე, რათა უზრუნველყოს კრიტიკული მონაცემების უსაფრთხოება. Suma CAS იყენებს "ჯგუფურ" გეგმარებას, რათა შესძლოს იოლი დაკავშირება რამდენიმე შიფრატორთან და უზრუნველყოს სისტემის დაბალანსებული ჩატვირთვა.

## 2.4. სისტემის მახასიათებლები

სმარტ ბარათი მდებარეობს პირობითი წვდომის სისტემის იუზერის ტერმინალში და გამოიყენება ინდივიდუალური ინფორმაციის, ოპერატორის ინფორმაციის, სხვადასხვა მზა გადაწყვეტების, ე-საფულეს ინფორმაციის, იუზერის მიერ განსაზღვრული გადამისამართებისა და ავტორიზების ინფორმაციის შესანახად. ის უზრუნველყოფს key-ის კონფიდენციალურობასა და უსაფრთხოებას იუზერის ტერმინალში და ამუშავებს დაშიფრულ ECM, EMM და სხვა CAS key ინფორმაციას ინტერფეისის მოთხოვნების შესაბამისად. Smart Card-ზე შენახული მთელი ინფორმაცია ჩაწერილია დაშიფვრის საშუალებით და გამოიყენება მხოლოდ სმარტ ბარათის შიგნით. Sumavision Smart Card გავლილი აქვს ISO7816 სტანდარტი, ასევე იგი მოდის UTI (Universal Transport Interface) სტანდარტთან სრულ შესაბამისობაში. Suma CAS-ში გამოყენებული Smart Card-ის ჩიპის სამუშაო პარამეტრებია შემდეგი: RAM-ს აქვს 8K ბაიტი; ROM აქვს 400K ბაიტი; EEPROM (electrically erasable programmable read-only memory) აქვს 96K ბაიტი.

Smart Card აქვს ფიზიკური თავდასხმის პრევენციის შემდეგი ფუნქციები:

- 1) ტესტირების ფუნქციის რეაქტივაცია არ შესრულდება დნობადი მცველის სადენის დაწვის გამო, რაც დიდად აუმჯობესებს სმარტ

ბარათის ჩიპის უსაფრთხოებას.

- 2) მაღალი/დაბალი ძაბვის ტესტირება; მაღალი/დაბალი ტემპერატურაზე ტესტირება;
- 3) მისამართიდან და მონაცემთა ბაზიდან ამოვარდნის პრევენცია.
- 4) ფიზიკური მეხსიერების ლოგიკური დაცვა (წვდომის კოდი და ა. შ.);
- 5) ბაზისა და მეხსიერების ფიზიკური დაცვის შრე; გაყალბების საწინააღმდეგო დაცვა;
- 6) ულტრაიისფერი, რენდგენის სხივების საწინააღმდეგო, ელექტრომაგნიტური ველის ტესტირება და ა. შ.

ამასთან ერთად, სმარტ ბარათს გააჩნია შემდეგი დაცვის ზომები:

- 1) ჩიპის თვითჩაკეტვის ფუნქცია;
- 2) უცვლელი ექსკლუზიური გლობალური სარეგისტრაციო ნომერი, რომელიც მთლიანად აღმოფხვრის დარღვევებს და ეფექტურად მარტავს გამოშვებულ პროდუქტებს;
- 3) მყარი დისკის შემთხვევითი ნომრის (random number) რეგისტრატორი.
- 4) მყარი დისკის საათის ტაიმერი;
- 5) ორმხრივი პრე-ჩარჯი (Dual-rail pre-charge).

ძირითად COS სისტემას აქვს დამოუკიდებელი საავტორო უფლება, სრულად შეესაბამება საერთაშორისო ISO 7816 სტანდარტს, გამოირჩევა მაღალი უსაფრთხოებით, ეფექტურობით, მტკიცე სტაბილურობითა და საიმედოობით.

smart card-სა და STB-ს შორის კავშირის დამყარებისას მონაცემები დაცულია, გადაცემის პროცესში მონაცემები იშიფრება სმარტ ბარათსა და STB-თან შეთანხმებული key-ით, რითაც თავიდანაა აცილებული სისტემის უსაფრთხოების დარღვევა, გამოწვეული STB-card-ის კომუნიკაციის მონაცემების ხელში ჩაგდებათ.

DPA ორიგინალი key-ს მოსაპოვებლად, ანალიზებს Smart Card-ის დაშიფვრის მონაცემებს რამდენიმე ისეთი ფიზიკური რაოდენობისთვის,

როგორცაა: ენერჯის მოხმარება, ელექტრომაგნიტური რადიაცია და დრო. Suma CAS ეფექტურად იცილებს თავიდან DPA ზე თავდასხმას სიხშირის ცვლილებით (frequency disturbance), ორმხრივი პრე-ჩარჯინგით (dual-rail pre-charging) და ერთ ჯერზე ერთი დაშიფვრით.

DFA (differential fault attacks) არღვევს დაშიფვრის სისტემას, ცვლის რა გარემოს პარამეტრებს, როგორცაა: ვოლტაჟი, ტემპერატურა, სინათლის ინტენსივობა, იონიზაციის სხივი და ელექტრომაგნიტური ველი, რათა მიღებულ იქნეს მცდარი შედეგები. ეს მცდარი შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მოთხოვნილი გასაღების მოსაპოვებლად. ყველაზე ცუდ სიტუაციაში ერთმა უბრალო ჩავარდნის ოპერაციამ შეიძლება თავდამსხმელს ხელში ჩაუგდოს მთელი key. Suma CAS ეფექტურად იცილებს თავიდან DFA თავდასხმას გამომავალი მონაცემების ვერიფიკაციით, ორმხრივი შედარებით და დაშიფვრით.

Suma CAS-ში გამოყენებული Key, რომელიც იყენებს სიმეტრიულ ალგორითმს, შედგება, მინიმუმ, 128 რიცხვისა და 1,024 ციფრისგან. ამ ტიპის key-ს სიგრძე არასოდეს გატყდება მისი არსებობის მანძილზე - ახლან მომავალში; ასე, რომ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ის საკმაოდ საიმედოა.

გადაცემული მონაცემები დამუშავებულია ისეთი უსაფრთხოების ზომებით, როგორცაა ციფრული ხელმოწერა; შესაბამისად ის ეფექტურადაა დაცული იმისდა მიუხედავად, ერთ-მხრივი ის თუ ორმხრივი. ყველა დაშიფვრის ოპერაცია სრულდება სმარტ ბარათში (STB არაფერი აქვს საერთო დაშიფვრასთან) რათა STB- არ მოხდეს ჩვეულებრივი ტექსტური მონაცემები მოპოვება, ამგვარად გატეხვა უფრო ძნელი ხდება. უსაფრთხოების სერტიფიკატის ტესტის პროცესში მკაცრად მოითხოვება RS232 სერიული პორტის, JTAG პორტისა და master chip-ის ენკაფსულაცია. CW-მ უნდა დაშიფროს STB და ერთი key ერთ მოწყობილობაზე. რეგიონული ბლოკის სქემა არის ყველაზე უსაფრთხო სქემა მახასიათებლების პაკეტის გასაგზავნად დროის შტამპით, ხელმოწერითა და დაშიფვრით. ”ერთი გასაღები - ერთ რესივერს, ერთ ჯერზე - ერთი

გასაღები” კომუნიკაციის რეჟიმს შეუძლია საფუძვლიანად გაამყაროს STB-ისა და card-ის მიმაგრების საიმედოობა. ყველა STB-ს აქვს თავისი სპეციალური key და არის ”ერთ ჯერზე - ერთი გასაღები” კომუნიკაციის რეჟიმში, რათა CW გაზიარების სიტუაცია ეფექტურად იქნეს თავიდან აცილებული.

Suma CAS-ის IC card-მა გაიარა უსაფრთხოების საერთაშორისო ავტორიტეტული ინსტიტუტის სერტიფიცირება. არსებობს smart card-ის გატეხვის საწინააღმდეგო მრავალგვარი მეთოდი, როგორცაა charge-save key, შინაარსის გაუხანგრძლივებელი შენახვა და ა. შ., რომელთაც შეუძლიათ ეფექტურად გადაჭრან პირატობის ისეთი პრობლემები, როგორცაა სრული რეპროდუცირება, კოპირება, მონაცემთა დამახინჯება და ა. შ.

Suma CAS უზრუნველყოფს Windows GUI (Graphical user interface) ინტერფეის ოპერატორისთვის, რათა მოხერხდეს სხვადასხვა პროდუქტის პაკეტების დეფინიცია და კონფიგურირება:

1. პროდუქტის ინფორმაციის დოკუმენტის იმპორტი; ის აანალიზებს SMS-ის მოწოდებულ XML დოკუმენტს, რათა მოიპოვოს პროგრამისა და პროდუქტის ინფორმაცია დადგენილი ფორმატის მიხედვით.
2. პროგრამისა ინფორმაციის მოთხოვნა: ის აჩვენებს ეკრანზე მოვლენის (Event) ინფორმაციას სერვისის მეშვეობით და პროდუქტის ინფორმაციას - მოვლენის მეშვეობით.
- 3 პროდუქტის ინფორმაციის მოთხოვნა: ის აჩვენებს ეკრანზე შესაბამისი მოვლენის ინფორმაციას პროდუქტის მეშვეობით.
- 4 AC გენერაცია და ანალიზი: ის აგენერირებს განცალკევებულ AC-ს თითოეული პროდუქტისთვის და აანალიზებს არსებული AC-ის ინფორმაციას.
- 5 შიფრატორის (Scrambler linkage)კავშირი: ის აერთებს მრავალ შიფრატორს და დინამიურად აგებს შიფრატორის AC-ს EIS-ისა და



შიფრატორის კომუნიკაციური ინტერფეისის პროტოკოლის მიხედვით.

Suma CAS-ის Key-ს ავტომატური ცირკულაციისა და განახლების მექანიზმი მნიშვნელოვანი გარანტიაა სისტემის უსაფრთხოების. სისტემა განასხვავებს Key-ს ორ ჯგუფს, რომელთაგან თითოეული შედგება რამდენიმე Key-გან. მონაცემთა თითოეული პაკეტისთვის ტრანსმისიის სისტემა და იუზერის ტერმინალის მიმღები სისტემა დინამიურად იყენებს გარკვეულ Key-ს პროტოკოლის მიხედვით, რათა აწარმოოს დაშიფვრა და გაშიფვრა. გარდა ამისა, ოპერატორმა შეიძლება უბრძანოს CAS-ს, განახლოს გარკვეული ჯგუფის Key ნებისმიერ დროს და ეს ინტერვალი დგინდება ოპერატორის მიერ. იუზერმა რომც არ გაახლოს Key, CAS მას გარკვეული ინტერვალით ავტომატურად აახლებს, რათა უზრუნველყოს სისტემის უსაფრთხოება. დაშიფვრის ალგორითმის განახლება კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი გარანტიაა სისტემის უსაფრთხოებისა. დაშიფვრის ალგორითმის შეიძლება განახლებულ იქნეს სპეციალური მოწყობილობით ან მაუწყებლობით გადაიკვს IC card-ზე ტრანსმისიის ქსელის გამოყენებით.

## 2.5. GPS მოდულის ინტეგრაცია

განვიხილეთ დეტალურად სუმავიჟენის კრიპტო კოდირების სისტემა, რომელიც მეტ ნაკლებად გავს ჩვენს მიერ ჩამოთვლილ სხვა კრიპტო კოდირების სისტემებს, პრინციპი იგივეა თუმცა ალგორითმი განსხვავდება. იმ შემთხვევაში თუ მოვახდენთ აღნიშულ კრიპტო კოდირების მიმღებ მოწყობილობაში დამატებით GPS ის ჩიპის ინტეგრაციასაც და შევქმნით მოდულს რომელიც ერთმანეთთან ჰარმონიულ კავშირში იქნება, მაშინ უფრო დახვეწილ კრიპტო კოდირების სისტემას მივიღებთ. სწორედ ამ საკითხზე მომიწია მუშაობა ჩინეთში, ქ.

პეკინის უნივერსიტეტში(Tsinghua University) და Sumavison ის ლაბორატორიაში, სადაც შეიქმნა ინოვაციური მოდული.

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.

ასევე რამდენიმე სახის ამოცანა გვექონდა დასმული ციფრული კრიპტო კოდირებული DVB-T/T2 ქსელისთვის. პირველი, გვაინტერესებდა რამდენად შევძლებდით გაგვეგო აღნიშნული ქსელის მომხმარებელი, სად იმყოფებოდა და შესაბამისად რომელი სამაუწყებლო ანდა ემსახურებოდა, მოგეხსენებათ 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 რჩებოდა ინფორმაციის გარეშე, თუ რატო 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 ვისაუბრეთ ამ საკითხზე, 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:

- 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. იხ. სურათი 1.1
- 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) ავტომაგისტრალზე სადაც მძღოლის მაქსიმალური ყურადღებაა საჭირო შესაძლებელია Set top box 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)

2.1 თავში 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 ბარათზე 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.



## 2.6. შედეგები და დასკვნები

განვიხილოთ კრიპტო კოდირების სისტემები, დეტალურად გავეცანით ჩვენს მიერ შემუშავებულ სისტემის ფუნქციონირებას, ამასთანვე ციფრული სატელიტური და მიწისზედა მაუწყებლობის მიმღებებისთვის შემოთავაზებული იქნა GPS-ის ინტეგრაცია, რამაც მოგვცა საშუალება არალეგალურ კონტენტზე კონკრეტული ქვეყნების და რეგიონების მიხედვით დაგვეწესებინა მონიტორინგი, ასევე დაგვეხმარა აბონენტის ლოკაციის იდენტიფიკაციაში, რაც მოგვცემს საშუალებას განვსაზღვროთ რომელი სამაუწყებლო პუნქტიდან იღებს ვიდეო და აუდიო სიგნალს. აღნიშნული გადაწყვეტა მნიშვნელოვან როლს ითამაშებს მობილურ(მომრავ) ციფრულ მაუწყებლობაში როგორც მონიტორინგის, ისე ხარისხის ამაღლების და უსაფრთხოების თვალსაზრისით. ასევე მნიშვნელოვანია იმ მოდულების და ბრძანებების ინტეგრაცია რომლის საშუალებითაც მიმღები მოწყობილობა უფრო მართვადი და მომხმარებელზე ორიენტირებული ხდება.

## დასკვნა

ამ თავში ჩვენ ვაკეთებთ დისერტაციაში წარმოდგენილი ნაშრომის ძირითადი შედეგების მოკლე შეჯამებას და დასკვნებს.

დისერტაციის შესავალი ნაწილი ეძღვნება ზოგადად კრიპტო კოდირების სისტემაში ახალი მოდულების დანერგვას და შემუშავებული სისტემის გამოყენებას ციფრულ მაუწყებლობაში, იქიდან გამომდინარე, რომ ჩვენს ქვეყანას წინ კიდევ გასავლელი ქონდა გზა ციფრულ მაუწყებლობაზე გადასასვლელად ეს დამატებით გვაძლევდა შემდგომი კვლევებისა და მუშაობის მოტივაციას.

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.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. [https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2012/Broadcasting\\_CTU\\_CBU\\_Barbados\\_May12/Presentations/2\\_WhyDigitalMigrationMatters\\_IBozsoki.pdf](https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2012/Broadcasting_CTU_CBU_Barbados_May12/Presentations/2_WhyDigitalMigrationMatters_IBozsoki.pdf)
2. Peter. Siebert, Dr. Jani Väre, David. Wood, John Bigeni, Dr. Nick Wells, “DVB SCENE”, March 2013.
3. ხითარიშვილი გ.ი. “თანამედროვე ციფრული მაუწყებლობის მიმართულებები”, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი , 2013, vol. 65, № 1, გვ. 43-45.
4. ATSC Interaction Channel Protocols, Advanced Television Systems Committee.
5. <https://en.wikipedia.org/wiki/ISDB>
6. [https://en.wikipedia.org/Digital\\_terrestrial\\_television\\_in\\_the\\_United\\_Kingdom](https://en.wikipedia.org/Digital_terrestrial_television_in_the_United_Kingdom).
7. Reimers U. "Electronics & Communication Engineering Journal" Inst. fur Nachrichtentech., Tech. Univ. Braunschweig, Germany, Feb 1997, pp. 28-32.
8. Pérez-Calderón D., Oria C., García J., Patricio López, Vicente Baena Lecuyer, Lacadena I. Rotated constellation for DVB-T2. Electronic Engineering Department, University of Seville, January 2009.
9. Rich Redmond, Steve Rossiter. DVB-T and DVB-T2 Comparison and Coverage in IBC Exhibition Amsterdam, September 2008.
10. DVB Datarate Calculator, Borland Software Corporation.
11. <https://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>
12. <http://www.csgnetwork.com/antennaecalc.html>
13. <http://lrcov.crc.ca>
14. Khitarishvili G. Mobile TV Standards Review. “Sumavision Technologies Group Newspaper”, 2013, pp. 3.
15. ხითარიშვილი გ.ი. „OTT ტექნოლოგია და მისი უპირატესობები“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2013, № 3, vol. 68, გვ. 37-39.
16. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Irdeto>
17. <https://en.wikipedia.org/wiki/Viaccess>

18. <https://en.wikipedia.org/wiki/Conax>

19. ხითარიშვილი გ. ციფრული მობილური მაუწყებლობა. მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ ქუთაისი, საქართველო, 2013, გვ. 337-339.