

Vilniaus Universitetas

Fizikos fakultetas

Radiofizikos katedra

Karolis Matulevičius

VoLTE PASLAUGŲ MODELIAVIMAS LTE TINKLE

Pagrindinių studijų baigiamasis darbas

Telekomunikacijų fizikos ir elektronikos studijų programa

Studentas

Karolis Matulevičius

Darbo vadovas

Rimvydas Aleksiejūnas

Recenzentas

Jurgis Aleksandravičius

Katedros vedėjas

prof. Jūras Banys

Vilnius 2016

Turinys

1. Įžanga	3
2. Tikslai	4
3. LTE tinklo architektūra	5
2.1 UE	5
2.2 E-UTRAN	6
2.3 EPC	7
4. LTE moduliacijos	8
3.1 OFDMA	8
3.2 SC-OFDM	9
3.3 CP	10
5. Balso paslaugų perdavimas LTE tinkle	11
4.1 VoIP	11
4.2 VoLTE	11
4.3 VoLTE ir VOIP skirtumai	12
6. Skambučių sujungimai	13
5.1 GSM skambutis	13
5.2 UMTS skambutis	14
5.3 VoLTE skambutis	15
7. Tyrimo metodika	17
8. Rezultatai	19
9. Išvados	23
10. Literatūra	24
11. Summary	26
12. Priedai	27
11.1 UMTS skambučio sujungimo schema	27

1. Įžanga

Third-Generation Partnership Project (3GPP) sukūrė naują technologiją vadinamą Long Term Evolution (LTE)[1]. Ji yra aprašoma 3GPP Release 8 (R8) techninėje specifikacijoje[2]. 3GPP LTE pagrindinis tikslas yra patobulinti trečios kartos (Third-Generation (3G)) Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) kad ji atitiktų International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-A) reikalavimus nustatytus International Telecommunication Union (ITU). Vieni iš pagrindinių LTE reikalavimų yra ryškus duomenų perdavimo spartos padidėjimas: 300 Mbps žemalinke kryptimi (ang. *downlink (DL)*) ir 75 Mbps aukštalinke kryptimi (ang. *uplink (UL)*); taip pat skirtingo pločio kanalo pralaida ir sumažintas vėlinimo laikas. Tačiau LTE technologija veikia tik su Evolved Packet Core tinklu (EPC), kuris palaiko tik Packet Switched (PS) paslaugas. Kadangi EPC nepalaiko Circuit Switched (CS) paslaugų, teko ieškoti naujų sprendimų, kaip LTE tinklu perduoti balso paslaugas. 3GPP aštuntame leidime (Release 8) taip pat buvo aprašyta VoLTE (Voice over LTE) specifikacija. VoLTE leidžia perduoti balso paslaugas LTE tinklu, tačiau balso paslaugos yra perduodamos panašiai kaip VOIP (Voice Over IP) duomenys. 3GPP devintajame leidime (Release 9) yra jau aprašoma patobulinta VoLTE specifikacija ir leidžiama nepaisyti kai kurių specifikacijos nurodymų išleistų aštuntajame leidime. Dauguma VoLTE techninių reikalavimų yra susiję su paslaugų kokybe (QoS), bet svarbiausi yra tai, kad duomenų keliavimo trukmė nuo vieno naudotojo iki kito (“nuo burnos iki ausies”) būtų mažiau nei 150 ms, bei bent 98% paketinių duomenų pasiektų tikslą, bei geresnė perduodamo garso kokybė, nei ankstesnėse technologijose[3]. Tai yra pagrindiniai VoLTE reikalavimai, tačiau mažiau nagrinėjami, bet taip pat svarbūs parametrai moderniam judriajam tinklui yra skambučių sujungimo trukmė, bei skambučių sujungimas.

2. Tikslai

1. Išmatuoti VoLTE, UMTS ir GSM skambučių sujungimo vidutines trukmes, bei jas palyginti.
2. Nustatyti nesėkmingų skambučių dalį kiekvienoje technologijoje.
3. Palyginti gautus rezultatus su RRT 2015 metų viešojo judriojo telefono ryšio paslaugų kokybės rodiklių įvertinimo ataskaita metine ataskaita.

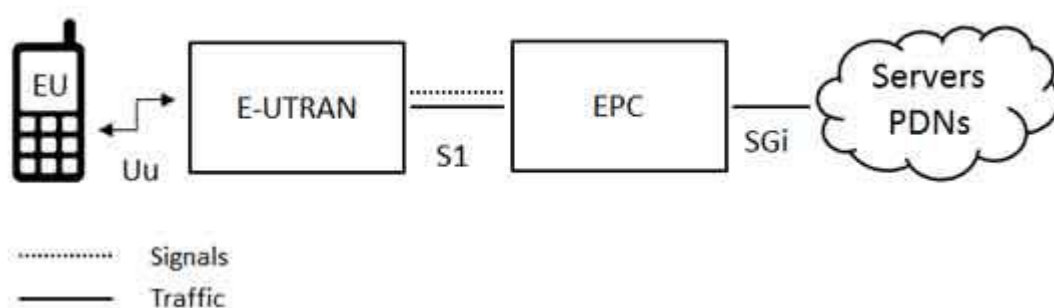
3. LTE tinklo architektūra

GSM architektūra yra paremta grandinių perjungimu (ang. *Circuit switching (CS)*). Tai reiškia, kad sujungiant skambutį abu skambučio dalyviai yra sujungiami grandine per telekomunikacinį tinklą. Tai galima palyginti su dviem skardinėmis sujungtomis virvute. GSM technologijoje visos paslaugos yra perduodamos grandinių perjungimo principu. GPRS yra naudojamas paketų perjungimas (ang. *Packet switching (PS)*). Tai leidžia duomenis perduoti nesukuriant atskirų grandinių, tačiau balsas ir dažniausiai SMS (ang. *Short Message System*) yra perduodami CS principu. UMTS technologijoje yra naudojamas tas pats principas.

Kuriant LTE buvo nuspręsta naudoti IP (ang. *Internet Protocol*) kaip pagrindinį protokolą perduodant visas paslaugas[4]. Todėl EPC (ang. *Evolved Packet Core*) nenaudojama CS. Atsisakius CS reikėjo ieškoti naujų būdų, kaip tinkle perduoti balso ir SMS paslaugas.

Aukštesnio lygio LTE tinklo architektūra susideda iš trijų pagrindinių dalių[5]:

- Vartotojo įrangos (UE).
- The Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN).
- The Evolved Packet Core (EPC).



1 pav. Supaprastinta LTE tinklo blokinė schema[1].

2.1 UE

Vartotojo įrangos (ang. User Equipment (UE)) vidinė architektūra LTE tinkle yra identiška naudojamai UMTS ir GSM tinkluose, vadinamai mobilia įranga (ang. Mobile Equipment (ME)). Mobili įranga susideda iš šių dalių:

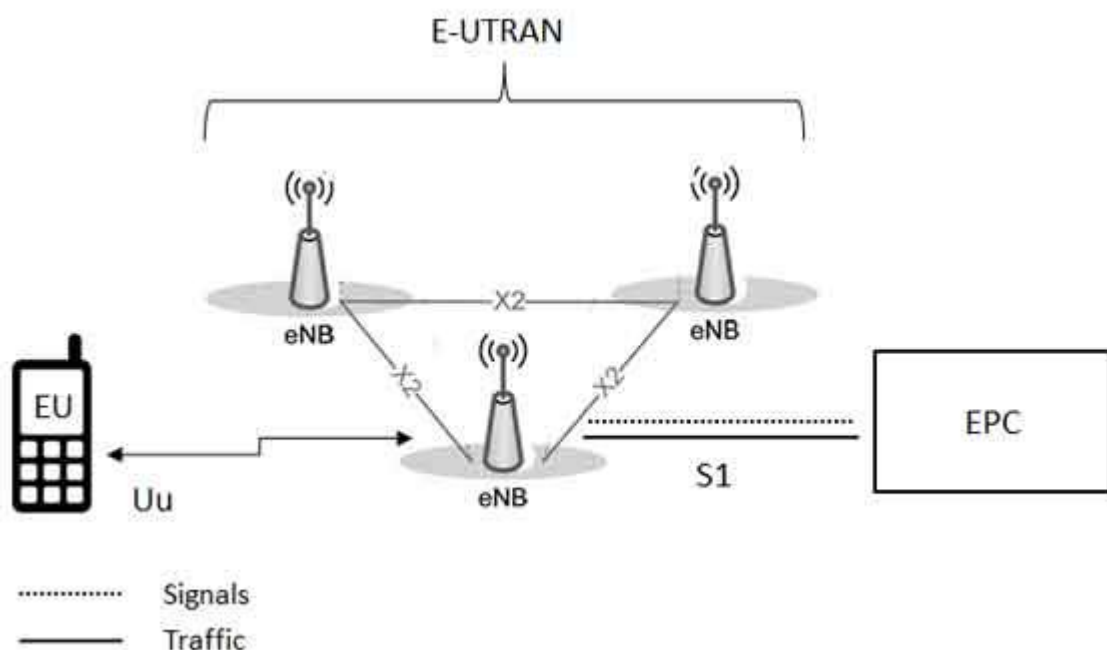
- Mobile Termination (MT) : Valdo visas komunikacijos funkcijas.

- Terminal Equipment (TE) : Valdo visus duomenų srautus.
- Universal Integrated Circuit Card (UICC) : Taip pat vadinama SIM kortele LTE tinkui. Joje yra leidžiama Universal Subscriber Identity Module (USIM) programa.

USIM saugoja su vartotoju susijusią informaciją panašiai kaip 3G SIM kortelė. USIM yra saugoma informacija apie vartotojo telefono numerį, namų tinklo

2.2 E-UTRAN

Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) architektūra rodoma x pav.

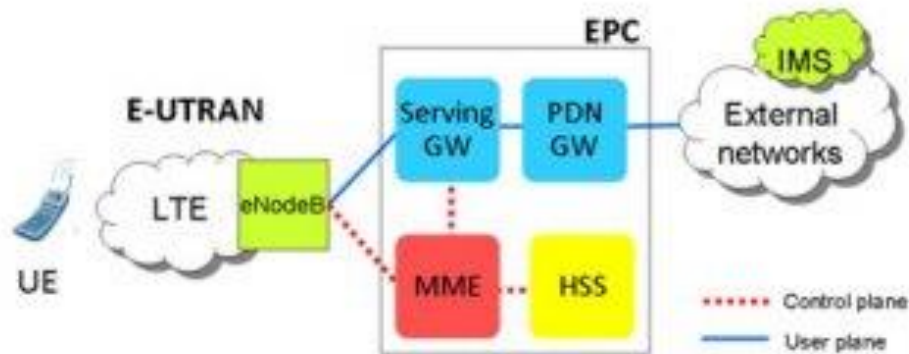


2 pav. Supaprastinta E-UTRAN blokinė schema[1].

E-UTRAN valdo radijo komunikacijas tarp mobilių įrenginių ir EPC. E-UTRAN turi tik vieną komponentą, patobulintą bazinę stotį, vadinamą eNodeB arba eNB. Kiekviena eNodeB yra bazinė stotis, kuri kontroliuoja mobilius įrenginius vienoje ar daugiau celių. Bazinė stotis, kuri komunikuoja su mobiliu įrenginiu yra vadinama aptarnaujančia eNB (ang. *serving eNB*).

LTE mobilieji įrenginiai vienu metu komunikuoja tik su viena bazine stotimi ir viena cele, todėl eNodeB atlieka šias funkcijas:

- eNodeB siunčia ir gauna radijo signalus visiems mobiliems įrenginiams naudojant analoginių ir skaitmeninių signalų apdorojimo funkcijas LTE oro sąsajai.
- eNodeB kontroliuoja mažo lygio operacijas visiems UE siunčiant jiems signalų žinutes, tokias kaip perdavimo komandas (ang. *handover commands*) ir t.t.



3 pav. Supaprastinta Evolved Packet Core blokinė schema[6].

2.3 EPC

Kuriant EPC buvo nuspėta naudoti “plokščią architektūrą”. Yra vengiama protokolų konvertavimą ir yra naudojama kuo mažiau tinklų taškų. Dėl šių priežasčių tinkle apkrova yra valdoma našiau.

Taip pat buvo nuspėta atskirti naudotojo duomenis (ang. *User plane*) ir valdymo signalus (ang. *Control plane*) siekiant geresnio išskaidymo tinkle. Dėl šios priežasties tinklo operatoriai gali lengvai prisitaikyti prie pokyčių tinkle.

Čia pateikiamos pagrindinės EPC dalys.

- HSS (ang. *Home Subscriber Server*) yra duomenų bazė, kuri kontroliuoja su vartotoju susijusią informaciją. Ji taip pat suteikia skambučio ir sesijos sujungimo, vartotojo atpažinimo ir prieigų autorizacijos funkcijas
- Serving GW perduoda visą IP duomenų srautą tarp vartotojo įrangos (UE) ir išorinių tinklų. Serving GW yra tinklo dalis, kuri sujungia tinklo radijo dalį su IP dalimi. Jis logiškai yra sujungtas su PND GW.
- PND (ang. *Packet Data Network*) GW yra sujungimas tarp EPC ir išorinių IP tinklų. Jis maršrutizuoja paketus iš ir į packetinių duomenų tinklus (PND). Jis taip pat priskiria IP ardesus ir IP priešdėlius (ang. *IP prefix*), taip pat prižiūri tinklo kokybę, (ang. *Quality of Service (QoS)*), bei daugiau funkcijų.
- MME (ang. *Mobility Management Entity*) reguliuoja signalus susijusius su E-UTRAN priegos saugumu. MME taip pat atsakinga už vartotojo įrangos (UE) sekimu.

4. LTE moduliacijos

3.1 OFDMA

Vienas pagrindinių LTE elementų yra OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access) naudojimas žemalinkei kryptiai ir SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) naudojimas aukštalinkei kryptiai [7].

OFDM privalumas yra galimybė keisti kanalo pralaidą (Ang. bandwidth). Kanalo pralaidą nulemia nešlių skaičių, kurį galima naudoti OFDM signale, ir tai nulemia kitus parametrus, kaip simbolio ilgis ir t.t. Kuo didesnė kanalo pralaida, tuo didesnė kanalo talpa.

Kanalo pralaidos kurios yra naudojamos LTE:

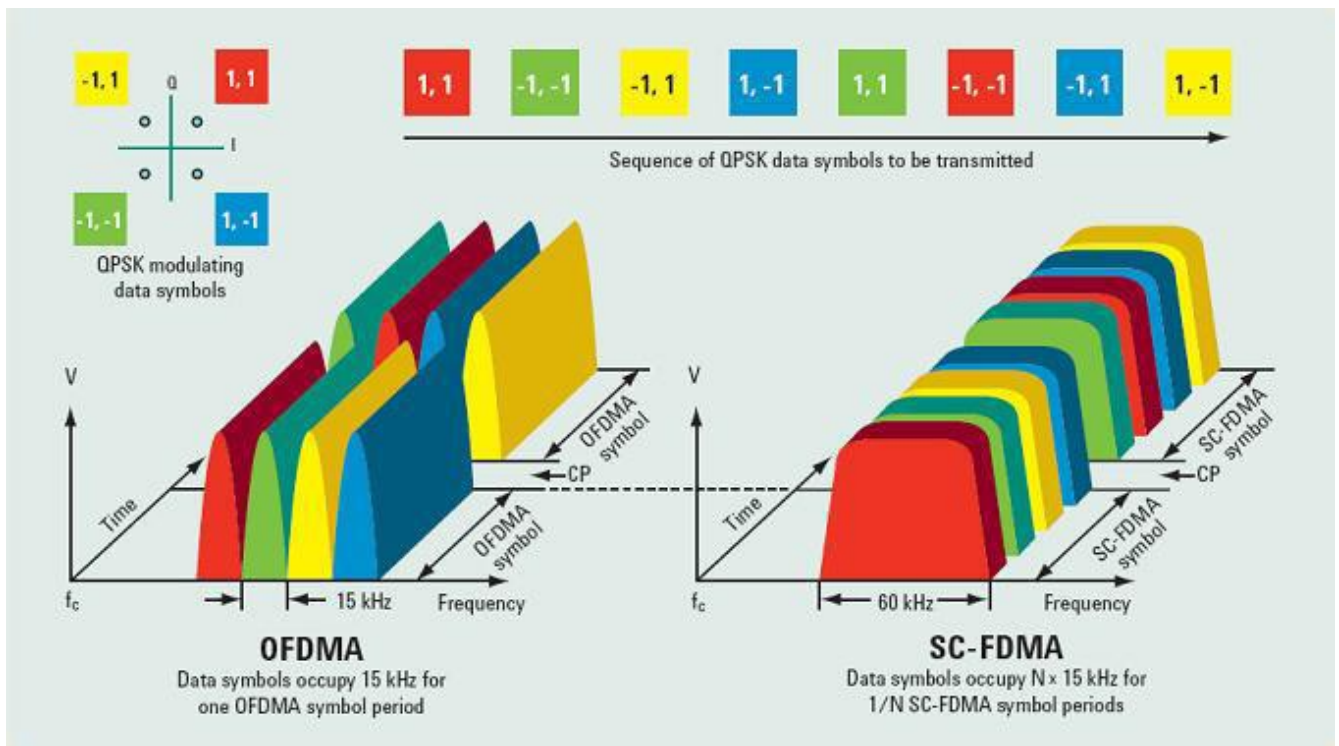
1. 1.4 MHz
2. 3 MHz
3. 5 MHz
4. 10 MHz
5. 15 MHz
6. 20 MHz

LTE subnešliai yra 15 kHz atstumu vienas nuo kito. Kiekvienas subnešlys gali perduoti duomenis maksimalia 15 ksps (kilosimboliai per sekundę) sparta. Iš to seka, kad 20 MHz kanalo maksimali simbolių perdavimo sparta yra 18 Msps. Taigi naudojant 64QAM, kanalo duomenų perdavimo sparta yra 108 Mbps. Tai yra didesnė sparta, nei nurodyta LTE specifikacijoje, tačiau specifikacijoje yra nurodoma duomenų sparta atmetus kodavimo ir valdymo elementus (Ang. *Overheads*).

Naudojant OFDM galima naudoti 3 moduliacijos rūšis LTE signalui:

1. QPSK (= 4QAM) 2 bitai per sekundę
2. 16QAM 4 bitai per sekundę
3. 64QAM 6 bitai per sekundę

Konkreči moduliacijos rūšis yra pasirenkama atsižvelgiant į situaciją, žemesnės moduliacijos rūšys (QPSK) nereikalauja tokio didelio signalo ir triukšmo santykio (SNR), tačiau tada neįmanoma duomenų išsiųsti taip greitai. Tik tada, kai yra pakankamai auštas signalo ir triukšmo santykis, yra naudojama aukštesnės eilės moduliacija (64QAM).



4 pav. OFDMA ir SC-FDMA moduliacijų palyginimas[8].

3.2 SC-OFDM

Aukštalinei kryptčiai LTE tinkle yra naudojama kitokia OFDMA forma, SC-FDMA[9].

Vienas svarbiausių parametrų mobiliuose įrenginiuose yra baterijos veikimo trukmė. Nors ir baterijų techniniai parametrai gerėja, tačiau kad mobilieji įrenginiai naudotų kuo mažiau baterijos galios. RF galios stiprintuvas perduodamas per anteną signalą į bazinę stotį yra daugiausiai galios vartojantis elementas mobiliajame įrenginyje, todėl reikia pasirūpinti, kad jis veiktų kuo efektyviau. Tai gali būti žymiai paveikta radijo dažnio moduliacijos formos ir signalo formato. Signalams, kurių amplitudės ir vidutinės galios santykis (PAPR) sustiprinti, naudojant OFDM, reikia daug energijos, todėl mobiliuose įrenginiuose yra naudojama SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiplex), kas yra hibridinis formatas. Tai sujungia mažą PAPR, kuris būdingas vieno nešlio sistemoms, ir atsparumą interferencijoms, bei lankstų subnešių dažnių paskirstymą, kas yra būdinga OFDM.

3.3 CP

Tam, kad siunčiami duomenys nebūtų veikiami tarpsimbolinės interferencijos yra naudojami cyclic prefix, CP. Cyclic prefix yra laiko tarpas kiekvieno duomenų simbolio pradžioje ir pabaigoje. Signalo gavėjas tada iš CP priimti signalą optimaliu metu ir išvengti tarpsimbolinės interferencijos, sukeltos atspindžių, kurie yra vėlinami CP laiko trukmę.

CP trukmė yra svarbus jo trukmė. Jei jo trukmė yra per trumpa, tada nėra išvengiama atspindžių sukeliamas tarp simbolinė interferencija. Jei trukmė yra per ilga, tada sumažėja duomenų pralaidos talpa. LTE normali CP trukmė yra pasirinkta 4.69 μ s. Tada simbolio trukmė yra 66.7 μ s, tačiau tokią trukmę galima naudoti tada, kai atstumas iki bazinės stoties yra iki 1,4 km. Tokia CP trukmė puikiai tinka urbanizuotoms vietovėms, atokesnėse vietovėse yra naudojamas ilgas CP. Jo trukmė yra 16.67 μ s ir jis naudojamas atstumuose iki 5 kilometrų.

Žemalinkėje kryptyje subnešliai yra išskirstyti į resursų blokus. Tai leidžia sistemai išskaidyti informaciją standartiniam subnešlių skaičiui. Resursų blokai susidaro iš 12 subnešlių, nepriklausomai nuo visos LTE kanalo pralaidos. Resursų blokai užima vieną vietą laiko rėme (ang. *time frame*). Tai reiškia, kad skirtingos pralaidos LTE signalai, turės skirtingą resursų blokų skaičių.

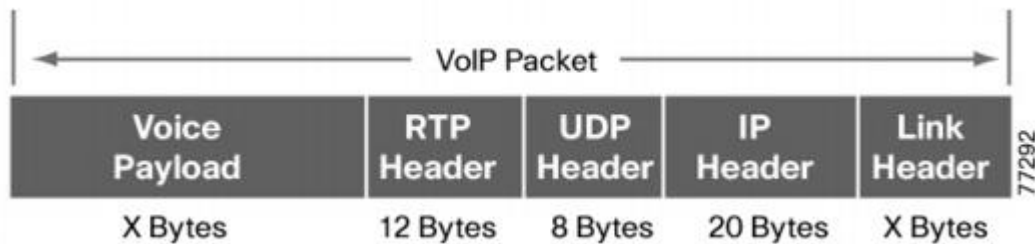
1 lentelė. LTE kanalų pločiai ir resursų blokų skaičiai.

Kanalo plotis (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Resursų blokų skaičius	6	15	25	50	75	100

5. Balso paslaugų perdavimas LTE tinkle

4.1 VoIP

VoIP (ang. *Voice over IP*) yra technologija leidžianti perduoti balsą internetiniuose tinkluose. Balsas yra išskaidomas į paketus ir siunčiamas tinklu. LTE tinkle VoIP paketai yra panašiai kaip ir duomenų paketai, todėl nėra užtikrinama gera balso perdavimo kokybė. VoIP kokybė labai priklauso nuo duomenų perdavimo spartos ir paketų vėlinimo laiko. Kadangi duomenų perdavimo kokybė labai priklauso nuo duomenų perdavimo spartos, siekiama sumažinti perduodamų duomenų dydį, todėl VoIP antraštės (ang. *Headers*) nėra naudingos, nes jos užima gan daug duomenų. Taip pat VoIP galima perduoti tik tada, kai yra pasiekiamas LTE tinklas ir galimybė perduoti balso perdavimo paslaugą UMTS ar GSM technologijai yra neįmanoma, todėl pradėta ieškoti alternatyvos balso perdavimui LTE tinkle ir buvo nuspręsta naudoti VoLTE technologiją.



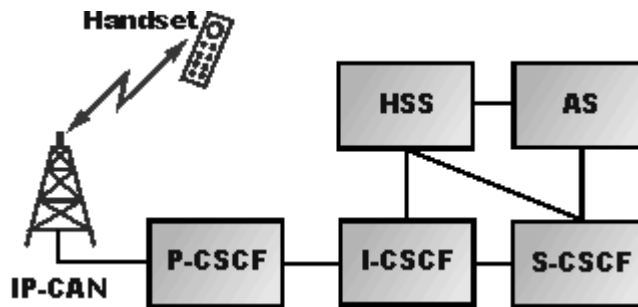
5 pav. VoIP paketo struktūra[10].

4.2 VoLTE.

VoLTE technologija susideda iš šių dalių:

- *IP-CAN IP, Connectivity Access Network*: Tai sudaro EUTRAN ir MME.
- *P-CSCF, Proxy Call State Control Function*: P-CSCF yra tarpininkas tinkle. Visi SIP (Ang. Session Initiation Protocol) signalai iš ir į vartotoją keliauja per P-CSCF, nesvarbu ar tai namų ar lankomas tinklas.
- *I-CSCF, Interrogating Call State Control Function*: I-CSCF yra naudojamas persiūsti visus SIP kreipinius į S-CSCF, kai siuntėjas nežino kuris S-CSCF turi gauti signalą.
- *S-CSCF, Serving Call State Control Function*: S-CSCF atlieka įvairias funkcijas visoje sistemoje ir igalina sąsajas komunikuoti su kitomis sistemos dalimis.
- *AS, Application Server*: Tai yra serveris, kuris visas balso paslaugas valdo kaip aplikaciją.

- *HSS, Home Subscriber Server*: yra duomenų bazė, kuri kontroliuoja su vartotoju susijusią informaciją.



6 pav. *VoLTE tinklo supaprastinta struktūra*[11].

VoLTE skambučiai yra apdorojami S-CSCF vartotojo namų tinkle. Vartotojas su S-CSCF yra sujungimas per P-CSCF. Priklausomai nuo naudojamo tinklo ir jo vietos visame tinkle P-CSCF keisis.

VoLTE yra keliamas papildomas reikalavimas. VoLTE turi sugebėti perduoti skambutį į Circuit switched technologiją visiškai nepastebimai vartotojui, turint tik vieną radijo perdavimo sistemą mobiliame įrenginyje, siekiant saugoti baterijos budėjimo trukmę, tai yra vadinama SRVCC (ang. *Single Radio Voice Call Continuity*)[12].

4.3 VoLTE ir VOIP skirtumai

VoLTE pasižymi geresnės kokybės balso perdavimu, nei VOIP[13][14]. Taip greitesniu skambučių sujungimo laiku lyginant su VOIP, bei su GSM ir UMTS. Tačiau teoriškai VoLTE technologijoje turėtų būti didesnis nepavykusių skambučių skaičius (ang. *Call Drops*). Eksperimentiniais duomenimis VoLTE mažiau apkrauna mobiliojo įrenginio bateriją, todėl tai pailgina baterijos budėjimo trukmę[15]. Norint naudotis VoLTE reikia naudoti šią technologiją palaikančius įrenginius, kurių rinkoje šiuo metu yra mažai, tačiau jų skaičius sparčiai didėja. VoLTE susiduria su dar viena didele problema, šiuo metu nėra galimybės skambinti tarp skirtingų mobilių operatorių, todėl vartotojai gali naudoti šią technologiją tik savo operatoriaus tinkle, tačiau yra ieškomi sprendimai šiai problemai išspręsti. Taip pat mobilieji operatoriai susiduria su problema, kaip apmokestinti klientus, kadangi VoLTE naudoja mobilius duomenis, todėl reikia ieškoti sprendimų, kaip atskirai skaičiuoti mobilius duomenis, naudojamus paketiniams duomenims gauti ir atliekant VoLTE skambučius.

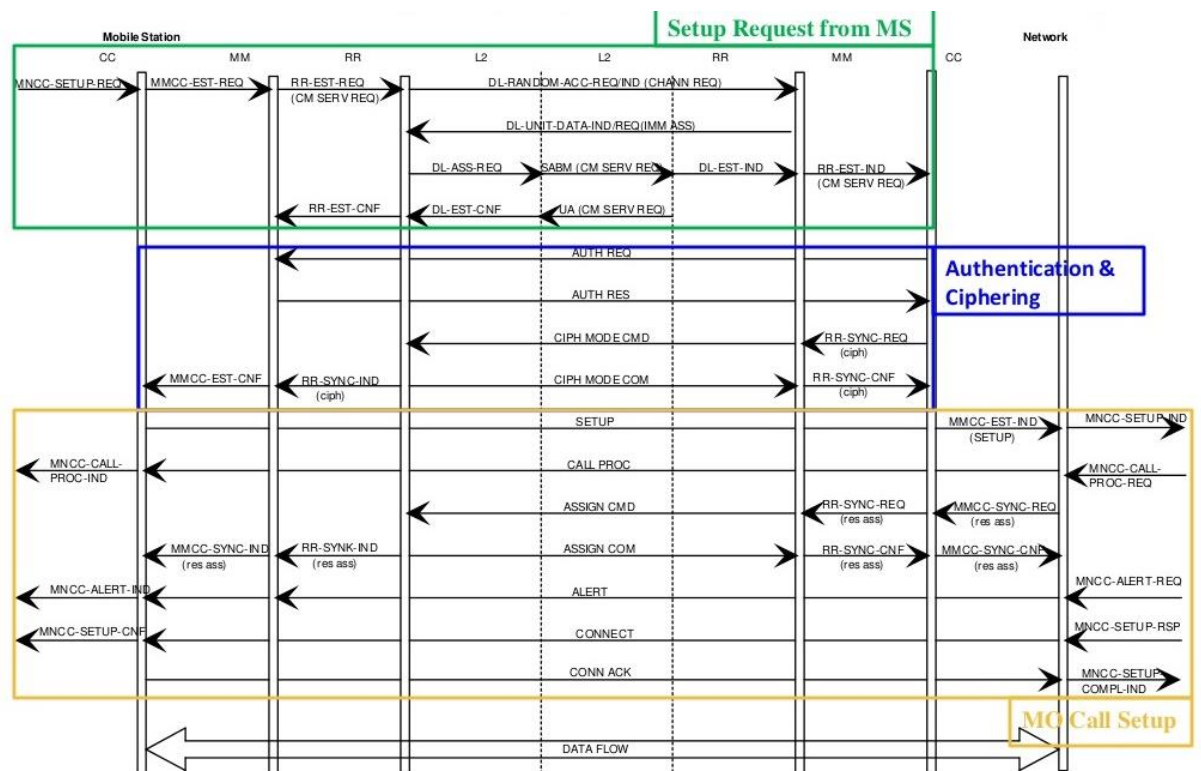
VoLTE techniškai yra tobulesnė technologija nei VOIP, tačiau dėl išvardintų priežasčių mobilūs operatoriai dar nėra įdiegę šios paslaugos Lietuvoje.

6. Skambučių sujungimai

Baltijos ir Skandinavijos šalyse skambučiai yra atliekami naudojant GSM (ang. *Global System for Mobile Communications*) arba UMTS (ang. *Universal Mobile Telecommunications System*). Kadangi tai yra 2 skirtingos technologijos, tai skambučių sujungimo procesai vyksta kitaip, todėl sujungimo trukmės ir skiriasi. Kuriant VoLTE paslaugas buvo siekiama supaprastinti visą skambučio sujungimo procesą ir taip sutrumpinti skambučio sujungimo trukmę. Dabar panagrinėkime kaip įvyksta skambučio sujungimas GSM, UMTS ir VoLTE technologijose.

5.1 GSM skambutis

Vartotojui A surinkus numerį ir paspaudus skambinimo mygtuką, telefonas į bazinę stotį siunčia užklausą dėl radijo resursų kanalo RR (ang. *Radio Resource*). Telefonas laukia atsako iš bazinės stoties. Bazinė stotis atsiunčia patvirtinimą RR užklausiai, bei joje nurodo dažninę ir laikinę informaciją, pagal kurią mobilusis aparatas siųs kitas užklausas bazinei stočiai. Mobilusis aparatas, pagal gautą informaciją suderina savo dažnį ir laikinę informaciją, bei siunčia tai patvirtinantį pranešimą bazinei stočiai. Bazinė stotis patvirtina šią informaciją. Mobilusis aparatas susijungė su bazine stotimi.



6 pav. GSM skambučio sujungimo struktūra[16].

MSC (ang. *Mobile Switching Center*) siunčia mobiliam aparatui tapatybės patvirtinimo užklausą, o mobilusis aparatas atsako į ją. Po autentifikavimo MSC užšifruoja skambutį, tam, kad jo nebūtų galima pasiklausyti.

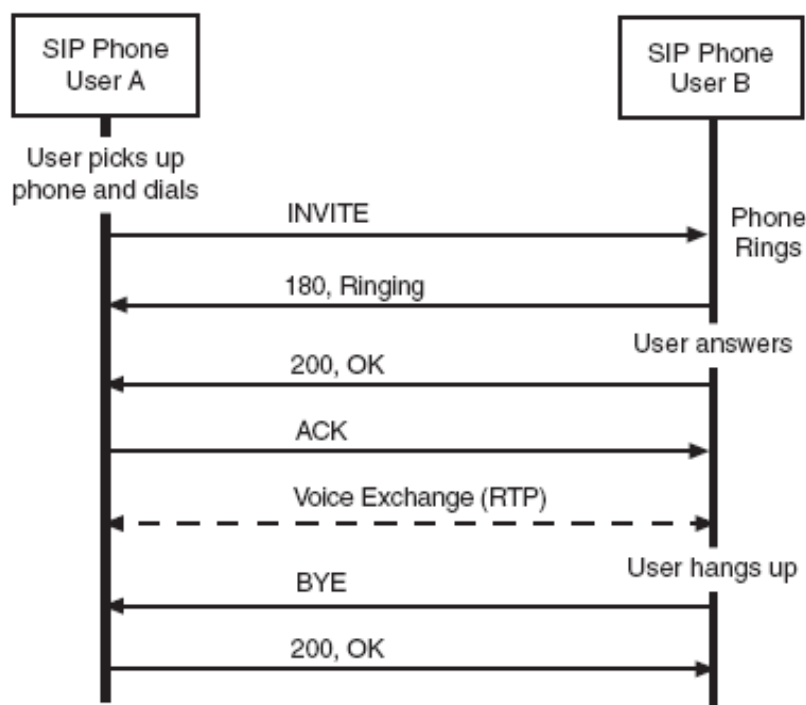
Užšifravus skambutį mobilusis aparatas MSC siunčia balso skambučio sujungimo žinutę, kurioje nurodomas surinktas telefono numeris ir kita reikalinga informacija sujungimui. MSC savo duomenų bazėje suranda vartotoją B pagal suteiktus duomenis. MSC susijungia su B klientą aptarnaujančia bazine stotimi, o bazinė stotis su vartotoju B. Mobiliajam įrenginiui A yra atsiunčiamas pranešimas, kad kanale nebus perduodami signalai, o balso paslauga. Bazinei stočiai susijungus su vartotoju B, vartotojas A išgirsta pranešimo garsą. Vartotojui B atsiliėpus, nustojamas transliuoti sujungimo garsas ir prasideda pokalbis tarp vartotojų A ir B[17].

5.2 UMTS skambutis

UMTS skambučio sujungimo schema yra pateikiama priede. UMTS skambučio sujungimas pradedamas, kai vartotojas A pareikalauja RRC (Ang. *Radio Resource Connection*) prisijungimo. RNC patvirtina RRC užklausą ir priskiria srauto kanalą. Mobilusis A siunčia CM Service Request užklausą. Gavus šią užklausą, RNC užmezga ryšį su tinklo branduoliu. Tarp mobiliojo A ir RNC prasideda autentifikavimo procesas. Mobilusis A siunčia savo IMSI (ang. *International Mobile Subscriber Identity*). Tinklo branduolys siunčia šifravimo komandas į RNC. RNC siunčia RRC Security Command užklausas į mobilųjį A. Mobilusis A pritaiko gautus šifravimo raktus. Tinklo branduolys patvirtina mobiliojo A užklausą dėl skambučio mobiliajam B. Tinklo branduolys kreipiasi į mobilųjį B valdantį RNC. RNC užmezga ryšį su mobiliuoju aparatu B. Tinklo branduolys siunčia RAB (ang. *Radio Access Bearer*) užklausą į RNC ir joje nurodo tinklo kokybės parametrus QoS. RNC patvirtina, kad gavo šią užklausą. Tada A vartotojas yra pranešamas apie sėkmingą ryšio užmezgimą su vartotoju B ir yra laukiama, kada vartotojas B atsiliėps. Vartotojui B atsiliėpus, pokalbis yra pradedamas[18].

5.3 VoLTE skambutis

Nagrinėdami VoLTE skambučio sujungimą, darome prielaidą, kad abu mobilieji aparatai yra prisijungę prie LTE tinklo. Skambučio sujungimas pradedamas, kaip mobilusis aparatas A siunčia REGISTER užklausą į P-CSCF. P-CSCF persiunčia REGISTER užklausą į I-CSCF. I-CSCF gauna informaciją iš HSS kuris S-CSCF turi tvarkyti REGISTER užklausą. Kadangi mūsų nagrinėjamame atvejuje I-CSCF reikalauja mobiliojo aparato autentifikavimo, tai ši žinutė yra atmetama. Mobilusis aparatas gauna informaciją, kad jo užklausa buvo atmesta ir pagal gautą žinutę sukuria naują REGISTER žinutę su užkoduotu tekstu. Dabar I-CSCF patvirtina telefono užklausą ir siunčia INVITE užklausą mobiliam aparatui B. Standartiniu atveju telefonas neprašo autentifikavimo dėl užklausų, kurios pasiekia jį. I-CSCF mobiliam aparatui A siunčia 180 RINGING žinutę ir praneša, kad yra pasiektas mobilusis aparatas B. Mobilusis B atsiliepia į skambutį ir yra siunčiama žinutė 200 OK. Skambutis yra pradedamas. Skambutį nutraukus vienam iš mobilių aparatų, kitam yra siunčiamas BYE pranešimas ir pokalbis yra baigiamas[19].



7 pav. VoLTE skambučio sujungimo struktūra[20].

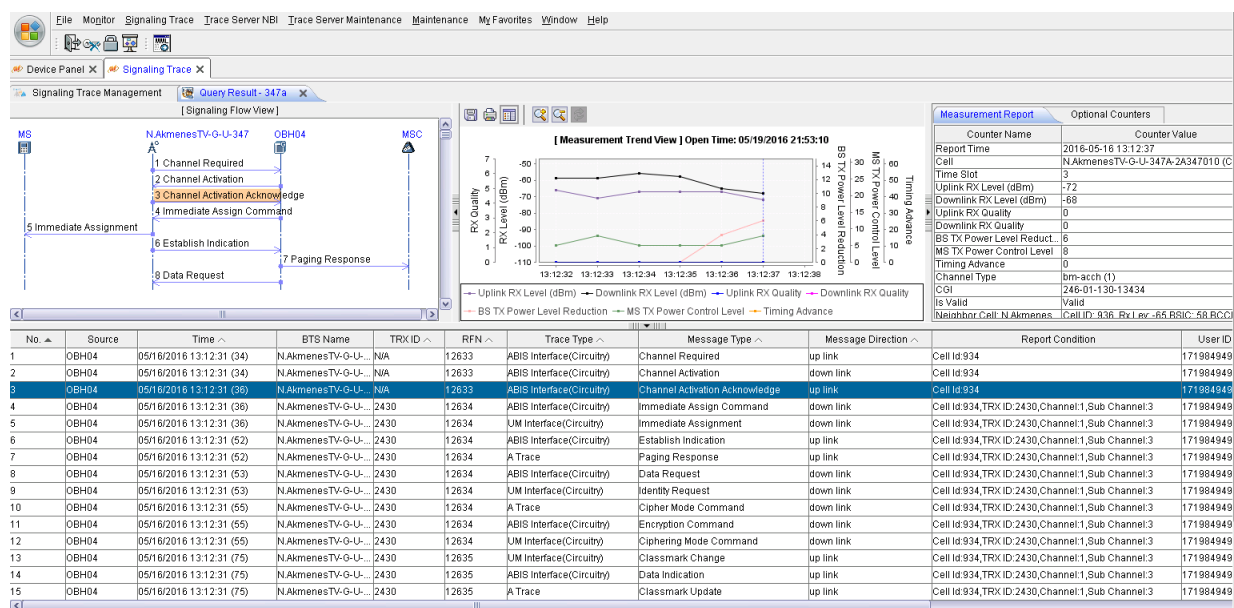
LTE tinklu yra perduodami tik paketiniai duomenys. Kadangi kiekviena perduodama paslauga skiriasi nuo kitos, joms yra taikomi tam tikri kokybės reikalavimai QoS (ang. *Quality of service*). QoS yra skirstoma į klases (2 lentelė). Tai užtikrina gerą balso ir vaizdo paslaugų perdavimą, bei mobiliems operatoriams leidžia skirtingai apmokestinti tam tikrą vartotoją, priklausomai nuo jo QCI (ang. *QoS Class Identifier*), kas yra taikoma verslo klientams. QCI yra skirstomi pagal paketų prioritetą, vėlinimą ir leistinus nuostolius. Tai pat jie yra skirstomi pagal tai, ar jiems reikia garantuoto duomenų srauto – GBR (ang. *Guaranteed bit rate*) ar ne – Non-GBR. VoLTE skambučio sujungimo žinutėms yra priskiriama prioriteto reikšmė 1. Tai užtikrina gerą ir greitą skambučių sujungimą[19].

2 lentelė. QoS klasių skirstymas LTE tinkle[21].

QCI	Bearer Type	Priority	Packet Delay	Packet Loss	Example
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	VoIP call
2		4	150 ms	10^{-3}	Video call
3		3	50 ms		Online Gaming (Real Time)
4		5	300 ms	10^{-6}	Video streaming
5	Non-GBR	1	100 ms		IMS Signaling
6		6	300 ms		Video, TCP based services e.g. email, chat, ftp etc
7		7	100 ms	10^{-3}	Voice, Video, Interactive gaming
8		8	300 ms	10^{-6}	Video, TCP based services e.g. email, chat, ftp etc
9		9			

7. Tyrimo metodika

GSM ir UMTS skambučių duomenys buvo matuojami atliekant skambučius iš LG Nexus 5 mobiliojo aparato į Huawei Honor 4X mobiliųjį aparatą. Matavimai buvo atliekami abiem telefonams būnant GSM arba UMTS technologijų režimuose. Tuo metu programa Huawei U2000 buvo stebimos LG Nexus 5 siunčiamos žinutės į tinklo valdiklį (ang. *Radio Network Controller*). Atliekant matavimus GSM technologijoje buvo matuojama trukmė tarp žinutės „Channel Required“ ir „Alerting“. Programos langas rodomas 9 pav.



9 pav. GSM žinučių stebėjimas Huawei U2000 programoje.

UMTS technologijos matavimuose viskas vyko analogiškai, tačiau dėl skirtingos žinučių siuntimo struktūros buvo matuojama trukmė tarp žinučių „RRC_RRC_CONNECT_REQ“ ir „RANAP_DIRECT_TRANSFER“, tačiau tik tarp tos, kuri yra gaunama po „NBAP_RL_SETUP_RSP“, kadangi „RANAP_DIRECT_TRANSFER“ žinutės sujungimo metu yra siunčiamos kelis kartus, tai paėmę ne tą reikšmę gausime netikslingus rezultatus. Imant šias reikšmes matuojama trukmė tarp telefono A siunčiamos užklauso į bazinę stotį ir telefono B pradėjimo skambėti.

VoLTE matavimai buvo atlikti buvo atliekami Norvegijoje naudojant 2 Samsung Galaxy S5 mobiliuosius aparatus, kurie palaiko VoLTE funkciją. Mobilieji aparatai buvo gabenami automobiliu ir iš vieno telefono buvo atliekami 2 minučių trukmės skambučiai į kitą ir naudojama Nemo Inxex 7.61 ir Nemo Outdoor 7.61 programinė įranga. Vėliau duomenys buvo apdorojami Nemo Analyze programa.

Tada buvo skaičiuojama trukmė tarp SIP žinučių INVITE ir 180 Ringing. Kadangi matavimai Lietuvoje ir Norvegijoje buvo atliekami Huawei mobiliuose tinkluose, tai bazinės stotys naudoja tokią pačią įrangą ir rezultatai išvengia paklaidų dėl skirtingo kitų gamintojų įrangos veikimo.

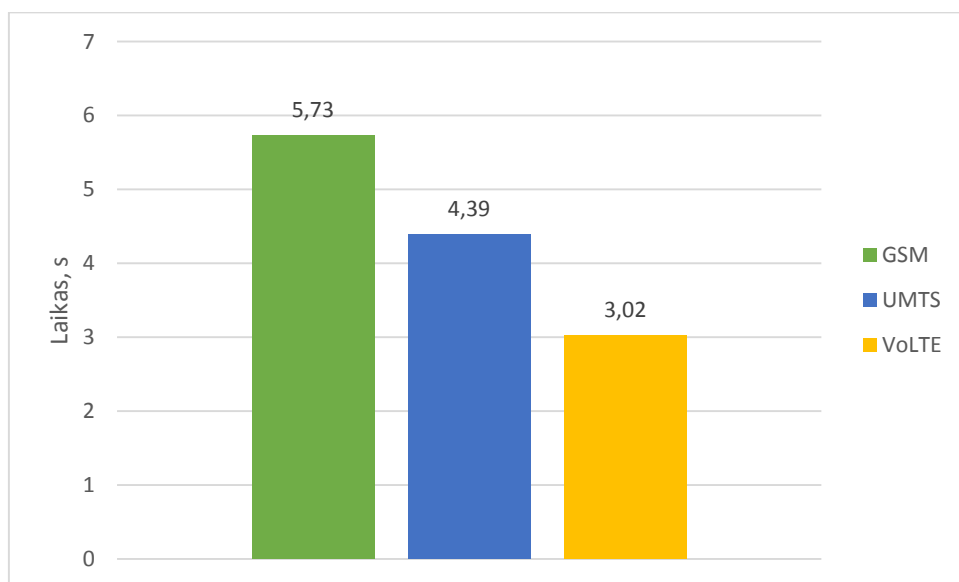
The screenshot shows the Nemo Analyze software interface. The top menu bar includes File, View, Tools, Utilities, Commander, Layout, Grid, and Help. The toolbar contains icons for Measurement Workspace, Folder, Workspace Workbook, Organize, Project manager, Menu editor, Settings, Image as map, Settings Workbook to file, and Export to image. The workspace area is divided into two main sections: Measurements and Parameters. The Measurements section shows a list of folders and a search bar. The Parameters section shows a list of parameters. The main table displays SIP messages with columns for Event ID, System, Transf. dir., Time, and Message name.

Event ID	System	Transf. dir.	Time	Message name
154.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:04:19.092 422 Session Interval Too Small
155.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:04:19.139 ACK
156.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:04:19.340 INVITE
157.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:04:19.540 100 Trying
158.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:04:21.247 180 Ringing
159.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:04:21.649 200 OK
160.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:04:21.729 ACK
161.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:06:21.546 BYE
162.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:06:22.021 200 OK
163.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:06:38.883 REGISTER
164.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:06:39.081 200 OK
165.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:06:39.091 NOTIFY
166.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:06:39.381 200 OK
167.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:07:12.883 INVITE
168.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:07:13.027 422 Session Interval Too Small
169.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:07:13.027 ACK
170.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:07:13.239 INVITE
171.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:07:13.439 100 Trying
172.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:07:15.137 180 Ringing
173.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:07:15.421 200 OK
174.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:07:15.543 ACK
175.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:09:15.376 BYE
176.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:09:15.692 200 OK
177.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:10:06.493 INVITE
178.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:10:06.612 422 Session Interval Too Small
179.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:10:06.612 ACK
180.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:10:06.812 INVITE
181.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:10:07.012 100 Trying
182.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:10:07.453 180 Ringing
183.	SIPSM	LTE FDD	Downlink	16:10:07.943 200 OK
184.	SIPSM	LTE FDD	Uplink	16:10:08.203 ACK

10 pav. Trukmių tarp SIP žinučių matavimas Nemo Analyze programoje.

8. Rezultatai

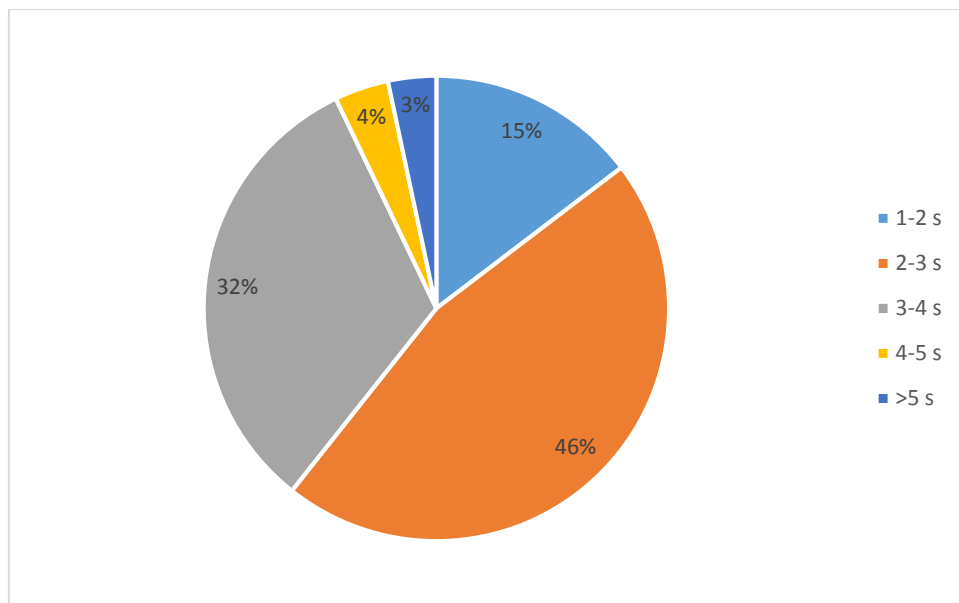
GSM ir UMTS technologijose buvo skaičiuota 50-ies skambučių sujungimo laikai, o VoLTE – 250-ies. Iš gautų rezultatų matome, kad VoLTE skambučių sujungimo trukmė yra trumpiausia ir trunka vidutiniškai tik 3,02 sekundės (11 pav.). UMTS skambučio sujungimas vidutiniškai truko 4,39 sekundės, GSM – 5,73 sekundės. Nors VoLTE skambučių vidutinė sujungimo trukmė ir yra trumpiausia, tačiau skambinant šia technologija buvo užfiksuotos ir ilgiausios sujungimo trukmės, kelių skambučių sujungimų trukmė siekė net 15 sekundžių. Taip įvyko dėl to, kad mobilieji aparatai judėjo sujungimo metu ir juos pradėjo tuo metu aptarnauti kita bazinė stotis. Naudojant VoLTE technologiją 61% skambučių buvo sujungti greičiau nei per 3 sekundes, su nei viena kita technologija nei vienas skambutis nebuvo sujungtas greičiau nei per 3 sekundes.



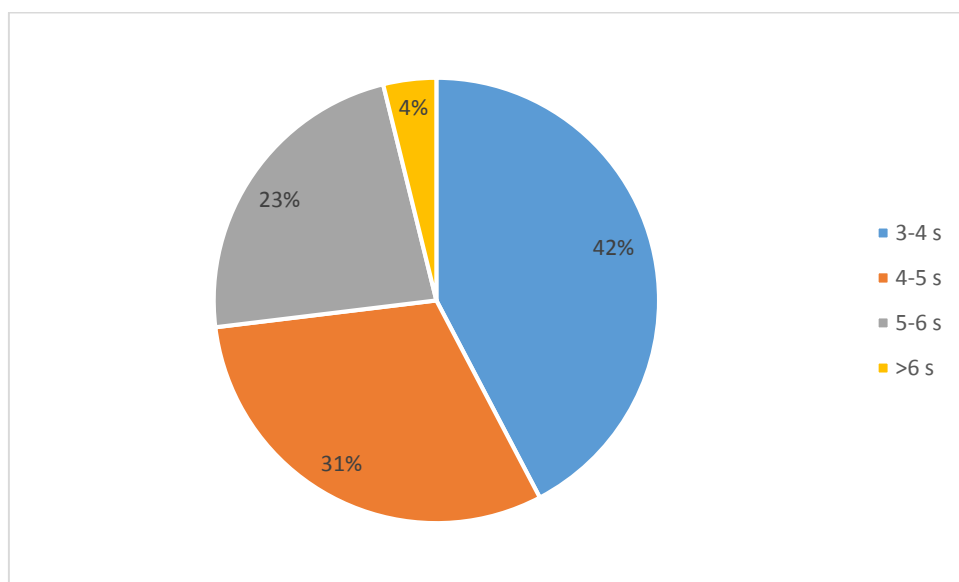
11 pav. Vidutinė skambučių sujungimo trukmė.

Nors naudojant VoLTE buvo pasiekti patys geriausi sujungimo laikai, tačiau atliekant skambučius šia technologija buvo daugiausiai nepavykusių skambučių. Tik 97,15 % skambučių pavyko. Taip įvyko todėl, kad buvo matuojama miesto teritorijoje, todėl daugumoje bazinių stočių buvo naudojama LTE 2600 technologija. Ši technologija pasižymi didžiausia sparta, tačiau ir mažiausia teritorijos aprėptimi. Taigi skambučio sujungimo metu keičiantis aptarnaujančiais bazinėmis stotimis ir LTE dažniui skambučiai buvo dažniausiai nesėkmingi. Atliekant GSM ir UMTS matavimus nebuvo nei vieno nesėkmingo skambučio, todėl buvo paimta visų skambučių atliktų Omnitel tinkle gegužės 4 dieną šiomis technologijomis. Nors gal ir nėra visiškai tikslinga lyginti testavimų rezultatus su „gyvo“ tinklo rezultatais, tačiau paleidus VoLTE technologiją ja naudosis labai maža vartotojų dalis, nes mobilieji

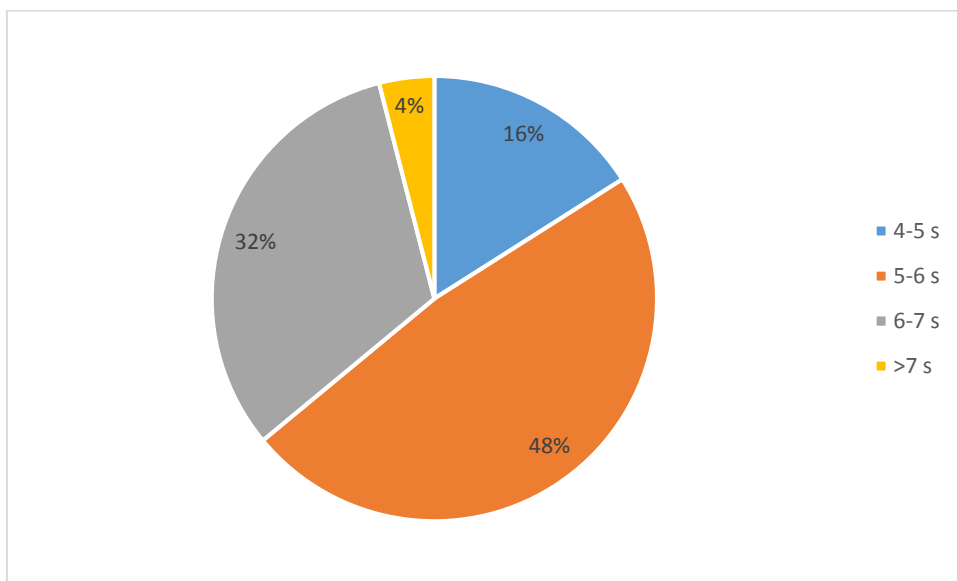
aparatai turi palaikyti VoLTE funkciją ir VoLTE skambučiai galimi tik tame pačiame tinkle. Dėl šių priežasčių galime daryti prielaidą, kad paleidus VoLTE technologiją komerciniam naudojimui, jos rezultatai bus panašūs į testų rezultatus. Skambučių sujungimo santykio neatitikimą lemia kiek ir kokia technologija skambučių buvo atlikta tam tikrų bazinių stočių ribose. Skambučių nesujungimai dažnai įvyksta bazinėse stotyse pasienyje (ypač prie Baltarusijos ir Rusijos sienų), dėl skirtingų naudojamų dažnių ir kitokių sveikatos reikalavimų, todėl įmanoma, kad kaimyninių šalių bazinės stotys Lietuvos teritorijoje spinduliuoja galingiau nei Lietuvos operatorių bazinės stotys.



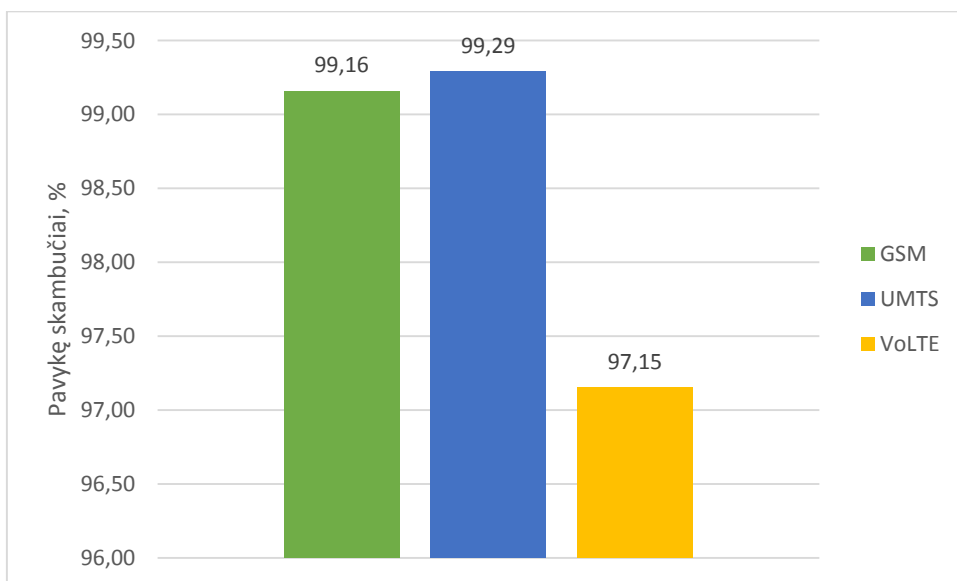
12 pav. *VoLTE skambučių sujungimo trukmių pasiskirstymas.*



13 pav. *UMTS skambučių sujungimo trukmių pasiskirstymas.*



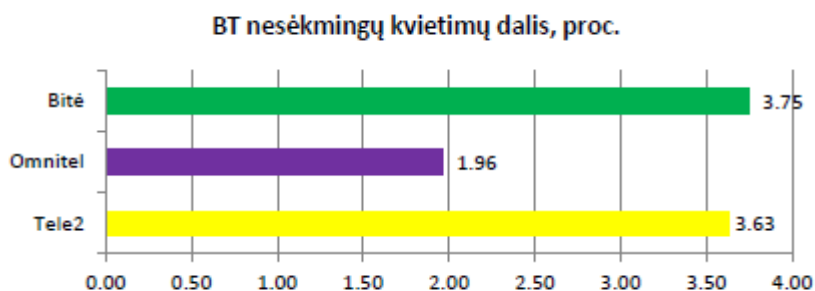
14 pav. GSM skambučių sujungimo trukmių pasiskirstymas.



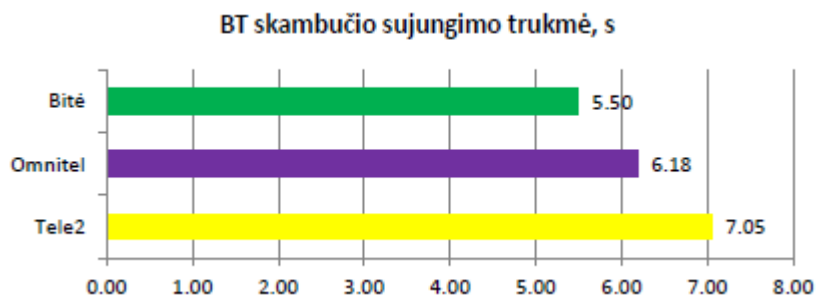
15 pav. Sujungtų ir visų atliktų skambučių santykis procentais..

2016 metų balandžio mėnesį RRT (Ryšių Reguliavimo Tarnybos) pateiktuose duomenyse Omnitel tinkle iš atliktų skambučių, tik 1,96 % buvo nesėkmingi, o tuo tarpu Bitės ir Tele2 tinkle buvo nesėkmingi 3,63 ir 3,75 procentų visų atliktų skambučių. Taigi atlikti VoLTE testiniai rezultatai yra geresni už kitų operatorių veikiančio GSM ir UMTS tinklo charakteristikas.

RRT gautuose rezultatuose vidutinė skambučio sujungimo trukmė Omnitel tinkle yra 6,18 sekundės[22]. Tai skiriasi nuo mano gautų rezultatų, nes mano rezultatuose trukmės buvo matuojamos tinklo branduolyje. RRT atliktuose matavimuose yra atsižvelgiama ir radijo tinklo įtaką skambučio sujungimui. Tokiu atveju skambučio sujungimo trukmė taip pat priklauso ir nuo mobiliųjų telefonų atstumo iki bazinės stoties.



16 pav. RRT matavimų nepavykusių skambučių dalis procentais[22].



17 pav. RRT matavimų skambučių sujungimo vidutinės trukmės[22].

9. Išvados

- VoLTE skambučiai atitinka 3GPP specifikacijoje nurodytus reikalavimus.
- Iš atliktų matavimų nustatyta, kad VoLTE skambučio sujungimo trukmė 90 % trumpesnė nei GSM skambučio ir 45 % trumpesnė, nei UMTS skambučio.
- VoLTE skambučiai yra 2 % dažniau nesujungiami, o to priežastis yra bazinių stočių, aptarnaujančių mobilųjį aparatą, pasikeitimas.
- RRT rezultatuose sujungimo trukmės yra didesnės, nes RRT atsižvelgia į tinklo radijo dalį.

10. Literatūra

1. Quick LTE guide. Priega per internetą:
<http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_quick_guide.htm.>
2. 3GPP TS 36-Series. Priega per internetą: <<http://www.3gpp.org>>.
3. PAISAL, Vaishali. *Seamless Voice over LTE*. Samsung India Software Operation Pvt Limited.
4. ELNASHAR, Ayman; EL-SAIDNY, Mohamed; SHERIF, Mahmoud. *Design, Deployment and Performance of 4G-LTE Networks: A Practical Approach*. Wiley, 2014. 608 p. ISBN: 978-1-118-68321-7.
5. *LTE Network Architecture*. Strategic White paper, Alcatel-Lucent.
6. Priega per internetą: < <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core>>.
7. SAUTER, Martin. *From GSM to LTE-Advanced: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband, Revised Second Edition*. Wiley, 2014. 456 p. ISBN: 978-1-118-86195-0.
8. Priega per internetą: < <http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/LTE/radio.htm>>.
9. DUTTA, Aveek; NORTON, Dave; XIAO, Jun. "3GPP Long Term Evolution", ECEN 5692 Mini Project.
10. Priega per internetą: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/physical-security/ip-interoperability-collaboration-system/prod_white_paper0900aecd805f7726.html>.
11. Priega per internetą: <<http://www.radio-electronics.com/info/cellular/telecomms/lte-long-term-evolution/voice-over-lte-volte.php>>

12. WU, Wei; CHOI, Noun. *Providing voice service continuity in Evolved Packet Systems*. Research in motion, Ltd.
13. “From Voice over IP to Voice over LTE”, NSN White paper, November 2013.
14. “Voice Quality Testing with POLQA”, White paper, Rohde&Schwarz.
15. FOWLER, Scott; BHAMBER, Ranjeet S.; MELLOUK, Abdelhamid. *Analysis of Adjustable and Fixed DRX Mechanism for Power Saving in LTE/LTE-Advanced*.
16. Priega per internetą: <<http://www.slideshare.net/LouisKHKuo/elementary-procedures-for-circuit-switched-cs-call-control-cc-in-3-gpp>>.
17. Priega per internetą: <http://www.eventhelix.com/RealtimeMantra/Telecom/GSM_Originating_Call_Flow.pdf>.
18. Priega per internetą: <<http://www.3g4g.co.uk/Tutorial/ZG/Mocs>>.
19. POISELKA, Miikka; HOLMA, Harri; KALIO, Juha; TOSKALA, Antti. *Voice over LTE (VoLTE)*. Wiley, 2012. ISBN: 978-1-119-95168-1.
20. Priega per internetą: <https://www.dialogic.com/webhelp/MSP1010/10.2.3/WebHelp/MSP_DG/Basic_SIP_Operation.htm>.
21. Priega per internetą: <<http://4g-lte-world.blogspot.lt/2013/01/quality-of-service-qos-in-lte.html>>.
22. *2015 metų viešojo judriojo telefono ryšio paslaugų kokybės rodiklių įvertinimo ataskaita*. Ryšių Reguliavimo Tarnyba. Priega per internetą: <<http://www.rrt.lt/lt/apzvalgos-ir-ataskaitos/viesuju-judriojo-telefono-rj7y.html>>.

11. Summary

VoLTE voice services simulation in LTE network

Karolis Matulevičius

One of the biggest selling point of Voice over LTE (VoLTE) is quality of sound, but mobile service providers also want to make VoLTE the best consumer experience, so they try to improve call setup rate and reduce call setup time. The main purpose of this thesis is to measure call setup time in VoLTE and also in legacy technologies (GSM and UMTS). Call setup time for GSM and UMTS calls was made by making calls between two mobile devices in the same area and tracing call setup messages. VoLTE measurements was done by having 2 phones in car and making call while moving to take into account phones handover.

12. Priedai

11.1 UMTS skambučio sujungimo schema

