

მეოთხე თაობის რადიოქსელის დატვირთვისა და გამტარუნარიანობის ანალიზი

გიორგი გიორგაძე, ირაკლი ჯორჯაძე, ვახტანგ აბულაძე, ჯანიკო ხუნწარია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

განხილულია VoLTE-ს მომხმარებელთა საშუალო გამტარუნარიანობის შეფასების საკითხი. კერძოდ ნაჩვენებია, რომ ფიქსირებულ ქსელებში ტრაფიკის დათვლის მოდელი მიესადაგება VoLTE-ს რადიო ინტერფეისსაც, თუ გარკვეული ცვლილებები იქნება შეტანილი ფორმულაში. ე.წ. M/G/1 მეთოდის გამოიყენება მართებულია მომხმარებელთა გამტარუნარიანობის განსასაზღვრავად, ხოლო VoLTE-ს რადიოინტერფეისის რესურსი განსაზღვრულია ქსელში არსებული ფიზიკური რესურს-ბლოკების ათვისების მაჩვენებლის საშუალებით, რომლის სტატისტიკაც ხელმისაწვდომია ყველა LTE სისტემაში. მიღებულია აქტიური მომხმარებლების ტერმინალისა და მისი დაგეგმილი გამტარუნარიანობის განსაზღვრელი ფორმულები, რომელთა 3GPP მეთოდებთან მისადაგება საკმაოდ ზუსტად განსაზღვრავს ფიჭის ტევადობას.

საკვანძო სიტყვები: რადიოქსელი. დატვირთვა. გამტარუნარიანობა. ქსელის დაგეგმარება. VoLTE ტექნოლოგია.

1. შესავალი

დღეისათვის მსოფლიო მასშტაბით ფართოდ იწერება VoLTE (Voice over long term evolution - ხმის გადაცემა გრძელვადიანი ევოლუციით) ტექნოლოგია, რაც აუცილებელს ხდის მობილური ტერმინალების ხელმისაწვდომობას ამ ფუნქციის მხარდასაჭერად. VoLTE საშუალებას იძლევა გაიზარდოს ოპერატორის არსებული ქსელის ეფექტურობა და გაუმჯობესდეს მომხმარებლის გამოცდილება მომსახურების სფეროში ხმოვანი გამოძახების ხარისხის ამაღლების თვალსაზრისით. ქსელის ეფექტურობის გაზრდა გულისხმობს ხმის გადაცემას პაკეტურ ქსელში 2G/3G ტექნოლოგიებზე ჰენდოვერის გარეშე. თუ აბონენტი დარეგისტრირებულია LTE ქსელში და ოპერატორის ინფრასტრუქტურას გააჩნია VoLTE-ს მხარდაჭერა, მაშინ ზარი დამუშავებული იქნება უშუალოდ LTE ქსელში GSM/UMTS ქსელში გადართვის გარეშე.

რადიოქსელის დაგეგმარებისას ძირითად საკითხს წრმოადგენს სტატისტიკური მონაცემების შედარება, რომლებიც აიღება რადიოქსელის დონეზე მომხმარებელთა მუშობის შედეგებით. პრაქტიკული რეალიზებისას ხშირად ისმება კითხვა დაგეგმარებისა და მიმდინარე პირობების შესახებ, კერძოდ კითხვა იმის შესახებ, თუ რამდენი უნდა იყოს VoLTE-ს რადიოკავშირის მაქსიმალური დატვირთვა, რათა მომხმარებლის ტერმინალის გამტარუნარიანობა დარჩეს უცვლელი. სამეცნიერო ლიტერატურაში პრაქტიკულად არ არის სრულყოფილი ინფორმაცია აღნიშნული საკითხის ტექნიკური ანალიზის შესახებ. ამიტომ იგი წარმოადგენს აქტუალურ სამეცნიერო-ტექნიკურ პრობლემას და, შესაბამისად, წინამდებარე სტატიის მიზანს.

ამრიგად, ქსელის მომზადება და სწორი დაგეგმარება გადამწყვეტია ოპერატორების მიერ VoLTE-ს ყველა უპირატესობის გამოყენების მიზნით. VoLTE-ს წარმატებული

რელიზებისთვის ოპერატორებმა უნდა განახორციელონ რადიოქსელისა და მომხმარებელთა გამტარუნარიანობის გარკვეული წესით დაგეგმვა. მობილური ქსელის სწორი დაგეგმვა და ოპტიმიზაცია ასრულებს ცენტრალურ როლს აბონენტისთვის VoLTE-ს მაღალხარისხიანი მომსახურების მიწოდებისთვის.

2. ძირითადი ნაწილი

რადიორესურსის, როგორც ცნების, განსაზღვრა შესაძლებელია მრავალნაირად, თუმცა VoLTE-ს რადიოინტერფეისის შემთხვევაში მოსახერხებელია PRB-ს (Physical Resource Block - ფიზიკური რესურს-ბლოკი), როგორც საერთო რესურსის, გამოყენება. VoLTE-ს შემთხვევაში PRB-ს ათვისების მაჩვენებელი შეიძლება მივუსადაგოთ გადაცემის სიმძლავრეს. x რაოდენობის აქტიური მომხმარებლის ტერმინალის ერთდროულად დატვირთვის შემთხვევაში მყისიერი გამტარუნარიანობა იქნება მაქსიმალური გამტარუნარიანობის $\frac{1}{x}$.

მომხმარებლის ტერმინალი ითვლება აქტიურად, თუ მის მიერ მოთხოვნილი მონაცემები ქსელის მხრიდან დამუშავების პროცესშია. აქტიური ტერმინალების რაოდენობა განსხვავდება ქსელში ჩართული მომხმარებლის ტერმინალების რაოდენობისაგან. ქსელში შეიძლება რეგისტრირებული იყოს ტერმინალი, მაგრამ არ ახორციელებდეს მონაცემების გადაცემას ან მიღებას. რადგანაც მომხმარებლები თავისი მონაცემების გადაცემას ახორციელებენ სხვადასხვა დროს, ამიტომ აქტიური მომხმარებლის ტერმინალების რაოდენობა (x) და მყისიერი გამტარუნარიანობა იცვლება დროში.

ნაშრომის კვლევის მიზანია ქსელის დონეზე აბონენტის საშუალო გამტარუნარიანობის გამოთვლის მეთოდის დამუშავება, რომლის შედეგები მოყვანილია წინამდებარე სტატიაში.

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ფიჭაში იმყოფება ერთადერთი ტერმინალი (აბონენტი) და მხოლოდ ის იყენებს სრულ რესურსს გარკვეული გამტარუნარიანობით T_1 , სადაც «1» მიუთითებს აქტიური ტერმინალების რაოდენობაზე ($x=1$). თუ ფიჭაში აქტიური ტერმინალების რაოდენობა 1-ზე მეტია ($x>1$), მაშინ მომხმარებლის გამტარუნარიანობა იქნება T_1/x . მომხმარებლის მაქსიმალური მისაწვდომი გამტარუნარიანობა T_1 დამოკიდებულია ტერმინალის ადგილმდებარეობაზე ფიჭაში, რადიოპირობებზე, მიმღებ-გადამცემების რაოდენობაზე და ა.შ. მომხმარებლის საშუალო გამტარუნარიანობა $T_{\text{მომხ}}$ განისაზღვრება როგორც T_1/x -ის მოსალოდნელი მნიშვნელობა x -ის დადებითი მთელი რიცხვისთვის

$$T_{\text{მომხ}} = E \left[\frac{T_1}{x} \right], \quad x \geq 1 \quad (1)$$

სადაც $E[\cdot]$ აღნიშნავს საშუალო გამტარუნარიანობის მოსალოდნელ მნიშვნელობას.

მომხმარებლის რადიოპირობები და შესაბამისად მაქსიმალური გამტარუნარიანობა T_1 შეიძლება შეფასდეს სტატისტიკურად, ფიჭაში არსებული აქტიური ტერმინალების რაოდენობისგან დამოუკიდებლად და ამ შემთხვევაში (1) შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით

$$T_{\text{მომხ}} = E[T_1]E \left[\frac{1}{x} \right], \quad x \geq 1 \quad (2)$$

სადაც $C=E[T_1]$ -ს უწოდებენ ფიჭის ტევადობას.

სამწუხაროდ ხშირ შემთხვევაში ვერ გამოითვლება ფორმულაში (2) შემავალი მეორე მაჩვენებელი - $E[1/x]$, რომელიც წარმოადგენს აქტიური ტერმინალების შებრუნებულ რიცხვს და მათ საშუალო არითმეტიკულს. ამის ძირითადი მიზეზია მთვლელის არარსებობა ქსელის მხრიდან. მეორეს მხრივ, აქტიური ტერმინალების რაოდენობის საშუალო არითმეტიკული ($E[x]$) არის სტანდარტიზებული KPI (Key Performance Indicators - ძირითადი მახასიათებლების ინდიკატორი), რომელიც განსაზღვრულია 3GPP (3rd Generation Partnership Project - მესამე თაობის პარტნიორობის პროექტი) კონსორციუმის მიერ. შესაბამისად იგი გათვალისწინებულია კომერციულ წარმოებაში. უფრო პრაქტიკულ შედეგს მივიღებთ, თუ (2)-ში $E[1/x]$ -ს შევცვლით $1/E[x]$ -ით და ამ შემთხვევაში გვექნება

$$T_{დაგ} = \frac{E[T_1]}{E[x]}, \quad x \geq 1 \quad (3)$$

3GPP-ში მას ეწოდება დაგეგმილი (დაგ.) „IP გამტარუნარიანობა“. უნდა აღინიშნოს, რომ $E[x] \neq 1/E[x]$, ამის გამო $T_{მოთ}$ და $T_{დაგ}$ ერთმანეთისგან განსხვავებული მნიშვნელობებია [1].

დაგეგმილი გამტარუნარიანობა შეიძლება გამოისახოს აგრეთვე შემდეგნაირად

$$T_{დაგ} = \frac{S}{W}, \quad x \geq 1 \quad (4)$$

სადაც S - ფაილის საშუალო ზომაა (ბიტებში), ხოლო W - ფაილის გადაცემის საშუალო ხანგრძლივობა.

დაგეგმილი გამტარუნარიანობის ეს ფორმა ხშირად გამოიყენება ფიქსირებული IP-ქსელის გამტარუნარიანობის ანალიზისას და მას უწოდებენ „ნაკადის გამტარუნარიანობას“.

დაგეგმილი გამტარუნარიანობა $T_{დაგ}$ ყოველთვის უფრო მცირეა ვიდრე მომხმარებლის გამტარუნარიანობა $T_{მოთ}$. ეს არის პირდაპირი შედეგი იენსენის უტოლობისა $E[1/x] > 1/E[x]$, რის გამოც $T_{მოთ} > T_{დაგ}$. [1,2].

საშუალო დაგეგმილი გამტარუნარიანობა უკუპროპორციულია აქტიური ტერმინალების საშუალო რაოდენობისა. თუმცა მხოლოდ აქტიური ტერმინალების რაოდენობით ზუსტად ვერ დავახასიათებთ ქსელის დატვირთვას. ქსელის დატვირთვის განსაზღვრის კრიტერიუმად უფრო ხშირად გამოიყენება PRB-ს ათვისების მაჩვენებელი. ამიტომ საჭიროა ისეთი მეთოდის შემუშავება, რომელიც დააკავშირებს PRB-ს ათვისების მაჩვენებელს აბონენტის გამტარუნარიანობასთან [3].

ფიქსირებული კავშირის გამტარუნარიანობის ანალიზისას, საკომუტაციო არხების ათვისების მაჩვენებელი ρ , ძირითადად, გამოისახება შემდეგი ორი ცვლადით: ნაკადის საშუალო ზომა S (ბიტებში) და ნაკადის შემოსვლის სიჩქარე λ (1/წმ).

$$\rho = \frac{\lambda S}{C}, \quad (5)$$

სადაც C არხის გატარების ზოლია (ბიტი/წამში).

ამ მეთოდით VoLTE-ს ფიჭის რესურსის განმკარგველი შეიძლება განვიხილოთ როგორც "პროცესორი", რომელიც უნაწილებს ფიზიკურ რესურს-ბლოკებს აქტიურ ტერმინალებს. ფიზიკური რესურს-ბლოკების ათვისების მაჩვენებლის ამოღება შესაძლებელია ქსელიდან სისტემური მთვლელების საშუალებით.

ნაკადის საშუალო ზომისა და ფიჭის ფიზიკური რესურსის მისადაგებისთვის (მორგებისთვის) აუცილებელია ფაილის S ზომა გარდაიქმნას ფიზიკურ რესურს-ბლოკში.

მაგალითად, განვიხილოთ აბონენტი სპექტრული ეფექტურობით $\eta=1$ ბიტ/წმ/ჰც. ვინაიდან ერთი ფიზიკური რესურს-ბლოკი იტევს 180 ბიტს, ამიტომ ერთი მეგაბაიტის (S=1 მბაიტი) ვებ-გვერდი მოითხოვს 44000 ფიზიკურ რესურს-ბლოკს (PRB), ვინაიდან $8 \times 10^6 / 180 \approx 44000$. მაშინ ფორმულა (5) მიიღებს შემდეგი სახეს:

$$\rho = \frac{1}{1} \times \frac{\lambda S}{R_{prb}} \quad (6)$$

სადაც: η ფიქის საშუალო სპექტრალური ეფექტურობა; $R_{prb}=c/180\eta$ ფიზიკური რესურს-ბლოკის სიჩქარეა, ხოლო კოეფიციენტი 180, როგორც ცნობილია, მიღებულია სტანდარტული ფიზიკური რესურს-ბლოკის გატარების ზოლიდან ($12 \times 15 = 180$ კჰც). მაგალითად, 20 მჰც გატარების ზოლის მქონე ფიქისთვის $R_{prb}=20 \times 10^6 / 180 \approx 10^5$ PRB/წმ.

პრაქტიკაში აუცილებელი არაა ტრაფიკის პარამეტრების (λ და S) ცოდნა, რამდენადაც ფიზიკური რესურს-ბლოკების ათვისების მაჩვენებელი ρ შეიძლება პირდაპირ აღებულ იქნას ქსელის სტატისტიკიდან.

იმისათვის, რომ $E[x]$ ან $1/E[x]$ (1), (2) და (3) გამოსახულებებში დავუკავშიროთ ფიზიკური რესურს-ბლოკების ათვისების მაჩვენებელს, საჭიროა მიღებულ იქნას გარკვეული სტატისტიკური დაშვებები მომხმარებელთა მონაცემთა ნაკადის შემოსვლის λ სიჩქარეზე. IP-ინჟინერიის ლიტერატურაში სადენიანი არხების შემთხვევაში TCP (Transmission Control Protocol - გადაცემის კონტროლის პროტოკოლი) ნაკადის გამტარუნარიანობის მოდელირებისთვის გამოიყენება ეგრეთ წოდებული M/G/1 პროცესორების გაზიარების მოდელი. M/G/1 მოდელის მიხედვით შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ λ -ს (დროის ერთეულში შემოსული მონაცემთა ნაკადის რაოდენობა) გააჩნია პუასონის განაწილება. აღნიშნულ მოდელი ოფიციალურად დაშვებულია და ამის მთავარი მიზეზი მისი სიმარტივეა. ზემოთ მოყვანილი დაშვებების გათვალისწინებით აღნიშნული მოდელის გამოყენება შესაძლებელია VoLTE-ს რადიოკავშირის გამტარუნარიანობის გამოსათვლელად [3].

თუ დავუშვებთ, რომ პარამეტრი λ პუასონის განაწილებითაა, პროპორციულია დროში x აქტიური მომხმარებლების რაოდენობისა, მაშინ მივიღებთ $\pi = (1 - \rho)\rho$, სადაც x დადებითი მთელი რიცხვია, ხოლო ρ (6)-ით განსაზღვრული დატვირთვაა. ამ მონაცემების მიხედვით გამოითვლება $E[1/x]$ და $E[x]$ მოსალოდნელი მნიშვნელობები და აქტიური მომხმარებლის ტერმინალის გამტარუნარიანობა [1, 2, 4].

$$T_{\text{მომხ}} = \frac{L(1-\rho)}{\rho} L \frac{1}{1-\rho} \quad (7)$$

ხოლო (3) დაგვემძილი გამტარუნარიანობა იქნება

$$T_{\text{დაგ}} = C(1 - \rho) \quad (8)$$

როგორც უკვე აღინიშნა, მომხმარებლის გამტარუნარიანობის ($T_{\text{მომხ}}$) მნიშვნელობის ამოღება ქსელიდან შეუძლებელია და, ზოგადად, მისი გამოთვლა მარტივი არაა მაშინ, როდესაც დაგვემძილი გამტარუნარიანობა ($T_{\text{დაგ}}$) სტანდარტიზირებულია 3GPP-ს მიერ და იგი მარტივი მისაწვდომია [5].

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც გამტარუნარიანობის შეზღუდვის მექანიზმების გამოყენებით აბონენტის მოწყობილობას შეუძლია გამოიყენოს ფიქაში არსებული ფიზიკური რესურს-ბლოკების $1/R$ ნაწილი მაშინაც კი, როდესაც ფიქაში არ არის სხვა

აქტიური აბონენტი. ეს არის შემთხვევა, როდესაც მობილური ოპერატორი ზღუდავს ტრაფიკს ხელშეკრულების პირობების შესაბამისად. მოცემული მაგალითის შემთხვევაში თავსებადია $M/G/R$ მოდელი, სადაც R წარმოადგენს აბონენტისთვის გამოყოფილი ფიზიკური რესურს-ბლოკების მცირე ნაწილს. $M/G/R$ მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში დაგეგმილ გამტარუნარიანობას ($T_{დაგ}$) ექნება შემდეგი სახე:

$$T_{დაგ} = \frac{C}{1 + \frac{E_2(R, R\rho)}{R(1-\rho)}} \quad (9)$$

სადაც $E_2(R, \rho)$ არის ერლანგის მეორე ფორმულა

$$E_2(R, \rho) = \frac{\frac{y^R}{R!} \frac{R}{R-y}}{\sum_{i=0}^{R-1} \frac{y^i}{i!} + \frac{y^R}{R!} \frac{R}{R-y}} \quad (10)$$

ფორმულაში (10) R დადებითი მთელი რიცხვია და $y=R\rho>0$ და იგი გამოიყენება ჯერადობისთვის. თუ $R=1$, მაშინ მიიღება (8)-ს განსაკუთრებული შემთხვევა.

უნდა აღინიშნოს, რომ გამტარუნარიანობის გარე შეზღუდვისას მიიღება გაცილებით რთული ფორმულა. ამიტომ მისი ანგარიში მნიშვნელოვნადაა გართულებული [6, 7].

3. დასკვნა

აქტიური მომხმარებლის ტერმინალების საშუალო რაოდენობითა და 3GPP მეთოდების გამოყენებით მიღებული ფორმულა (8) საკმაოდ ზუსტად განსაზღვრავს ფიჭის ტევადობას. მიღებული გამოსახულება (8) აჩვენებს, რომ დაგეგმილი გამტარუნარიანობა მცირდება მომსახურე ფიჭის ფიზიკური რესურს-ბლოკების გამოყენებისას, რაც აუცილებელია ქსელის პრაქტიკული ოპერირებისას. მეზობელი ფიჭიდან მიღებული ხელშეშლები აუარესებენ მომსახურე ფიჭის სპექტრალურ ეფექტურობას η -ს, ამიტომ მოსალოდნელია ფიჭის C ტევადობის შემცირება მეზობელ ფიჭაში დატვირთვის გაზრდისას. სპექტრული ეფექტურობის (η) შემცირება, როგორც ფორმულიდან (6) ჩანს, ასევე ზრდის ფიზიკური რესურს-ბლოკების ათვისების მაჩვენებელს, რაც, თავის მხრივ, იწვევს ფიჭის გამტარუნარიანობისა და, შესაბამისად, მომხმარებლის ტერმინალის გამტარუნარიანობის შემცირებას.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Chen N., Jordan S. (2007). Throughput in processor-sharing queues. In IEEE Trans. On Automatic Control. 52(2):299 - 305. DOI: 10.1109/TAC.2006.887906
2. Kherani A.A., Kumar A. (2002). Stochastic models for throughput analysis of randomly arriving elastic flows in the Internet. In Proc. IEEE INFOCOM
3. Arvanitakis G., Kaltenberger F. (2016). PHY and MAC layer modeling of LTE and WiFi RATs. Eurecom, Tech. Rep. EURECOM+4879
4. Kleinrock L. (1975). Queueing Systems. Wiley Interscience. vol. 1,2.
5. 3GPP. (2016). Performance measurements Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN). 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 32.425

6. Lindberger K. (1999). Balancing quality of service, pricing and utilisation in multiservice networks with stream and elastic traffic. In Proc. ITC 16

7. Naumov V., Martikainen O. (2012). Queueing systems with fractional number of servers. The Research Institute of the Finnish Economy. Discussion Papers 1268.

ANALYSIS OF 4G RADIO LOAD AND USER THROUGHPUT

Giorgadze Giorgi, Jorjadze Irakli, Abuladze Vakhtang, Khuntsaria Janiko

Georgian Technical University

Summary

In this paper is discussed how to calculate average throughput of user equipment in for VoLTE technology. The focus is on the average user throughput over the LTE radio interface. In particular the called M/G/1 Processor Sharing (PS) approach is used to express user throughput in terms of LTE radio interface Physical Resource Block (PRB) utilization, the statistics of which are available in every commercial LTE system. In article is shown equations for calculation active user equipments in the cell and their average scheduled throughput measurements using the 3GPP methods gives opportunity to define cell capacity

АНАЛИЗ РАДИОНАГРУЗКИ 4G И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Гиоргадзе Г., Джорджадзе И., Абуладзе В., Хунцария Дж.

Грузинский Технический Университет

Резюме

Рассматривается вопрос оценки средней пропускной способности VoLTE для потребителей. В частности показано, что в фиксированных сетях модель расчета трафика применима к радиointерфейсу VoLTE, если провести соответствующие изменения в формулах. Использование так называемого метода M/G/1 определяет пропускные способности пользователя, а ресурс радиointерфейса VoLTE определяется показателем освоения существующих в сети физических ресурсов-блоков. Статистические данные доступны во всех LTE системах. В статье приведены уравнения для расчета активного пользователя. Измерения с использованием методов 3GPP дают возможность определить емкость соты.