

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ლევან ლაშქარავა

GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში რადიორესურსების მართვის ეფექტური ალგორითმების დამუშავება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ეფერატი

შადოქტორო პროგრამა „ტელეკომუნიკაცია“ შიფრი 0402

თბილისი 2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ტმდ, სრული პროფესორი ომარ შამანაძე

რეცენზენტები: სრული პროფესორი, ჯემალ ბერიძე
აკადემიური დოქტორი, გიორგი თაბუაშვილი

დაცვა შედგება 201 წლის “ “ , საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, VIII კორპუსი, აუდიტორია
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი: გია ხელიძე

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

პრობლემის აქტუალობა. მობილური რადიოკავშირის ქსელი წარმოადგენს მუდმივად განვითარებად სტრუქტურას. ახალი არხების მოცვა, მომსახურებათა ნაკრების გაფართოება და მომხმარებლებისათვის მათი ხელმისაწვდომობის გაზრდა ასტიმულირებენ სააბონენტო ბაზის მატებას, რაც თავის მხრივ, მოითხოვს ქსელის ტევადობის გაფართოებასა და ქსელის მოწყობილობების მუშაობის პროცესის აწყობას.

რადიოქსელის რესურსების მართვის პრობლემას გააჩნია დიდი პრაქტიკური მნიშვნელობა. GSM სტანდარტის კომერციულ ქსელთა ექსპუალატაციისა და განვითარების გამოცდილებამ დამაჯერებლად გვიჩვენა, რომ მოწყობილობების მუშაობის რეჟიმების სწორი არჩევანი და ქსელური პარამეტრების საგულდაგული აწყობა წარმოადგენს ოპერატორის წარმატებული მუშაობის აუცილებელ პირობას. კავშირის დიდი განტოტებული ქსელის რესურსების ეფექტური მართვა მოითხოვს შესაბამისი მეთოდებისა და ალგორითმების გამოყენებას, მათი მაღალი ხარისხის ავტომატიზაციის შესაძლებლობით. ამრიგად, ამ სადისერტაციო ნაშრომის თემა აქტუალურია.

სამუშაოს მიზანი. ნაშრომის მიზანი მდგომარეობს GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელთა აბონენტების მომსახურების ხარისხის ამაღლებაში.

მეცნიერული ამოცანა მდგომარეობს GSM სტანდარტში რადიოქსელის მართვის ალგორითმების შემუშავება ქსელის მუშაობის შესახებ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენებით.

მეცნიერული ამოცანის ამოხსნისას გამოყენებული იქნა ალბათობისა და სტატისტიკის თეორიის, მასობრივი მომსახურების თეორიის, რადიოტალღების გავრცელების თეორიის მათემატიკური აპარატი, აგრეთვე, მათემატიკური მოდელირების მეთოდები და ექსპერიმენტული კვლევები. დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, ოთხი თავისაგან, დასკვნისაგან. პირველ თავში მოცემულია GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ფიჭური სისტემების ზოგადი დახასიათება, წარმოებულია მონაცემების

გადაცემის ტექნოლოგიათა მიმოხილვა და განხილულია აბონენტების მომსახურების ხარისხისადმი წაყენებული მოთხოვნები. ჩატარებულია GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელთა ფუნქციონირების ეფექტურობის ამადლების პრობლემების ანალიზი. ფორმულირებულია მოთხოვნები რადიოქსელის რესურსების მართვის ალგორითმებისადმი. განხილულია ფუნქციური ამოცანები, რომლებიც იჭრება მობილური რადიოკავშირის ქსელის განვითარებაზე გადაწყვეტილების მიღების პროცესში. განსაზღვრულია რადიოქსელის მდგომარეობის მახასიათებელი მაჩვენებლების საჭირო ნაკრები.

მეორე თავში შემუშავებულია მათემატიკური მოდელი, რომელიც აკავშირებს ქსელის მუშაობის ხარისხის მის საექსპლუატაციო მახასიათებელთან და სააბონენტო დატვირთვასთან. მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულებები, რომლებიც გამოძახების ბლოკირების ალბათობას, შიდასისტემური ხელშეშლების დონეს და სპექტრულ ეფექტურობას აკავშირებენ სააბონენტო დატვირთვის მოცულობასა და ხასიათთან. ჩატარებულია სიგნალი/ხელშეშლების ფარდობის შეფასება ტრაფიკის და მართვის არხებში მიმდებ-გადამცემი მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმების გათვალისწინებით. წარმოებულია რადიოქსელის მუშაობის პირობების ანალიზი სააბონენტო დატვირთვის, აპარატურული და სიხშირული რესურსების სხვადასხვა თანაფარდობისას; გამოყოფილია ქსელის მდგომარეობა ძირითადი გრადაციებით.

მესამე თავში შემოღებულია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების სააბონენტო დატვირთვის ბალანსის ცნება. აგებულია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების შორის ხმოვანი ტრაფიკის გადასვლის მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გამოვიანგარიშოთ ქსელური პარამეტრების მნიშვნელობები, რომელთა დროს ტრაფიკი ბალანსირებული იქნება. შემუშავებულია შესაბამისი გამოანგარიშების მეთოდი და აღებულია GSM 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის მართვის ალგორითმი, რომელიც ეყრდნობა BSS ქვესისტემის ქსელურ სტატისტიკას. აღწერილია GSM 900/1800

თანამიმართული სექტორების შერეული ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის მართვის ამოცანაში შემუშავებული მეთოდის გამოყენების პრინციპი; მიღებულია ძირითადი საანგარიშო თანაფარდობები. ფორმულირებული და დასაბუთებულია რეკომენდაციები ხმოვანი, პაკეტური და სასიგნალო (SDCCH) ტრაფიკის განაწილებაზე GSM 900/1800 ორდიაპაზონიან ქსელში.

მეოთხე თავში შემოღებულია ფიჭების გადაფარვის დონის ცნება. შემუშავებულია GSM ქსელებში მეზობელი ფიჭების სიათა ფორმირების მეთოდიკა. მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულებები ქსელური ანათვლების საფუძველზე სექტორებს შორის მეზობელი ფარდობების ეფექტურობის შესაფასებლად. შემუშავებულია მეზობელი ფიჭების სიათა ოპტიმიზაციის ალგორითმი BSS ქვესისტემის ქსელური სტატისტიკის გამოყენებით და მეზობელი ფარდობების დაყენებაზე ან მოცილებაზე ფიჭ-კანდიდატების გადაფარვის დონის ანალიზის გამოყენებით. ალგორითმი ითვალისწინებს GSM-900/1800 შრეების არქიტექტურას, დაგეგმვის მეთოდებს და ტრაფიკის მართვის მეთოდებს, რომლებიც მიღებულია რადიოქსელში. დაწვრილებითაა აღწერილი გამოტოვებული NR-ის დამატებისა და უფექტოების მოცილების პროცედურები.

დასაცავად გამოტანილია შემდეგი სამეცნიერო შედეგები:

GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ქსელის მუშაობის ხარისხის მაჩვენებლებს აკავშირებს მის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და სააბონენტო დატვირთვასთან.

1. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელებში რადიორესურსების მართვის ალგორითმები, რომლებიც დაფუძნებულია ქსელური ანათვლების შედეგებზე.
2. GSM ქსელებში მეზობელი ფიჭების სიათა ფორმირების მეთოდიკა, ქსელის არქიტექტურა, მისი დაგეგმვისა და ტრაფიკის მართვის მეთოდების გათვალისწინებით.

ნაშრომის შედეგები დანერგილია შპს “მობიტელის” პრაქტიკულ საექსპლუატაციო-ტექნიკურ საქმიანობაში.

გამოკვლევის საერთო მეთოდობა. საბაზო სადგურის ლოგიკური პარამეტრების დასაშვები მნიშვნელობების გათვლის ალგორითმის დამუშავებისას, გადაჭრილია ქსელის ფუნქციონირების შესახებ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენების საფუძველზე GSM სტანდარტის ქსელის რადიორესურსების მართვის ალგორითმების შემუშავების მეცნიერული ამოცანა.

სამუშაოს ძირითადი სიახლეს და სამეცნიერო შედეგებს წარმოადგენს:

1. რადიოქსელის რესურსების მართვის ქმედითი ავტომატიზირებული ალგორითმების გამოყენების აუცილებლობამდე მიგვიყვანა იმან რომ GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელთა მუშაობის ეფექტური ზრდის პრობლემების აქტუალურობამ.
2. გამოკვლეულ და დასაბუთებულ მობილური რადიოკავშირის გამართული ქსელისთვის დამახასიათებელი უნდა იყოს გამოძახებების მინიმალური ბლოკირებები და შედარებით მაღალი სპექტრული ეფექტურობა სისწირეთა თავისუფალი რესურსის არარსებობისას.
3. აგებულია GSM სტანდარტის რადიოქსელის მათემატიკური მოდელი, რომელიც აღრიცხავს: ქალაქის გარემოში GSM-900/1800 რადიოსიგნალის გავრცელების ძირითად თავისებურებებს, ფიჭების სელექციას მობილური სადგურებით სიგნალის მინიმალური დანაკარგების კრიტერიუმის მიხედვით, შიდასისტემური დანაკარგების დონეს BCCH- და nonBCCH- შრეში სხვადასხვა ტიპის კლასტერების გამოყენებისას, მიმდინარე ტრაფიკსა და კოდების მუშაობის ნახევარსიჩქარიანი რეჟიმის გამოყენებაზე nonBCCH- შრეში შიდასისტემური ხელშეშლების დონის დამოკიდებულებას.
4. შემუშავებულია GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსის მეთოდი. მეთოდს საფუძვლად უდევს GSM – 900/1800 თანამიმართულ სექტორებს შორის ხმოვანი ტრაფიკის გადასვლის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ტრაფიკს აკავშირებს ენერგეტიკულ თანაფარდობებთან თანამიმართული სექტორების აბონენტების მიერ სიგნალების მიღებისას. მეთოდი ითვალისწინებს შეზღუდვებს, რომლებიც

სახდვრავენ ტრაფიკის ბალანსის ალგორითმის გამოყენების პირობებსა და წესს.

5. **შემუშავებულია უფექტო NR აღმოჩენის მეთოდი**, რომელიც იყენებს მეზობელ ფიჭებს შორის ჰენდოვერების ცდების ქსელურ სტატისტიკას, და რომელიც ახდენს NR მოცილების ზღვრების ადაპტაციას განხილული ფიჭების მეზობლების სიების სიგრძეებისადმი.

პრაქტიკული ფასეულობა. განვიხილოთ GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსის ალგორითმის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითი. წარმოვიდგინოთ რომ ერთ–ერთი BS-ს თანამიმართული სექტორების უდს ტრაფიკის ცვლილების ქრონოლოგია წარმოდგენილია სახეზე. პერიოდი ალგორითმის გამოყენების დაწყებამდე მოიცავს დაკვირვების პირველ 85 დღეს. პირველი 15 დღე ხმოვანი ტრაფიკი (*Voice_GSM900/1800*) პრაქტიკულად ბალანსირებული, მაგრამ აღემატებოდა ორივე სექტორის FR–ტევადობას ($Limit_FRGSM900/1800 = 7, 4$ ერლ), რის შედეგადაც 30–ე დღეს GSM -1800 სექტორის ტევადობა გააფართოვეს 21 ერლ-მდე ორი TRX დამატებით. გაფართოებისას იყენებდნენ კომბაინერს, რამაც გაუარესა GSM–1800 რადიოდაფარვა DL მიმართულებით 3, 5 დბ-თი, გამოიწვია ტრაფიკის უკუდენა და გაზარდა თანამიმართული სექტორების ხმოვანი დატვირთვის დისბალანსი 30 – 40% - მდე.

ალგორითმის მუშაობის დაწყება მოდის 85-95-ე დღის პერიოდზე. პარამეტრების კორექციის შედეგად მოხერხდა ხმოვანი დატვირთვის გადანაწილება და დისბალანსის შემცირება 5 – 10% - მდე, ხოლო შემდგომ ქვემოთაც.

სექტორების გადატვირთვა პირველ 15 – 20 დღეში საგრძნობია 10% - მდე Congestion ზრდასთან ერთად (*Cong_GSM900/1800* - უდს დროის წილია, რომლის განმავლობაშიც სექტორის ტრაფიკის ყველა არხი დაკავებულია). გადატვირთვების კომპენსაციისთვის ტრაფიკის ნაწილი მომსახურებულ იქნა HR რეჟიმში.

სადისერტაციო ნაშრომის შედეგების რეალიზაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები დანერგილია „ბილაინი“-ს მობილურ ქსელში.

სამუშაოს შედეგების აპრობაცია და გამოქვეყნებული შრომები.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ და განხილულ იქნა სტუ-ს პროფესორ-მასწავლებელთა სამეცნიერო კონფერენციებზე და საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალ „ინტელექტუალში“:

1. პირველ და მეორე თემატურ სემინარზე და კოლოკვიუმზე (თბილისი, 2013-2014);
2. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ (ქუთაისი, 2013);

ნაშრომის სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და დასკვნისაგან, ის შეიცავს 181 გვერდ ნაბეჭდ ტექსტს, 44 ნახაზს და 18 ცხრილს. აგრეთვე მოცემულია გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა და შემოკლებათა სია.

პუბლიკაციები. დისერტაციის შედეგები ასახულია რეცენზირებად ჟურნალებში გამოქვეყნებულ 7 ნაშრომში (მათი ჩამონათვალი მოცემულია ავტორეფერატის ბოლოს).

დაცვაზე გამოტანილი ძირითადი პოზიციები:

GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის მოქმედ ქსელებში აბონენტთა მომსახურების ხარისხის ამაღლება, გადაჭრილია ქსელის ფუნქციონირების შესახებ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენების საფუძველზე GSM სტანდარტის ქსელის რადიორესურსების მართვის ალგორითმების შემუშავების მეცნიერული ამოცანა.

ნაშრომში პირველად იქნა მიღებული შემდეგი შედეგები :

1. მოთხოვნები ქსელური სტატისტიკისა და რადიონათვლების შედეგების გამოყენების საფუძველზე რადიორესურსების მართვის ალგორითმებისადმი.
2. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ქსელის მუშაობის ხარისხის მაჩვენებლებს

აკავშირებს მის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და სააბონენტო დატვირთვასთან.

3. წარმოებულია შემუშავებული მათემატიკურ მოდელის საფუძველზე სხვადასხვა კონფიგურაციის ქსელებისთვის შიდასისტემური ხელშეშლების შეფასება.
4. ჩატარებულია ქსელის მდგომარეობათა შედარებითი ანალიზი შიდასისტემური ხელშეშლების, ქსელზე სააბონენტო დატვირთვის გათვალისწინებით სპექტრული ეფექტურობისა და მოწყობილობის გამოყენების ეფექტურობის კრიტერიუმების მიხედვით.
5. შემუშავებულია GSM-900 და GSM-1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის რეგულირების ალგორითმი,
6. შემუშავებულია მეზობელი ფიჭების სიების ოპტიმიზაციის ალგორითმი სექტორებს შორის მეზობლური დამოკიდებულებების ეფექტურობის ზღვრების ადაპტაციით

ნაშრომის შინაარსი

შესავალში დასასაბუთებელია გამოსაკვლევი თემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებულია სამუშაოს მიზანი და ამოცანები, ჩამოთვლილია შედეგები, რომლებიც მიღებული იყო დისერტაციის დამუშავების დროს, განსაზღვრულია სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული ფასეულობა და გამოყენების სფეროს ძირითადი ასპექტები, რომლებიც გამოტანილია დაცვაზე.

სადისერტაციო ნაშრომის **პირველ თავში** GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელთა მუშაობის ეფექტური ზრდის პრობლემების ზემოთ მოყვანილმა ანალიზმა მიგვიყვანა რადიოქსელის რესურსების მართვის ქმედითი ავტომატიზირებული ალგორითმების გამოყენების აუცილებლობასთან. ალგორითმები მაქსიმალურად უნდა იყვნენ ადაპტირებულნი კონკრეტული რადიოქსელის მუშაობის პირობებისადმი და უნდა იყვნენ უტყუარ შემავალ მონაცემებს მისი მიმდინარე

მდგომარეობის შესახებ, ე.ი. ეყრდნობოდნენ ქსელური კონფიგურაციის და სტატისტიკის მონაცემებს.

აქედან გამომდინარეობს სადისერტაციო ნაშრომის სამეცნიერო ამოცანის აქტუალურობა: GSM რადიოქსელის მართვის მეთოდებისა და ეფექტური ალგორითმების შემუშავება, რომლებიც დაფუძნებული არიან ქსელის ფუნქციონირების შესახებ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენებაზე, და რომლებიც უზრუნველყოფენ მომხმარებლებისთვის მოცემული ხარისხის მომსახურებებს შეზღუდული აპარატული და სიხშირული რესურსების პირობებში, ზოგადი სამეცნიერო ამოცანის გადაწყვეტა მოითხოვს შემდეგი კერძო ამოცანების გადაწყვეტისას;

1. მათემატიკური მოდელის შემუშავება, რომელიც ქსელის მუშაობის ხარისხის მაჩვენებლებს აკავშირებს მის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და სააბონენტო დატვირთასთან.
2. სხვადასხვა კონფიგურაციის GSM ქსელებში შიდასისტემური ხელშეშლების დონის შეფასება.
3. ქსელური მდგომარეობათა ანალიზი სააბონენტო დატვირთვით, შიდასისტემური ხელშეშლების დონის, სპექტრული ეფექტურობის და მოწყობილობის გამოყენების ეფექტურობის გათვალისწინებით.
4. რადიორესურსების მართვის მეთოდებისა და ალგორითმების შემუშავება, რომლებიც ითვალისწინებენ GSM 900/1800 კავშირის ორ-დიაპაზონიანი ქსელის არქიტექტურას, სექტორების დაგეგმვასა და ტრაფიკის განაწილების პრინციპებს.
5. GSM 900/1800 სექტორებს შორის სააბონენტო დატვირთვის გადანაწილების მეთოდის შემუშავება.
6. GSM 900/1800 სტანდარტის რადიოქსელში მეზობელი ფიჭების სიების ფორმირების მეთოდის შემუშავება.

მეორე თავში თავში მიღებულ იქნა შემდეგი შედეგები:

1. აგებულია განტოლებათა სისტემა, რომელიც აკავშირებს GSM სტანდარტის მობილური კავშირის ქსელის მუშაობის ძირითად მაჩვენებლებს (KPI): ქსელურ ტრაფიკს უდს-ში, საბაზო სადგურების რაოდენობას, კლასტერის განზომილებას, ქსელის სისშირეთა რესურსს, გამოძახებას ბლოკირების ალბათობას, ხმოვანი ტრაფიკის წილს ნახევარსიჩქარიან რეჟიმში, სექტორის სპექტრულ ეფექტურობას, სიგნალი/ხელშეშლის შეფარდებას მიღების დროს.
2. აგებულია GSM სტანდარტის რადიოქსელის მათემატიკური მოდელი, რომელიც აღრიცხავს:
 - ქალაქის გარემოში GSM-900/1800 რადიოსიგნალის გავრცელების ძირითად თავისებურებებს;
 - ფიჭების სელექციას მობილური სადგურებით სიგნალის მინიმალური დანაკარგების კრიტერიუმის მიხედვით;
 - შიდასისტემური დანაკარგების დონეს BCCH– და nonBCCH- შრეში სხვადასხვა ტიპის კლასტერების გამოყენებისას;
 - მიმდინარე ტრაფიკსა და კოდეკის მუშაობის ნახევარსიჩქარიანი რეჟიმის გამოყენებაზე nonBCCH-შრეში შიდასისტემური ხელშეშლების დონის დამოკიდებულებას.
3. მიღებულია გამოსახულებები BCCH და nonBCCH-შრეში მიღებისას სიგნალი/ხელშეშლის საჭირო შეფარდების უზრუნველყოფის ალბათობისთვის და სიგნალი/ხელშეშლის საშუალო შეფარდებისთვის. გამოანგარიშებულია შესაბამისი დამოკიდებულებები რადიოქსელის მუშაობის სხვადასხვა პირობებისას.
4. გამოყოფილია რადიოქსელის მდგომარეობის ძირითადი გრაფიკები, რომლებიც ახასიათებენ მისი მუშაობის ხარისხსა და ეფექტურობას მიმდინარე KPI –ის შესაბამისად.

მესამე თავში თავში მიღებულ იქნა შემდეგი შედეგები.

1. დასაბუთებულია იმ ეფექტური ალგორითმების შემუშავების აუცილებლობა, რომლებიც იძლევიან ქსელის დინამიურად მართვის საშუალებას აპარატული და სისშირული რესურსების მინიმალური დანახარჯებით. ნაჩვენებია BS-ს შორის სააბონენტო დატვირთვის გადანაწილების მნიშვნელობა მოწყობილობის, სისშირეთა სპექტრის თანაბარი ჩატვირთვის უზრუნველყოფისა და მთლიანობაში აბონენტების მომსახირობის ხარისხის ამაღლების მიზნით.
2. შემუშავებულია GSM-900/1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის ბალანსის მეთოდი. მეთოდს საფუძვლად უდევს GSM – 900/1800 თანამიმართულ სექტორებს შორის ხმოვანი ტრაფიკის გადასვლის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ტრაფიკს აკავშირებს ენერგეტიკულ თანაფარდობებთან თანამიმართული სექტორების აბონენტების მიერ სიგნალების მიღებისას. მიღებულია თანაფარდობები ტრაფიკის დისბალანსის შესაფასებლად და Umbrella - ჰენდოვერის ამოქმედების ზღვარის ოპტიმალური ცვლილების გამოსაანგარიშებლად; გამოსაანგარიშებლად საწყის მონაცემებს წარმოადგენენ მრიცხველები Defined Adjacent Cell Measurement. მეთოდი ითვალისწინებს შეზღუდვებს, რომლებიც საზღვრავენ ტრაფიკის ბალანსის ალგორითმის გამოყენების პირობებსა და წესს.
3. შემოთავაზებულია GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების დატვირთვის რეგულირების ალგორითმი, რომელიც ბაზირებულია ქსელური სტატისტიკის მონაცემებზე.
4. დასაბუთებულია ხმოვანი დატვირთვის ბალანსის მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობა GSM – 900/1800 თანამიმართული სექტორების საერთო, ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის რეგულირებისთვის. მიღებულია ისეთი თანაფარდობები, რომლებიც გვაძლევენ ასეთი შესაძლებლობის რეალიზების საშუალებას.

5. ჩამოყალიბებულია GSM – 900/1800 ორდიაპაზონიან ქსელებში სასიგნალო, ხმოვანი და პაკეტური ტრაფიკის ერთობლივი განაწილების სტატეგიის ძირითადი დებულებები.
6. მოყვანილია ტრაფიკის ბალანსის პრაქტიკული გამოყენების მაგალითები.

მეთხე თავში მიღებულ იქნა შემდეგი შედეგები.

1. გახსნილია GSM რადიოქსელში მეზობლური დამოკიდებულებების (NR) ოპტიმიზაციის მნიშვნელობა. შესრულებულია მეზობელი ფიჭების ოპტიმიზაციის ცნობილი პრაქტიკული ხერხების მოკლე მიმოხილვა. დასაბუთებულია ქსელური სტატისტიკის გამოყენებაზე დაფუძნებული NR ოპტიმიზაციის ალგორითმის შემუშავების აუცილებლობა.
2. შემოღებულია ფიჭების გადაფარვის დონის ცნება და შემუშავებულია გამოტოვებული NR აღმოჩენის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ფიჭების გადაფარვის დონეების შეფასებაზე, და რომელიც იყენებს ქსელურ სტატისტიკას Channel Finder BSS.
3. შემუშავებულია უეფექტო NR აღმოჩენის მეთოდი, რომელიც იყენებს მეზობელ ფიჭებს შორის ჰენდოვერების ცდების ქსელურ სტატისტიკას (Handover Adjacent BSS), და რომელიც ახდენს NR მოცილების ზღვრების ადაპტაციას განხილული ფიჭების მეზობლების სიების სიგრძეებისადმი.
4. შემოთავაზებულია მეზობელი ფიჭების სიების ოპტიმიზაციის ალგორითმის ზოგადი სქემა.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დასკვნები

ჩატარებული კვლევების შედეგად, რომელთა მიზანი იყო GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის მოქმედ ქსელებში აბონენტთა მომსახურების ხარისხის ამაღლება, გადაჭრილია ქსელის

ფუნქციონირების შესახებ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენების საფუძველზე GSM სტანდარტის ქსელის რადიორესურსების მართვის ალგორითმების შემუშავების მეცნიერული ამოცანა.

სადისერტაციო ნაშრომში პირველად იქნა მიღებული შემდეგი შედეგები :

7. ჩამოყალიბებულია მოთხოვნები ქსელური სტატისტიკისა და რადიონათევლების შედეგების გამოყენების საფუძველზე რადიორესურსების მართვის ალგორითმებისადმი.
8. შემუშავებულია GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ქსელის მუშაობის ხარისხის მაჩვენებლებს აკავშირებს მის საექსპლუატაციო მახასიათებლებთან და სააბონენტო დატვირთვასთან.
9. ჭარმობებულია შემუშავებული მათემატიკურ მოდელის საფუძველზე სხვადასხვა კონფიგურაციის ქსელებისთვის შიდასისტემური ხელშეშლების შეფასება.
10. ჩატარებულია ქსელის მდგომარეობათა შედარებითი ანალიზი შიდასისტემური ხელშეშლების, ქსელზე სააბონენტო დატვირთვის გათვალისწინებით სპექტრული ეფექტურობისა და მოწყობილობის გამოყენების ეფექტურობის კრიტერიუმების მიხედვით.
11. შემუშავებულია GSM-900 და GSM-1800 თანამიმართული სექტორების ხმოვანი ტრაფიკის რეგულირების ალგორითმი, რომელიც დაფუძნებულია ტრაფიკის მიმდინარე დისბალანსის შეფასებასა და Umbrella - ჰენდოვერის ამოქმედების ზღვარის გამოანგარიშებაზე.
12. შემუშავებულია მეზობელი ფიჭების სიების ოპტიმიზაციის ალგორითმი სექტორებს შორის მეზობლური დამოკიდებულებების ეფექტურობის ზღვრების ადაპტაციით

სამეცნიერო დებულებების, რეკომენდაციების დასაბუთებულობა და კვლევების შედეგების უტყუარობა დასტურდება “მობიტელის” ქსელში შემოთავაზებული ალგორითმების რეალიზაციის შედეგებით.

პუბლიკაციები დისერტაციის თემაზე

1. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე თ. სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის საინფორმაციო რესურსების გადანაწილების პარამეტრების აწყოების მეთოდოლოგია//საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია “ მართვის ავტომატიზირებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები”, საქართველო, თბილისი, სტუ, 20-22 მაისი, 2011. გვ. 283-285.
2. ლაშქარავა ლ., შამანაძე თ., შამანაძე გ., ლაშქარავა ლ. “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა GSM ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №19, თბილისი, 2012, გვ. 207-215.
3. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე თ., ლაშქარავა ლ. რადიორესურსების მართვის განზოგადებული ალგორითმი. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №22, თბილისი, 2013, გვ. 205-211.
4. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე თ., ლაშქარავა ლ. GSM სტანდარტის ქსელებში გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმი და მისი პარამეტრები//საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №22, თბილისი, 2013, გვ. 212-218.
5. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე თ., ლაშქარავა ლ. GSM სტანდარტის ქსელისათვის მობილურობის პარამეტრების ინტენსივობის ცვლილების მოდელი//საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №29, თბილისი, 2015, გვ. 99-104.
6. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე თ., ლაშქარავა ლ. GSM სტანდარტის მობილური რადიოკავშირის ქსელებში რადიორესურსების მართვის ალგორითმები//საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №24, თბილისი, 2013, გვ. 99-104.
7. ლაშქარავა ლ., შამანაძე გ., შამანაძე თ., ლაშქარავა ლ. GSM ქსელის გადატვირთულობისათვის მათემატიკური მოდელის აღწერა//

მოსხენებების კრებული. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, “ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”, ქუთაისი, საქართველო, 2013 – გვ. 349-351.

ავტორის პირადი წვლილი. გამოკვლევების თეორიული და პრაქტიკული შედეგები, ასევე მათგან გამომდინარე დასკვნები და რეკომენდაციები მიღებულია ავტორის მიერ.

Abstract

The network of a mobile communication is constantly developing structure. Coverage of new areas, expansion of a set of services and increase of availability them for users stimulates a gain of subscriber base that, in turn, demands expansion of network capacity and control of operating modes of the network equipment.

The problem of resource management of a radio network has the big practical importance. Operating experience and developments of commercial networks of the GSM standard convincingly showed that the right choice of operating modes of the equipment and careful control of network parameters is necessary conditions of successful work of the operator. Effective management of resources of a big extensive network of communication demands use of the corresponding methods and algorithms with possibility of high extent of their automation. Thus, the subject of the real dissertation work is actual.

The purpose of work consists in improvement of quality of service of subscribers of networks of a mobile communication of the GSM standard.

The scientific task consists in development of algorithms of management by a GSM standard radio network with use of statistical data on network functioning.

At the solution of a scientific task the mathematical apparatus of the theory of probability and statistics, the theory of mass service, the theory of distribution of radio waves, and also methods of mathematical modeling and a pilot study was used.

The thesis consists of the introduction, four heads, the conclusion and appendices.

In chapter 1 the general characteristic of cellular systems of a mobile communication of the GSM standard is given, the review of technologies of data transmission is executed and requirements imposed to quality of service of subscribers are considered. The analysis of a problem of increase of efficiency of functioning of networks of a mobile radio communication of the GSM standard is carried out. Requirements in algorithms of resource management of a radio network are formulated. The functional tasks solved in decision-making process on development of a network of a mobile radio communication are considered. The necessary set of indicators characterizing a condition of a network is defined.

In chapter 2 the mathematical model connecting indicators of quality of network functioning with its operational characteristics and subscriber loading is developed. Are received the analytical expressions connecting probability blocking of a call, level of intrasystem noise and spectral efficiency with a volume and character of subscriber loading. The relation assessment a signal/noise in traffic and management channels from the accounting of operating modes of the transmit-receive equipment is carried out. The analysis of operating conditions of a radio network is made at various ratios of subscriber loading, hardware and frequency resources the main gradation of a condition of a network are allocated.

In a chapter 3 the concept of balance of subscriber loading the codirected of sectors of GSM 900/1800 is entered. The mathematical model of transition of a voice traffic between codirected sectors of GSM 900/1800, allowing to calculate values network parameters at which the traffic will be balanced is constructed. The method of the corresponding calculation is developed and the algorithm of management by a voice traffic of the codirected sectors GSM 900/1800 relying on network statistics of a subsystem of BSS is constructed. The principle of use of the developed method in a problem of management mixed voice and package a traffic of the codirected sectors of GSM 900/1800 is described, the main settlement ratios are received. Recommendations about distribution voice, package, and signaling traffic in dual-band networks are formulated and reasonable.

In chapter 4 the concept of level of overlapping of neighbor cells is entered. The technique of formation of lists of the neighbor cells in the GSM networks is developed. Analytical expressions for an assessment of efficiency of the neighbour's relations between

sectors on the basis of network measurements are received. The algorithm of optimization of lists of the next neighbor with use of network statistics of a subsystem of BSS and application of the analysis of level of overlapping of candidate neighbor on establishment or removal of the neighbour's relations is developed. The algorithm considers architecture of layers of GSM 900/1800, methods of planning and methods of control over a traffic, acceptance in a radio network. Procedures of addition passed and removals of inefficient NR are in detail described.

Appendices contain the mathematical calculations used at creation of mathematical models and expression, used subsystems of BSS, when processing results of measurements. The following scientific results are submitted for protection

- 1 . Mathematical model of a network of a mobile radio communication of the GSM standard, connecting indicators of quality of network functioning both its operational characteristics and subscriber loading.
- 2 . Algorithms of management of radio resources in GSM mobile networks, based on results of network measurements.
- 3 . Technique of formation of lists of the next neighbor in the GSM networks, taking into account architecture of a network, methods of its planning and traffic control.

Results of work are introduced in Mobitel's practical operational and technical activities.