

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Eimantas Jatkonis

GSM tinklo abonentų vietos duomenų srautų tyrimas

Magistro darbas

Darbo vadovas:
R. Pleštys

Kaunas, 2006

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Eimantas Jatkonis

GSM tinklo abonentų vietos duomenų srautų tyrimas

Magistro darbas

Kalbos konsultantė

Lietuvių k. katedros lekt.
J. Mikelionienė

2006 05 25

Vadovas

prof. R. Pleštys

2006 05 29

Recenzentas

doc. P. Kanapeckas

2006 05 29

Atliko

IFM-0/2 gr. studentas
Eimantas Jatkonis

2006 05 29

Kaunas, 2006

Santrauka/Summary

GSM tinklo abonentų vietos duomenų srautų tyrimas

Šiame darbe atlikta GSM tinklo mobiliųjų objektų buvimo vietos duomenų srautų tyrimas. Informacijos srautai tirti šiuose tinklo mazguose: BTS, BSC, MSC ir HLR. Tyrimo metu nustatyta duomenų pasiskirstymas paros bėgyje, pasiskirstymų įtaka tinklo komponentams, galimybės surinkti visų abonentų vietos informaciją ir ją saugoti vėlesniam panaudojimui. Pagrindinis tyrimo tikslas - pateikti nurodymus Europos sąjungos ST15449 direktyvos realizavimui egzistuojančiuose GSM tinklo operatorių tinkluose.

Statistinė informacija apie srautų pobūdį pateikė realaus Lietuvoje veikiantis GSM operatoriaus. Eksperimentai atlikti naudojant GSM tinklo srautų emuliatorių. Emuliatoriui buvo suprojektuoti ir realizuoti patobulinimai būtini duomenų srautų tyrimams.

Analizės metu nustatyta ir atlikus eksperimentus pagrįsta, kad GSM tinklo abonentų vietos informacijos srauto vidutinis pasiskirstymas paroje ir srauto pokyčiai mažiausiai įtakoja BSC komponentą. Duomenų kaupimo funkcionalumą siūloma realizuoti BSC komponentuose.

GSM network's subscribers' location dataflow analysis

Location dataflow analysis of mobile objects in GSM network is performed in this project. Dataflow are analyzed in these network nodes: BTS, BSC, MSC, and HLR. During research it is analyzed how data flows changes during day period, how these changes influence network nodes. The possibilities to gather and store data about subscribers' location are explored. The main target of this project is to set guidelines for implementation of European Union directive ST15449 in real GSM networks.

Statistic data about data flow types is supplied by real GSM network operator. Experiments were performed using emulator of GSM network data flows. Additional features necessary for analysis were specified and implemented.

After analysis it is determined that lowest impact of location dataflow is for BSC component. It is proposed to implement any location data gathering device in BSC nodes.

Turinys

1	Iyadas	9
2	Abonentų vietos duomenys	12
2.1	Vietos duomenų gavimo metodai	12
2.2	Vietos duomenų srautai	13
2.2.1	Pranešimų perdavimo protokolai	14
2.2.2	Būtinų kaupti duomenų kiekio įvertinimas	15
	Vietos duomenų saugojimo problemos	15
2.2.3	Apibendrinimas	17
2.3	Esami sprendimai	18
2.3.1	Esamų sprendimų taikymo galimybės	20
3	Vietos duomenų perdavimas tinkle	21
3.1	Pranešimų sekos	21
3.2	Tinklo mazgų sudaromi vietos duomenų srautai	25
3.2.1	MS	25
3.2.2	BTS	25
3.2.3	BSC	27
3.3	Reikalavimai srautų analizei	29
4	GSM tinklo duomenų srautų emuliatorius	30
4.1	Emuliatoriaus panaudojimo privalumai	30
4.1.1	Panaudojimo atvejai	31
4.2	Realizacijos aspektai	31
4.3	Emuliatoriaus taikymo ribotumai	33
4.4	Architektūra	33
4.4.1	Pranešimų kodavimas ASN.1	33
4.5	Emuliatoriaus taikymai atsitiktinių srautų tyrimams	34
5	Duomenų generavimas	36
5.1	Duomenų srautų pasiskirstymas	36

5.1.1	Verslo rajone	36
5.1.2	Gyvenamajame rajone	37
5.2	Statistinių duomenų generavimas	37
5.2.1	Puasono diskretusis skirstinys	37
6	Srautų tyrimo eksperimentai	39
6.1	Eksperimento paruošimas	39
6.2	Rezultatai	39
6.2.1	MS srautai	39
6.2.2	BTS srautai	40
6.2.3	BSC srautai	41
6.2.4	MSC srautai	42
6.2.5	HLR srautai	42
6.3	Rezultatų palyginimas	43
6.4	Įrangos įrengimas	43
7	Išvados	45
A	Terminų ir santraukų žodynas	48
B	Direktyva	49
B.1	4 straipsnis	49
B.2	7 straipsnis	51
B.3	7a straipsnis	51
C	SS7 signalizacijos sekų diagramos	53
C.1	Radijo kanalai	53
C.2	Šifravimas	54
C.3	Įrangos identifikacija	55
C.4	TMSI rezervacija	56
C.5	Skambučio pradžia ir pabaiga	56
C.6	MS paieška (<i>paging</i>)	57
D	GSM tinklo emuliatorius	58
D.1	Panaudojimo atvejai	58

Iliustracijų sąrašas

1	GSM tinklo struktūra ir lokacija tinklo pagalba	10
2	Vietos duomenų gavimo metodai	12
3	Vietos informacijos srautai	13
4	OSI lygmenys	14
5	MAP protokolo taikymai	14
6	Duomenų kiekio priklausomybė nuo laiko	17
7	Duomenų kiekio priklausomybė nuo kaupimo laikotarpio	18
8	MSL sistemos architektūra	19
9	Pranešimų seka MS įjungiant į tinklą	22
10	Pranešimų seka skambinant	23
11	Pranešimų seka priimant kvietimą	24
12	Pranešimų seka siunčiant SMS	25
13	Emuliuojamų komponentų ir jų sąsajų schema	31
14	Emuliatoriaus veiklos kontekstas	31
15	Panaudojimo atvejų diagrama	32
16	Sistemą sudarančių paketų diagrama	34
17	Sistemos išdėstymo diagrama	35
18	Vienos verslo rajono celės duomenų srautų ir skambučių kiekio procentinis pasiskirstymas paroje	36
19	Vienos miegamojo rajono celės duomenų srautų ir skambučių kiekio procentinis pasiskirstymas paroje	37
20	Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš MS	40
21	Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš BTS verslo rajone	40
22	Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš BTS miegamajame rajone	41
23	Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš BSC	41

24	Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš MSC	42
25	Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas į HLR	42
26	Duomenų kaupimo įrenginio įrengimas prie kiekvieno BSC	43
27	Duomenų kaupimo įrenginio įrengimas prie HLR	44
28	Kontrolinio radijo kanalo rezervavimo įvykių seka	53
29	Duomenų radijo kanalo rezervavimo įvykių seka	53
30	MS autorizavimo įvykių seka	54
31	Šifruoto režimo įjungimo įvykių seka	54
32	Šifruoto režimo išjungimo įvykių seka	55
33	Identifikavimo įvykių seka	55
34	TMSI rezervacijos įvykių seka	56
35	Skambučio pradžios įvykių seka	56
36	Skambučio pabaigos įvykių seka	56
37	MS paieškos įvykių seka	57

Lentelės

2.1	Esamų sistemų palyginimas	20
3.1	Paketo sandara su MS paieškos rezultatais	26
3.2	Paketo sandara su vietos duomenų atnaujinimo reikalavimu	26
3.3	Paketo sandara su paslaugų reikalavimu	27
3.4	CL3I paketo sandara su MS paieškos rezultatais	27
3.5	CL3I paketo sandara su vietos duomenų atnaujinimo reikalavimu	28
3.6	CL3I paketo sandara su paslaugų reikalavimu	29
D.1	Tinklo komponentų prijungimas prie modelio (taip pat atjungimas)	58
D.2	Komponentų darbo inicijavimas ir darbo nutraukimas	58
D.3	Pozicijos nustatymas naudojant Cell-ID metodą	59
D.4	Pozicijos nustatymas kombinuojant Cell-ID ir TA metodus	59
D.5	Pozicijos informacijos atnaujinimas GSM tinkle naudojant specialiai suformuota SMS	60
D.6	Pozicijos informacijos atnaujinimas GSM tinkle naudojant nutrauktą skambutį	60
D.7	Poveikis paslaugų kokybei padidinus/sumažinus sąsajų tarp tinklo mazgų pralaidumą	61
D.8	Poveikis paslaugų kokybei padidinant/sumažinant mazgų skaičių	61
D.9	Ribinių pralaidumų matavimas ir optimalios GSM tinklo struktūros formavimas	62
D.10	Judančių mobiliųjų objektų grupių duomenų generavimas	62
D.11	Judančių mobiliųjų objektų pavienių duomenų generavimas	63
D.12	Duomenų išankstinė optimizacija vėlesnei analizei	63

1. Įvadas

Darbo pagrindinis tikslas yra ištirti GSM tinklo mobiliųjų objektų vietos duomenų srautus. Srautai tiriami siekiant įvertinti vietos duomenų srautų apimtį priklausomybę nuo duomenų paėmimo vietos tinkle ir nustatyti duomenų kiekius reikalingus saugoti.

Tokia analizė reikalinga siekiant įgyvendinti Europos sąjungos direktyvą ST15449 „Dėl duomenų, tvarkomų teikiant viešąsias elektroninių ryšių paslaugas, saugojimo“. Šiame darbe taip pat pateikti nurodymai Europos sąjungos direktyvos realizavimu esamuose GSM tinkluose. Direktyvos ištrauka pateikiama priede B.

Vietos nustatymas naudojantis GSM tinklu

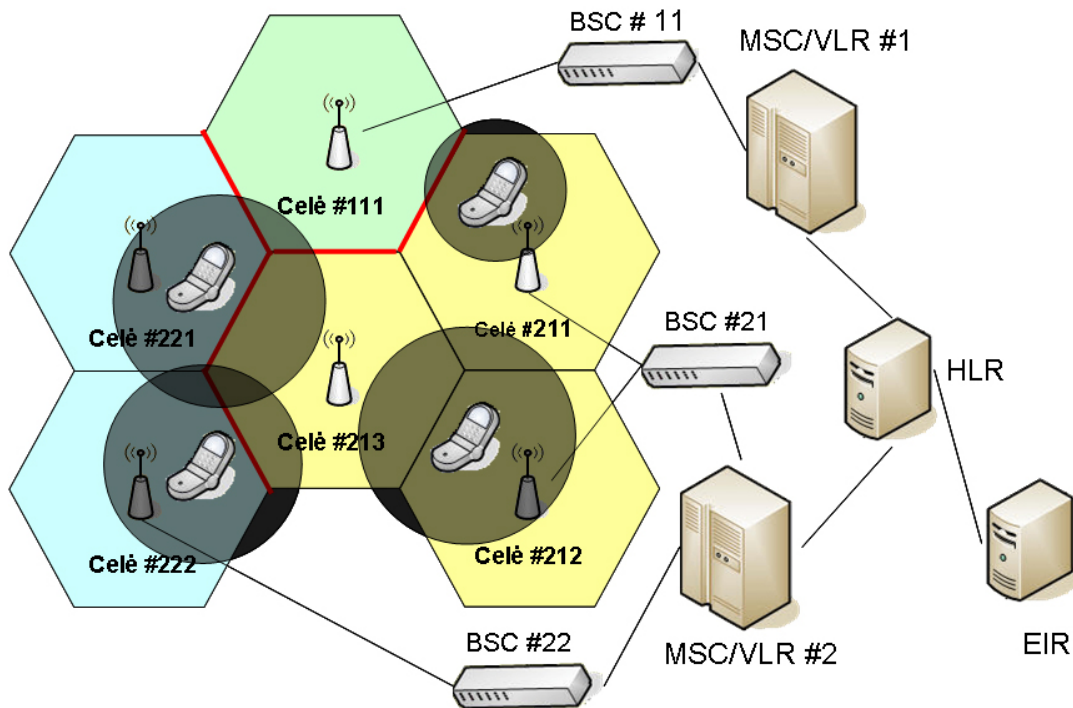
GSM tinklai skirti balso ir duomenų perdavimui. Ryšiui užtikrinti kiekvienam abonentui nustatoma bazinė stotis, per kurią abonentai sujungiami su tinklu. Tokiu būdu, tinkle yra informacija apie abonentų vietą, kuri naudojama tik vidiniuose tinklo komponentuose ir padeda užtikrinti korektišką sistemos veikimą. Ši informacija gali būti panaudota papildomų paslaugų teikimui.

GSM tinkle (2.0, 2.5 ir 2.75 versijose) yra galimybė išgauti informaciją apie abonto buvimo vietą ir ją pateikti vartotojui. GSM tinklo standartai numato vienos bazinės stoties aprėpties zoną, kurios spindulys yra iki 35 km. Didelio abonentų tankio vietose aprėpties zonos spindulys gali būti sumažintas iki 50m (kai bazinė stotis pastatų viduje).

GSM tinklas susideda iš hierarchiškai sujungtų sistemos elementų kaip pavaizduota 1 pav. Tinklo pagrindą sudaro HLR (*Home Location Register*, namų vietos registras), keletas MSC (*Message Switching Center*, pranešimų perjungimo centras), keli BSC (*Base Station Controller*, bazinių stočių valdiklis), BTS (*Base Transceiver Station*, bazinė siuntimo/gavimo stotis) ir kiekvieno abonto turimi MS (*Mobile Station*, mobilioji stotis - telefonas).

Galimybė nustatyti GSM tinkle esančio telefono vietą ir masinis telefonų paplitimas, sukūrė palankią situaciją naujoms mobiliųjų objektų lokacijos paslaugoms kurti. Kaip pagrindinius šios paslaugos taikymus galima išskirti šiuos:

- Europos sąjungos ST15449 direktyvos realizavimas. Joje nurodoma registruoti ir atitinkamoms tarnyboms pareikalavus pateikti informaciją apie abonentų buvimo vietą ryšio metu;



1 pav. GSM tinklo struktūra ir lokacija tinklo pagalba

- Taip vadinamos "112" paslaugos teikimas, kai įstatyminės bazės ribose reikalinga surasti pagalbos besikreipiančio žmogaus lokaciją;
- Įvairūs pramoginiai/tiksliniai taikymai orientuoti į individualų vartotoją (tėvai domisi vaikų vieta, draugas domisi kitų draugų buvimo vieta etc.);
- Komerciniai taikymai orientuoti į firmas ir įmones (transporto srautų nagrinėjimas ir stebėjimas);
- Reklaminiai taikymai (žinant kur yra abonentas galimi atitinkami reklaminiai pasiūlymai);
- Žmonių srautų stebėjimas siekiant užtikrinti reikalingą tinklo plėtrą.

Tikslingai projektuotos pozicionavimo sistemos, kaip GPS, gali pasiekti centimetro dalių tikslumą [1]. Tačiau tokios sistemos reikalauja papildomų investicijų ir rezultatų tikslumas perteklinis aukščiau paminėtiems taikymams.

Tikslas ir uždaviniai

Europos sąjungos ST15449 direktyvoje nurodyta paimti iš tinklo ir kaupti duomenis apie abonentų buvimo vietą ryšio metu. Norint įgyvendinti direktyvos nurodymus realiame GSM tinkle susiduriama su problemomis:

- Vietos duomenys sudaro didelius srautus perduodamus tarp tinklo mazgų;
- Paimtų duomenų kaupimui gali reikėti techninės įrangos pajėgios saugoti keliasdešimt terabaitų duomenų;

Neteisingai parinktas direktyvos realizavimo būdas gali neigiamai įtakoti esamą tinklą ir teikiamų paslaugų kokybę. Siekiant parinkti teisingą metodą ir pasiekti darbo tikslą reikia išspręsti šiuos uždavinius:

- Išsiaiškinti, kuriose tinklo dalyse galima išgauti ir kaupti vietos duomenis;
- Parinkti būdus, užtikrinančius mažiausią vietos informacijos srautų įtaką esamo tinklo sąvybėms;
- Nustatyti investicijų dydžio priklausomybę nuo vietos duomenų paėmimo ir saugojimo būdo.

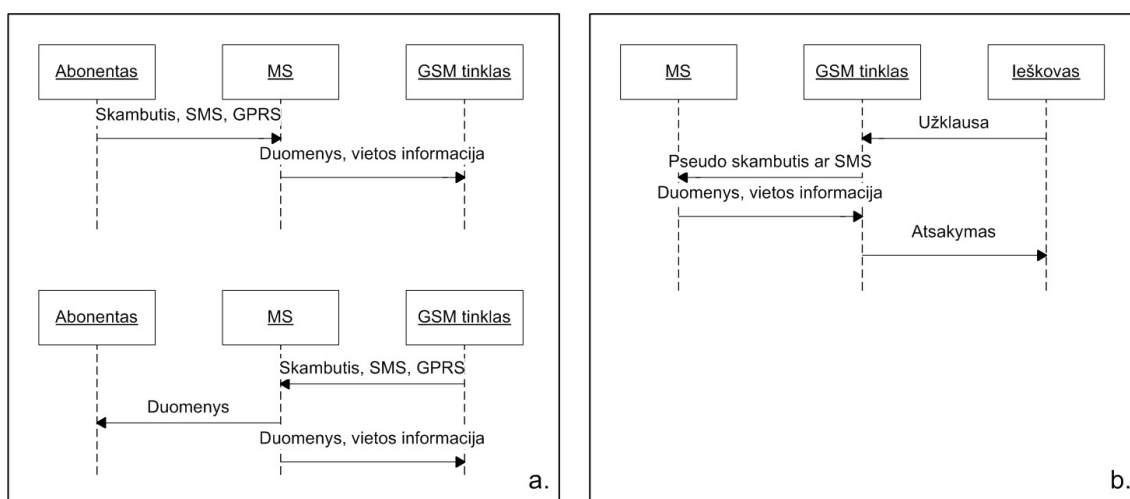
2. Abonentų vietos duomenys

Šiame skyriuje aprašyti bendriniai abonentų vietos duomenų gavimo būdai, esamų sprendimų apžvalga ir tinklo mazgų, iš kurių galima gauti vietos duomenis, analizė.

2.1 Vietos duomenų gavimo metodai GSM tinkle

GSM tinklo abonentų vietos informaciją galima gauti dviem metodais:

- MS aktyvavimasis skambučio ar duomenų perdavimo metu. Toks metodas nedidina esamos tinklo apkrovos. Informacija apie abonto buvimo vietą gali būti netiksli ir neatitikti realios abonto buvimo vietos. Galima naudoti visų abonentų vietos informacijai gauti. Principinė veiksmų seka pavaizduota 2 pav. a dalyje.
- Priverstinai aktyvuojant tinklo MS vietos duomenims gauti. Naudojant šį metodą didinama tinklo apkrova, bet gaunama naujausia informacija. Bandymas vienu metu gauti visu tinklo abonentų vietos duomenis gali pakenkti tinklo funkcionalumui. Principinė veiksmų seka pavaizduota 2 pav. b dalyje.

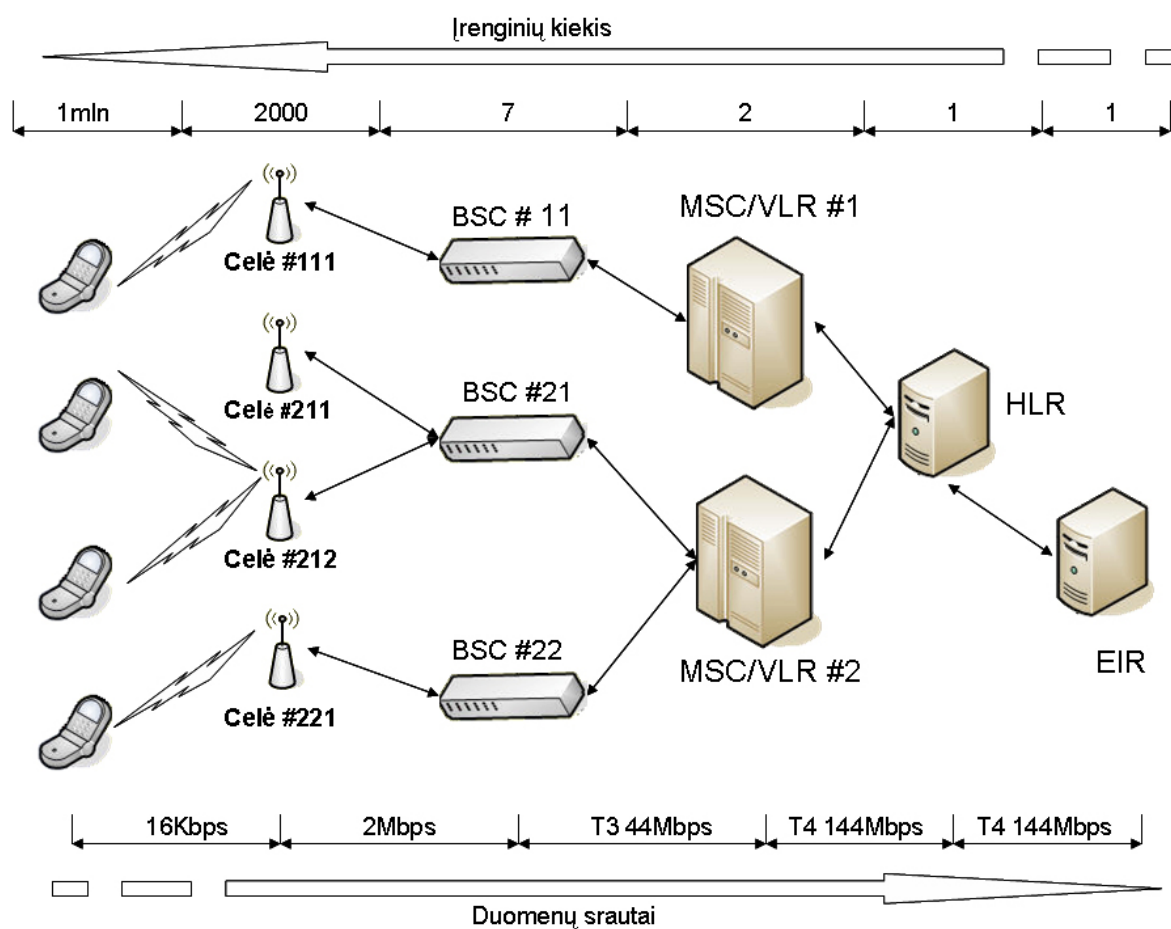


2 pav. Vietos duomenų gavimo metodai

Realizuojant Europos Sąjungos ST15449 direktyvą reikia registruoti vietos informaciją pokalbio arba duomenų perdavimo metu. Tokiems tikslams tikslinga naudoti pirmąjį metodą.

2.2 Vietos duomenų srautai

Informacija apie abonentų buvimo vietą perduodama per grandinę, pavaizduotą 3 pav. Vietos informacija perduodama tarp MS (mobilaus telefono) iki HLR.



3 pav. Vietos informacijos srautai

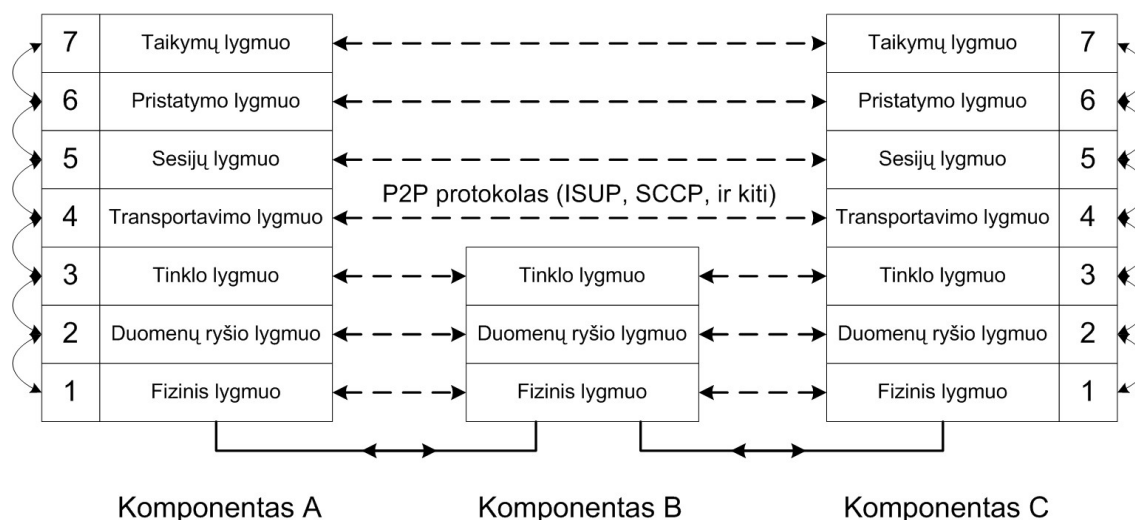
Tinklo pagrindą sudaro HLR (*Home Location Register*, namų vietos registras), keletas MSC (*Message Switching Center*, pranešimų perjungimo centras), keli BSC (*Base Station Controller*, bazinių stočių valdiklis), BTS (*Base Transceiver Station*, bazinė siuntimo/gavimo stotis) ir kiekvieno abonto turimi MS (*Mobile Station*, mobilioji stotis - telefonas).

Žemiausiame hierarchijos lygmenyje, kurį sudaro MS, yra daugiausia elementų. Aukštesniuose lygmenyse elementų kiekis mažėja.

Kiekvieno lygmens komponentai agreguoja jam perduodamų duomenų srautus iš žemesnio lygmens. Todėl aukštesniuose lygmenyse duomenų sąsajos didesnio pralaidumo.

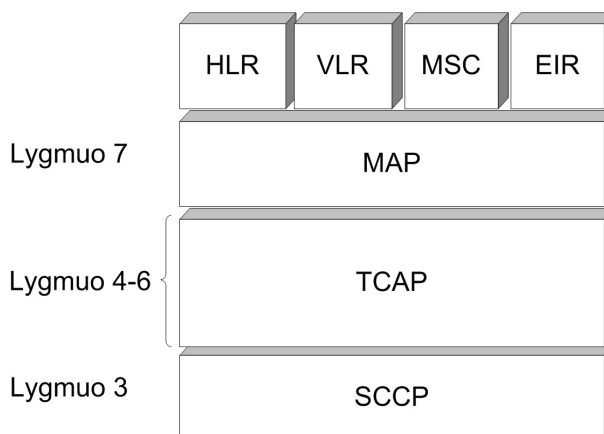
2.2.1 Pranešimų perdavimo protokolai ir jų apribojimai

Pranešimai tarp tinklo komponentų perduodami įvairiais protokolais - jų visuma sudaro septynių OSI lygmenų abstrakcija [10]. OSI lygmenys ir sąsajos tarp jų pavaizduotos 4 pav.



4 pav. OSI lygmenys

OSI yra teorinis modelis. GSM tinkle realizuota SS7 signalizavimo sistema, kuri realizuoja OSI lygmenis. SS7 fizinis ir duomenų ryšio lygmenys atitinka radijo kanalus ir kitas duomenų siuntimo terpes. Kiti lygmenys realizuoti skirtingais protokolais, kurie pavaizduoti 5 pav.



5 pav. MAP protokolo taikymai

Aukščiausiame lygmenyje naudojamas MAP protokolas. Šiuo protokolu perduodamus duomenis apdoroja MSC, HLR, VLR ir EIR tinklo komponentai. Taip pat yra sukurta papildoma techninė įranga, kurią galima prijungti prie tinklo ir ja apdoroti MAP protokolu gaunamus duomenis.

Žemesnių lygmenų protokolai yra sudėtingesni ir sunkiau prieinami ir apdorojami. Techninių galimybių trūkumas apdorojant žemesnių lygmenų protokolus riboja informacijos paėmimą iš BTS ir BSC tinklo komponentų.

2.2.2 Būtinų kaupiti duomenų kiekio įvertinimas

Per vieną MS komponentą pereinantis informacijos kiekis, susijusios su abonto buvimo vieta, yra mažiausia. Per vieną parą vidutiniškai susikaupia n_{MS} b duomenų:

$$n_{MS} = \left(I_{Skambutis} \cdot \left[1 + \frac{p_{Skambutis}}{100\%} \right] + I_{SMS} \cdot \left[1 + \frac{p_{SMS}}{100\%} \right] + I_{GPRS} + I_{LA} + I_{Auto} \right) \cdot D, \quad (2.1)$$

kur $I_{Skambutis}$ - vieno abonto vidutiniškai atliekamų skambučių kiekis per parą, $p_{Skambutis}$ - procentinė skambučių dalis atliekamų tame pačiame tinkle, I_{SMS} - vieno abonto vidutiniškai siunčiamų SMS kiekis per parą, p_{SMS} - procentinė siunčiamų tame pačiame tinkle SMS dalis, I_{GPRS} - vieno abonto vidutiniškai pasinaudojimo GPRS paslauga kiekis per parą, I_{LA} - vidutinis lokacijos zonų skaičius, kurias aplanko abonentas, I_{Auto} - savaime, kas nustatytą laiką, įvykstančių vietos informacijos atnaujinimų skaičius, D - vieno informacijos paketo dydis.

Remiantis „Ryšių reguliavimo tarnyba“ RRT [16] ir Lietuvos statistikos departamento [19] pateikta informacija apie 2005 metų IV ketvirtį, kiekvienas abonentas vidutiniškai atlieka $I_{Skambutis} \approx 3$ skambučius per parą, $I_{SMS} \approx 11$ SMS siuntimus, $I_{GPRS} \approx 1$ GPRS duomenų perdavimą, $I_{LA} \approx 0.5$ lokacijos zonų pakeitimų. Kiekviename GSM tinkle, atliekama $p_{Skambutis} = 63\%$ skambučių tinklo ribose ir $p_{SMS} = 51\%$ SMS siuntimų tinklo ribose. Standartiškai GSM tinkle nustatyta automatiškai atnaujinti vietos informaciją kas 2h, tada $I_{Auto} = 12$. Kiekvienam vietos duomenų paketui užkoduoti ASN.1 koduote reikia $D = 31$ b. Vienas MS komponentas sudaro $n_{MS} \approx 36$ Kb duomenų srautą per parą.

Per HLR komponentą pereinanti informacija, sudaro didžiausią srautą. Per vieną parą vidutiniškai susikaupia n_{HLR} b duomenų:

$$n_{HLR} = A * n_{MS}, \quad (2.2)$$

kur A - abonentų skaičius.

Remiantis RRT [16] pateikta informacija - kiekviename Lietuvos operatorių GSM tinkle vidutiniškai yra $A \approx 1,4$ mln abonentų. Visame tinkle perduodama $n_{HLR} \approx 35$ GB duomenų.

Abonentų vietos informacijos gavimą ir kaupimą galima atlikti įvairiuose tinklo mazguose, per kuriuos ji pereina. Mažesniame hierarchijos lygmenyje esančių komponentų yra daugiau, bet per juos siunčiamas mažas duomenų srautas, ir atvirkščiai aukštesniuose hierarchijos lygmenyse.

Vietos duomenų saugojimo problemos

Remiantis Europos sąjungos direktyva ST15449 vietos duomenys turi būti saugomi mažiausiai 6 mėnesius ir ne ilgiau kaip 2 metus. Per tokį laikotarpį susirenka didelis kiekis vietos duomenų.

Duomenų kiekis, dėl abonentų skaičiaus ir jų aktyvumo didėjimo, laikui bėgant kinta netiesiškai:

Abonentų kiekio dinamika išreiškiama:

$$A(t) = A(0) * \left(1 + \frac{A_{Kitimo\%}}{100\%}\right)^t, \quad (2.3)$$

kur $A(0)$ - pradinis abonentų skaičius, $A_{Kitimo\%}$ - mėnesinis abonentų skaičiaus didėjimas, t - laikas išreikštas mėnesiais.

Skambučių kiekio dinamika išreiškiama:

$$I_{Skambutis}(t) = I_{Skambutis}(0) * \left(1 + \frac{I_{SkambutisKitimo\%}}{100\%}\right)^t, \quad (2.4)$$

kur $I_{Skambutis}(0)$ - pradinis skambučių skaičius per mėnesį, $I_{SkambutisKitimo\%}$ - mėnesinis skambučių kiekio didėjimas, t - laikas išreikštas mėnesiais.

SMS kiekio dinamika išreiškiama:

$$I_{SMS}(t) = I_{SMS}(0) * \left(1 + \frac{I_{SMSKitimo\%}}{100\%}\right)^t, \quad (2.5)$$

kur $I_{SMS}(0)$ - pradinis SMS skaičius per mėnesį, $I_{SMSKitimo\%}$ - mėnesinis SMS kiekio didėjimas, t - laikas išreikštas mėnesiais.

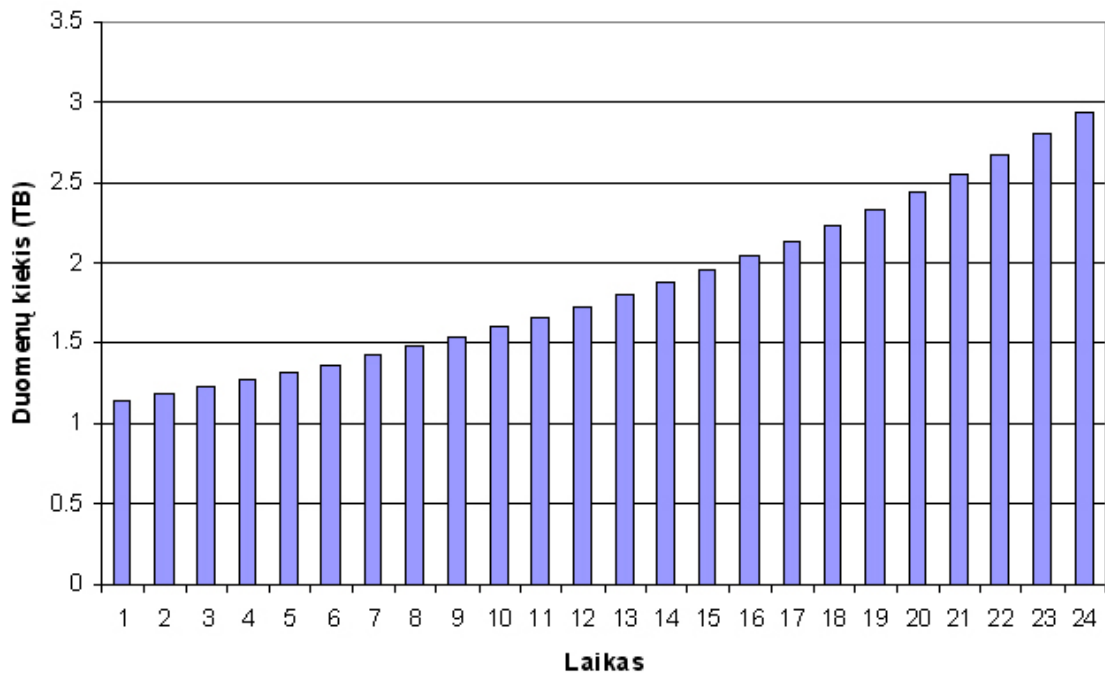
GPRS kiekio dinamika išreiškiama:

$$I_{GPRS}(t) = I_{GPRS}(0) * \left(1 + \frac{I_{GPRSKitimo\%}}{100\%}\right)^t, \quad (2.6)$$

kur $I_{GPRS}(0)$ - pradinis GPRS sujungimų skaičius per mėnesį, $I_{GPRSKitimo\%}$ - mėnesinis GPRS kiekio didėjimas, t - laikas išreikštas mėnesiais.

Statistikos departamento pateikti abonentų, atliekamų skambučių, persiunčiamų SMS kiekio didėjimo dėsningumai $A_{Kitimo\%} = 1,3\%$, $I_{SkambutisKitimo\%} = 3,3\%$, $I_{SMSKitimo\%} = 12,5\%$, $I_{GPRSKitimo\%} = 1,7\%$. Tada įvertinus (2.1), (2.3-2.6) gauname duomenų kiekio priklausomybę nuo kaupimo laikotarpio trukmės:

$$\begin{aligned} n_{HLR}(t) = & A(t) \cdot \\ & \cdot \left(I_{Skambutis}(t) \cdot \left[1 + \frac{p_{Skambutis}}{100\%} \right] + \right. \\ & + I_{SMS}(t) \cdot \left[1 + \frac{p_{SMS}}{100\%} \right] + \\ & \left. + I_{GPRS}(t) + I_{LA} + I_{Auto} \right) \cdot D, \end{aligned} \quad (2.7)$$



6 pav. Duomenų kiekio priklausomybė nuo laiko

kur I_{LA} - vidutinis lokacijos zonų pakeitimo skaičius per mėnesį, I_{Auto} - periodinių atnaujinimų kiekis per mėnesį.

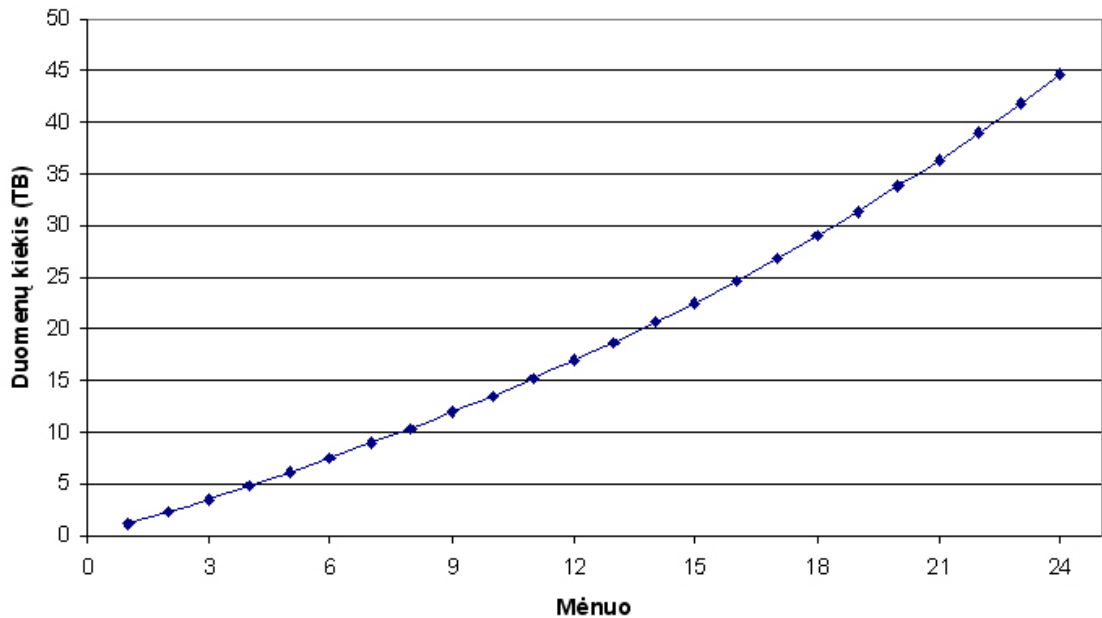
Ši priklausomybė grafiškai pavaizduota 6. Suintegravus (2.7) išraišką pagal laiką gauname kiek susikaupia duomenų per laikotarpį. Grafiškai pavaizduota 7 pav.

Tokiam duomenų kiekiui saugoti centralizuotoje sistemoje būtina speciali įranga. Taip pat reikia užtikrinti reikalavimus duomenų saugumui, kas padidina reikalavimus įrangai. Kaupiant duomenis žemesniame tinklo hierarchijos lygmenyje reikia mažesnio sudėtingumo įrangos, bet jos kiekis didėja, nes žemesnio lygmens komponentų yra daugiau.

2.2.3 Apibendrinimas

Paimant abonentų vietos duomenis skirtinguose tinklo mazguose susidaro skirtingo dydžio srautai. Siekiant nustatyti, kuriame tinklo mazge duomenų srautas mažiausias reikia išanalizuoti visus mazgus.

Mazgų sudaromus srautus galima įvertinti panaudojant teorinius modelius, tačiau reikia ir eksperimentais nustatytų rezultatų. Realus tinklo eksperimentams atlikti panaudoti negalima dėl riboto priėjimo. Tokiems eksperimentams atlikti yra sukurti programinės įrangos paketai ar GSM tinklo komponentai. Esamos programinės įrangos paketų ir GSM tinklo komponentų palyginimas pateiktas 2.3 skyriuje.



7 pav. Duomenų kiekio priklausomybė nuo kaupimo laikotarpio

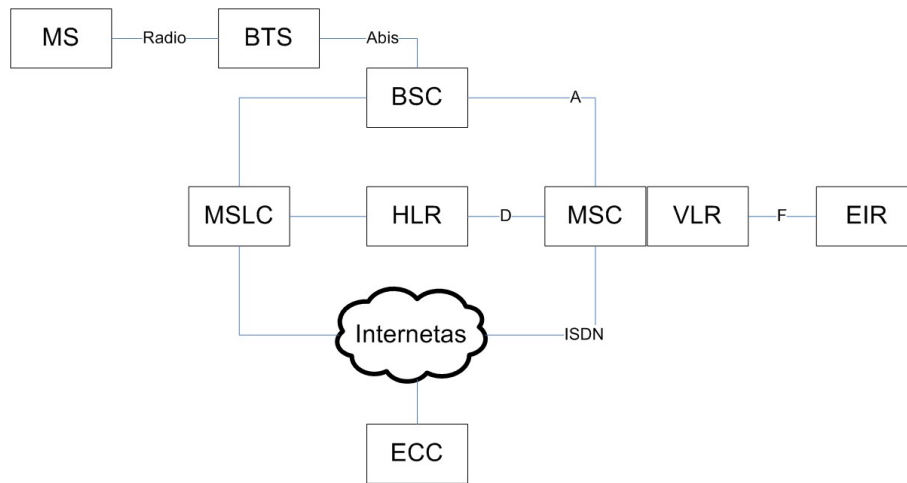
2.3 Esami sprendimai

Esamus sprendimus, susijusius su GSM tinklo abonentų vietos informacijos gavimu ir saugojimu, galima suskirstyti į dvi grupes:

- Aplikacijos. PĮ paketai, skirti duomenų srautų analizei ne realiu laiku. Skirtos tik teoriniams taikymams analizuojant sugeneruotus duomenis. Šiai kategorijai galima priskirti tokias sistemas kaip „*MSL*” [21], „*ReMoB*” [15];
- Realios sistemos. Tai sistemos kurios realizuotos kaip specialūs GSM tinklo įrenginiai, ar modifikuoti patys įrenginiai. Šiai kategorijai galima priskirti tokias sistemas kaip „*Fakhrul*” [2], „*Vanu*” [17], „*SS7 Analyzer*” [4].

MSL. MSL (Mobile Station Location) su tikslu specialiosioms tarnyboms sužinoti skambinančiojo buvimo vietą. Sprendimas yra pagrįstas įterpiant, į 2.5G versijos GSM tinklą, MSLC (Mobile Station Location Center) ir ECC (Emergency Call Center) modulius, pavaizduota 8 pav. Tokios sprendimo tinkamumas ištirtas sukuriant GSM tinklo ir siūlomų modelių simulatorius.

ReMoB. Tai WAP ir J2ME mobiliųjų paslaugų serverio ir kliento emuliatorius. Jame ignoruojama GSM tinklo kaip duomenų perdavimo tinklo vaidmuo ir realizuota tik galutinio vartotojo sąsajos. Tokių paslaugų analizei duomenų perdavimo terpė nėra pagrindinis veiksnys ir į jį



8 pav. MSL sistemos architektūra

galima neatsižvelgti. Vietoj GSM tinklo struktūros naudojama serverio/kliento struktūra sujungta TCP/IP protokolu. Simuliatorius parašytas JAVA kalba.

Fakhrul. 3G versijos GSM tinklo radijo ryšio simuliatorius. Skirtas įvertinti duomenų perdavimo klaidas didelės spartos radijo ryšyje. Kadangi tokio įvertinimo atlikimui reikalinga detali simuliacija - signalų lygmenyje, tai "*Fakhrul*" įgyvendintas naudojant "*MATLAB*", kuris turi tam pritaikytas signalų apdorojimo funkcijas. Nors "*Fakhrul*" gerai realizuoja 3G versijos GSM tinklo radijo sąsajų realistiškumą, nėra nė vieno tinklo modulio realizacijos.

Vanu. Tai BSC ir BTS modulių emuliacija pritaikoma realiame 2.5G versijos GSM tinkle. Šis sprendimas išoriniu požiūriu yra GSM tinklo dalies kopija ir gali veikti realiame tinkle. Programavimo kalba C++, moduliai atitinka visus GSM standartus, turi fizines sąsajas reikalingas pajungimui į GSM tinklą. Visa įranga dėl realumo yra tiek pat brangi kaip ir GSM tinklo įranga ir netinkama projektų vystymui.

SS7 Analyzer. Tai komponentas skirtas tinklams, kuriuose naudojama SS7 signalizacija. Sugeba perimti ir analizuoti įvairius protokolus naudojamus GSM tinkle (MAP, MTP1-3, SCCP, INAP ir kitus). Analizė atliekama realiu laiku arba naudojant užsaugotus duomenis, esant dideliems apkrautumams. Gali stebėti tarp kitų komponentų perduodamus paketus, juos filtruoti ir atrinkti reikiamus.

Šių sistemų palyginimas, atsižvelgiant į pagrindinius tikslus ir kokybės kriterijus, pateiktas lentelėje 2.1

2.1 lentelė Esamų sistemų palyginimas

	MSL	ReMoB	Fakhrul	Vanu	SS7 Analyzer
GSM versija	2.5G	2.5G	3G	2.5G	2.5G
Protokolai	Naudojama pseudo protokolai	-	-	Standartiniai BTS/BSC protokolai	SS7 signalizacijai priklausantys protokolai
Informacijos paėmimo komponentas	HLR	HLR, MSC	MS, BTS	BTS, BSC	HLR, MSC
Srautų analizė	-	-	-	Pavienių ir grupių	Pavienių ir grupių
Apkraudimų matavimas	Tik pačio suformuotų srautų analizė	-	Radio ryšiu perduodamų duomenų	BTS-BSC sąsajos įvertinimai	Visus SS7 signalizacijos sąsajų apkraudimų įvertinimas
Filtravimas	-	-	-	-	Skambučių filtravimas, duomenų perdavimo sesijų išskyrimas

2.3.1 Esamų sprendimų taikymo galimybės

Apžvelgtų sprendimų taikymų sritys nepilnai atitinka analizuojamą sritį šiame darbe. Sprendimuose nagrinėjamos skirtingi duomenų srautai, todėl tik dalis kiekvieno sprendimo gali būti pakartotinai panaudota tiriant abonentų vietos duomenų srautus. Taip pat eksperimentų metu gautų rezultatų dalis galima palyginti su esamų sprendimų išvadomis.

3. Vietos duomenų perdavimas tinkle

Informacija, apie abonentų buvimo vietą GSM tinkle, siunčiama šiais atvejais:

- MS įjungiant į tinklą;
- MS atjungiant nuo tinklo;
- Periodinis MS informacijos automatinis atnaujinimas kas nustatytą laiką (2h);
- Skambinant;
- Priimant kvietimą;
- Siunčiant SMS pranešimas;
- Gaunant SMS pranešimas.

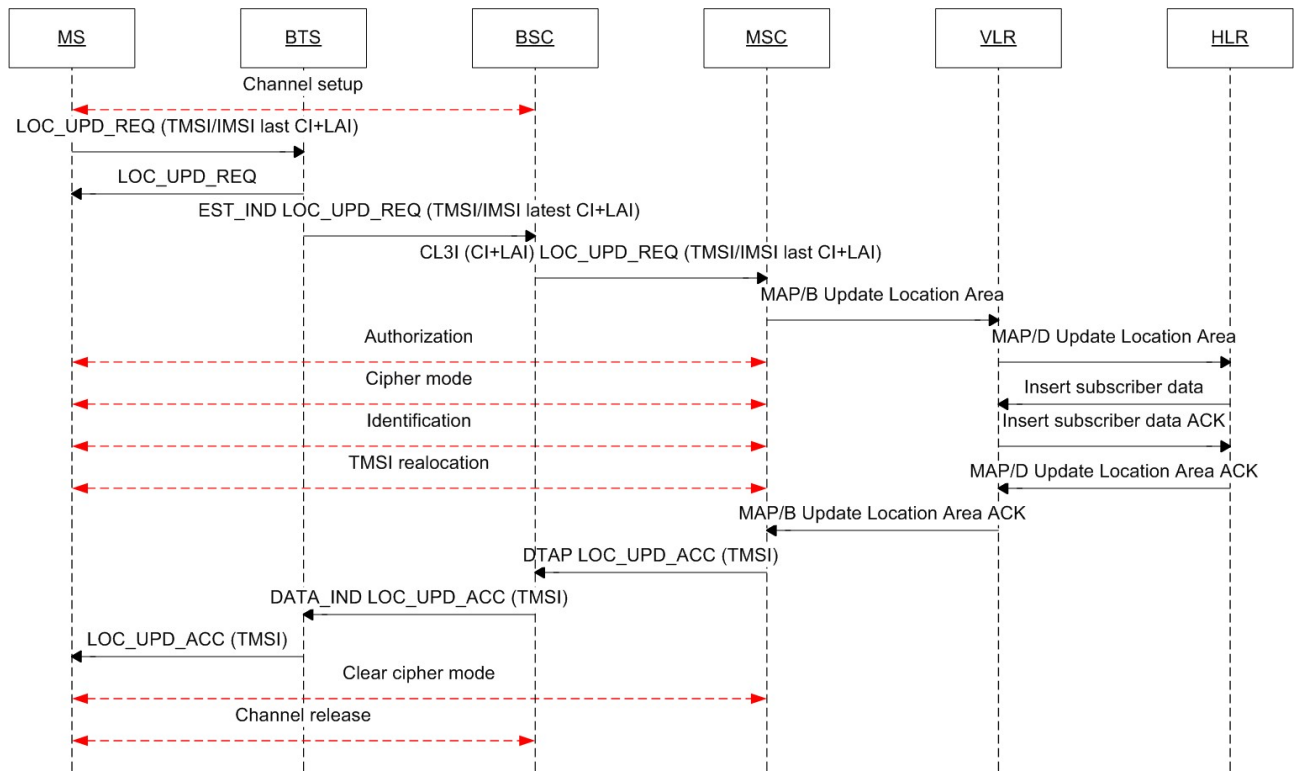
Aprašytais atvejais siunčiamas MS priskirtos celės identifikacijos numeris *Cell-ID* ir papildoma informacija apie abonentą ir jo buvimo vietą.

3.1 Su vietos duomenimis susijusios pranešimų sekos

Toliau pateikiama įvykių sekos, įvykstančios MS įjungimo į tinklą metu, skambinant ar priimant kvietimą ir SMS pranešimo siuntimo metu. Punktyrine linija pažymėtos pranešimų grupės, kurių detalūs aprašymai ir kitų įvykių sekų diagramos pateiktos priede C.

Pranešimų seka MS įjungiant į tinklą arba periodiškai atnaujinant vietos duomenis

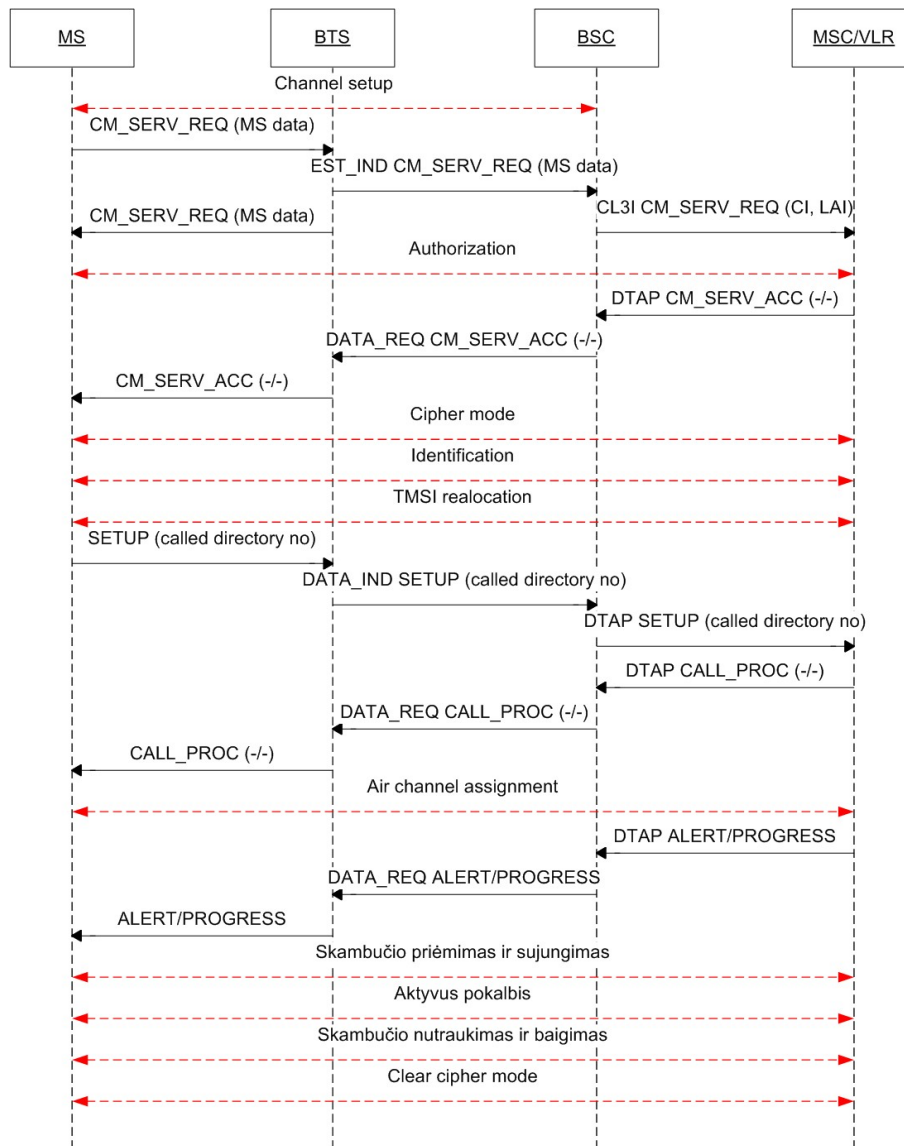
MS įjungimo į tinklą metu perduodamų pranešimų seka pavaizduota 9 pav.



9 pav. Pranešimų seka MS įjungiant į tinklą

Pranešimų seka skambinant

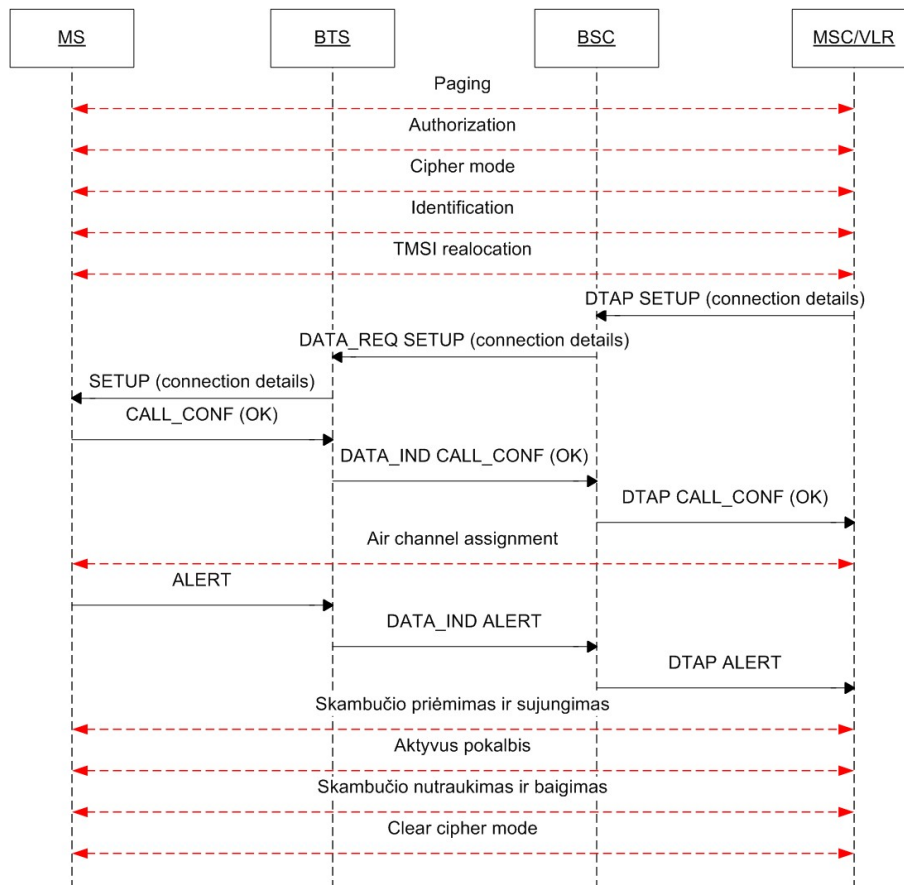
Išeinančio skambučio metu perduodamų pranešimų seka pavaizduota 10 pav.



10 pav. Pranešimų seka skambinant

Pranešimų seka priimant kvietimą

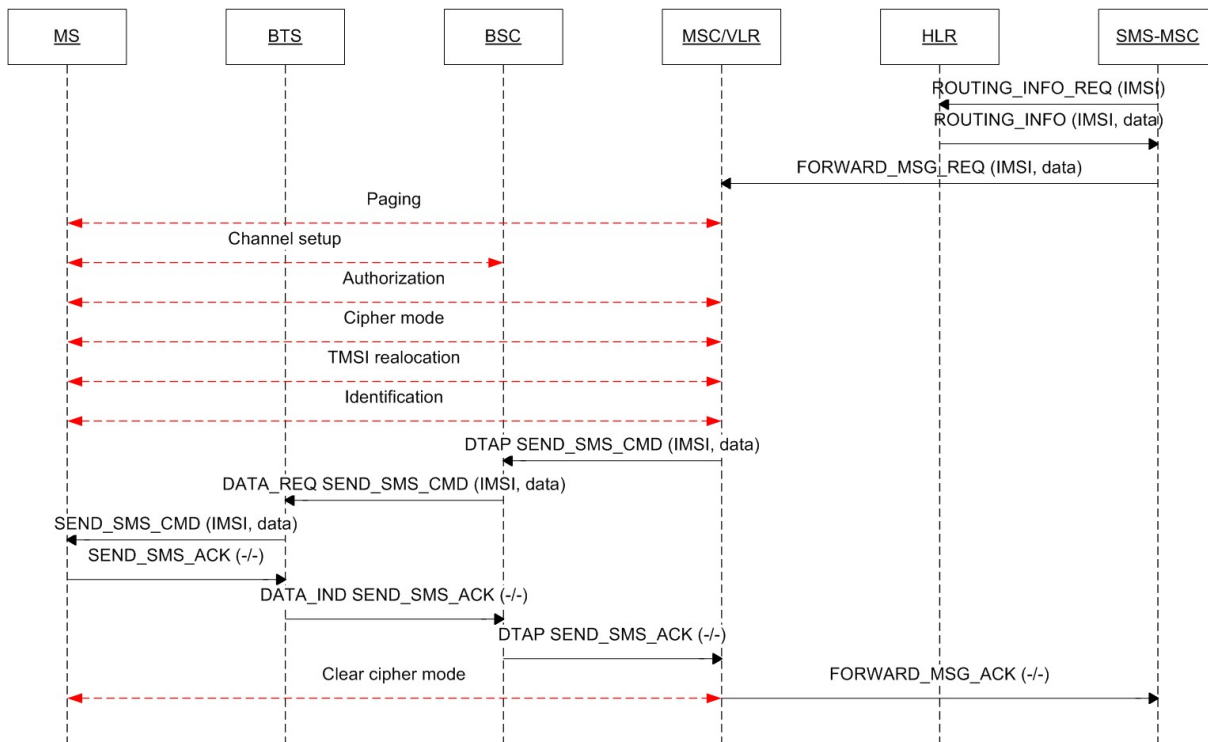
Įeinančio skambučio metu perduodamų pranešimų seka pavaizduota 11 pav.



11 pav. Pranešimų seka priimant kvietimą

Pranešimų seka siunčiant SMS

SMS pranešimo siuntimo metu perduodamų pranešimų seka pavaizduota 12 pav.



12 pav. Pranešimų seka siunčiant SMS

Informacija apie abonentų buvimo vietą siunčiama per MS, BTS, BSC, MSC, VLR ir HLR tinklo komponentus. GSM tinkle sąsajos tarp skirtingų komponentų realizuotos skirtingais protokolais. Kiekvienas protokolai naudoja skirtingas komandas ir skirtingos struktūros informacija pernešančius paketus tiems patiems duomenims transportuoti.

Sekančiame skyrelyje 3.2 aprašoma, kuriuose iš komponentų tikslinga gauti norimą informaciją.

3.2 Tinklo mazgų sudaromi vietos duomenų srautai

3.2.1 MS

Mobilusis telefonas (MS) išnagrinėtais atvejais nesiunčia paketų su vietos duomenimis. Tik įjungimo metu arba automatiškai atnaujinant informaciją MS siunčia duomenis, kuriuose nurodyta jo paskutinė celė. Kadangi reikalaujama gauti duomenis apie vietą, kurioje yra MS, o ne kur buvo, tai duomenų stebėjimas MS komponente yra nereikalingas ir netikslingas.

Taip pat MS komponentų yra daug (žiūrėti pav. 3), stebėti duomenis kiekviename jų būtų neracionalu.

3.2.2 BTS

BTS komponentas siunčia:

Paging response [8, psl. 284]. Sėkmingos MS paieškos (*paging*) atveju siunčiami „*Paging response*” paketai iš BTS į BSC. Juose užkoduota iš MS į BTS perduota informacija. Paketų dydis 16 baitų. Jų sandara pavaizduota 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė Paketo sandara su MS paieškos rezultatais

Elementas	Kryptis	Tipas	Dydis (baitais)	Reikia saugoti
RR valdymo skyriklis	BTS-BSC	M	1/2	Ne
Indikatorius	BTS-BSC	M	1/2	Ne
Paieškos atsako tipas	BTS-BSC	M	1	Ne
Šifro numeris	BTS-BSC	M	1/2	Ne
Išlyginamasis 1/2 baitas	BTS-BSC	M	1/2	Ne
MS klasė	BTS-BSC	M	4	Ne
MS identifikatorius IMSI	BTS-BSC	M	9	Taip
			Viso 16	

Location update request[8, psl. 310]. Įjungus MS arba kas nustatytą laiką (dažniausiai kas 2h) siunčiami „*Location update request*” paketai iš BTS į BSC. Juose užkoduota iš MS į BTS perduota informacija. Paketų dydis 18 baitų. Jų sandara pavaizduota 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė Paketo sandara su vietos duomenų atnaujinimo reikalavimu

Elementas	Kryptis	Tipas	Dydis (baitais)	Reikia saugoti
Mobilaus protokolo valdymo skyriklis		M	1/2	Ne
Indikatorius		M	1/2	Ne
Vietos duomenų atnaujinimo reikalavimo tipas		M	1	Ne
Vietos duomenų atnaujinimo tipas		M	1/2	Ne
Šifro numeris		M	1/2	Ne
Lokacijos zonos identifikatorius		M	5	Taip
MS klasė		M	1	Ne
MS identifikatorius IMSI		M	9	Taip
			Viso 18	

Service request [8, psl. 308]. Skambinant siunčiami „*Service request*” paketai iš BTS į BSC. Juose užkoduota iš MS į BTS perduota informacija. Paketų dydis 17 baitų. Jų sandara pavaizduota 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė Paketo sandara su paslaugų reikalavimu

Elementas	Kryptis	Tipas	Dydis (baitais)	Reikia saugoti
Mobilaus protokolo valdymo skyriklis		M	1/2	Ne
Indikatorius		M	1/2	Ne
Paslaugos reikalavimo tipas		M	1	Ne
Paslaugos tipas		M	1/2	Ne
Šifro numeris		M	1/2	Ne
MS klasė		M	4	Ne
MS identifikatorius IMSI		M	9	Taip
Prioritetas		O	1	Ne
			Viso 17	

Per BTS komponentus perduodami mažiausios apimties paketai. Juose nėra nurodyta *Cell-ID*, nes kiekvienas BTS atitinka vieną celę. Paimant ir kaupiant paketus BTS komponentuose susidaro mažiausi duomenų srautai ir kiekiai, bet išskyla papildomi reikalavimai duomenų centralizuotam apdorojimui.

3.2.3 BSC

BSC komponentas siunčia:

CL3I + Paging response [7]. Sėkmingos MS paieškos (*paging*) atveju CL3I paketai siunčiami iš BSC į MSC. Juose užkoduoja iš BTS į BSC perduota MS informacija (*Paging response*) ir papildoma informacija. Paketų dydis 29 baitai. Jų sandara pavaizduota 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė CL3I paketo sandara su MS paieškos rezultatais

Elementas	Sudedamoji dalis	Kryptis	Tipas	Dydis (baitais)	Reikia saugoti
Pranešimo tipas	-	BSC-MSC	M	1	Ne
Cell ID	-	BSC-MSC	M	3-10	Taip
3 lygmens informacija (sudėtyje PAGING RESPONSE paketas) [8, psl. 284]					
	RR valdymo skyriklis		M	1/2	Ne
	Indikatorius		M	1/2	Ne
	Paieškos atsako tipas		M	1	Ne
	Šifro numeris		M	1/2	Ne
	Išlyginamasis 1/2 baitas		M	1/2	Ne
	MS klasė		M	4	Ne
	MS identifikatorius IMSI		M	9	Taip
		BSC-MSC	M	Viso 16	
Pasirinktas kanalas	-	BSC-MSC	O	2	Ne
				Viso 29	

CL3I + Location update request [7]. Ijungus MS arba kas nustatytą laiką (dažniausiai kas 2h) siunčiami CL3I paketai iš BSC į MSC. Juose užkoduota iš BTS į BSC perduota MS informacija (*Location update request*). Paketų dydis 31 baitai. Jų sandara pavaizduota 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė CL3I paketo sandara su vietos duomenų atnaujinimo reikalavimu

Elementas	Sudedamoji dalis	Kryptis	Tipas	Dydis (baitais)	Reikia saugoti
Pranešimo tipas	-	BSC-MSC	M	1	Ne
Cell ID	-	BSC-MSC	M	3-10	Taip
3 lygmens informacija (sudėtyje LOCATION UPDATE REQUEST paketas) [8, psl. 310]					
	Mobilaus protokolo valdymo skyriklis		M	1/2	Ne
	Indikatorius		M	1/2	Ne
	Vietos duomenų atnaujinimo reikalavimo tipas		M	1	Ne
	Vietos duomenų atnaujinimo tipas		M	1/2	Ne
	Šifro numeris		M	1/2	Ne
	Lokacijos zonos identifikatorius		M	5	Ne
	MS klasė		M	1	Ne
	MS identifikatorius IMSI		M	9	Taip
		BSC-MSC	M	Viso 18	
Pasirinktas kanalas	-	BSC-MSC	O	2	Ne
				Viso 31	

CL3I + Service request [7]. Skambinant CL3I paketai siunčiami iš BSC į MSC. Juose užkoduota iš BTS į BSC perduota MS informacija (*Service request*). Paketų dydis 30 baitų. Jų sandara pavaizduota 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė CL3I paketo sandara su paslaugų reikalavimu

Elementas	Sudedamoji dalis	Kryptis	Tipas	Dydis (baitais)	Reikia saugoti
Pranešimo tipas	-	BSC-MSC	M	1	Ne
Cell ID	-	BSC-MSC	M	3-10	Taip
3 lygmens informacija (sudėtyje SERVICE REQUEST paketas) [8, psl. 308]					
	Mobilaus protokolo valdymo skyriklis		M	1/2	Ne
	Indikatorius		M	1/2	Ne
	Paslaugos reikalavimo tipas		M	1	Ne
	Paslaugos tipas		M	1/2	Ne
	Šifro numeris		M	1/2	Ne
	MS klasė		M	4	Ne
	MS identifikatorius IMSI		M	9	Taip
	Prioritetas		O	1	Ne
		BSC-MSC	M	Viso 17	
Pasirinktas kanalas	-	BSC-MSC	O	2	Ne
				Viso 30	

Pateiktuose paketuose perduodama informacija yra pakankama reikiamai informacijai gauti ir kaupiti. Tačiau BSC komponentų GSM tinkle būna keletas, ir paimant informaciją iš šių komponentų reikėtų techninės įrangos centralizuotai kaupiančios duomenis iš visų BSC komponentų.

3.3 Reikalavimai srautų analizei

Siekiant įvertinti vietos duomenų srautus tarp įvairių GSM tinklo komponentų reikia atsižvelgti į:

- Duomenų perdavimo atvejų kiekį ir dažnį, kada siunčiama vietos informacija;
- Kiekvieno atvejo persiunčiamų paketų protokolo tipą, duomenų struktūrą ir duomenų kiekį;
- Duomenų paėmimo galimybes skirtingose sąsajose.

4. GSM tinklo duomenų srautų emuliatorius

Vietos duomenų srautų tyrimai realiame GSM tinkle yra komplikuoti, nes:

- Bet koks tinklo parametrų keitimas gali turėti įtakos esamų paslaugų kokybei;
- Esamų tinklo komponentų modifikavimas neįmanomas arba labai sudėtingas;
- Informacija apie susidarancius duomenų srautus neprieinama;
- Galioja teisiniai apribojimai neleidžiantys naudoti duomenų susijusių su realiais abonentais.

Todėl vietos informacijos srautų tyrimai atlikti panaudojant tinklo emuliatorių. Sukurtas ir darbe panaudotas GSM tinklo vietos informacijos srautų emuliatorius leidžia tirti:

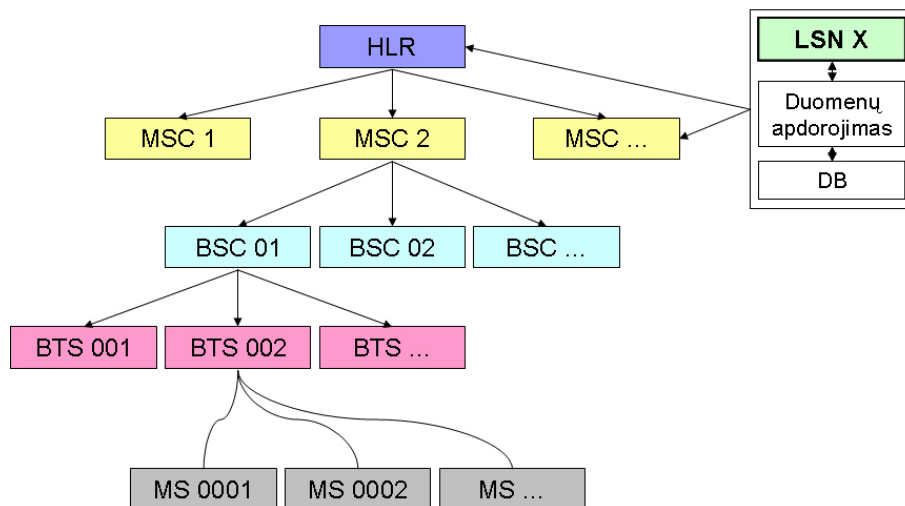
- Duomenų srautų dydžius tarp GSM tinklo komponentų;
- Pokyčius duomenų srautuose priklausančius nuo tinklo konfigūracijos ir abonentų skaičius;
- Generuojamų abonentų veiksmų poveikį duomenų srautam.

Aukščiau išvardintoms problemoms spręsti realizuota programinė įranga (PI) imituojanti GSM tinklo komponentų veikimą ir duomenų sąsajas tarp jų. Emuliuojamų komponentų ir jų sąsajų schema pavaizduota 13 pav.

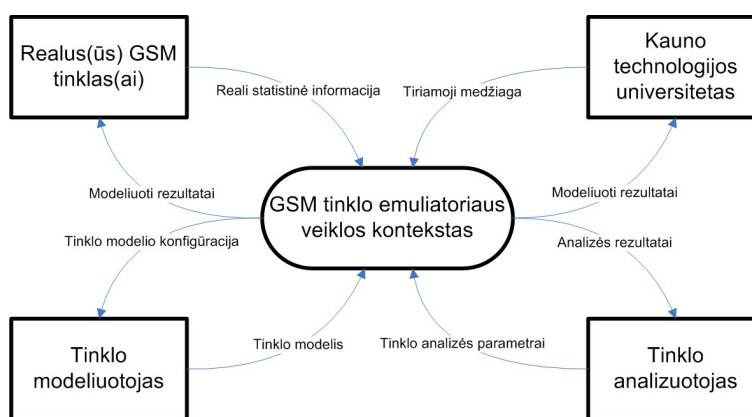
4.1 Emuliatoriaus panaudojimo privalumai

- Atlikti neriboto masto testus (nebūtų poveikio egzistuojančioms paslaugoms);
- Galima atkartoti esamą tinklą, bei kurti jo modifikacijas planuojant tinklo plėtrą paslaugų teikimo užtikrinimui;
- Emuliuojant galima apsibrėžti reikiamų duomenų formavimą įvairiems tyrimams.

GSM tinklo emuliatoriaus sistema projektuota taip, kad jame būtų galima panaudoti realių tinklų statistinius duomenis, rezultatus pateikiant vartotojui. Emuliatoriaus veiklos kontekstas pateiktas 14 pav.



13 pav. Emuliuojamų komponentų ir jų sąsajų schema



14 pav. Emuliatoriaus veiklos kontekstas

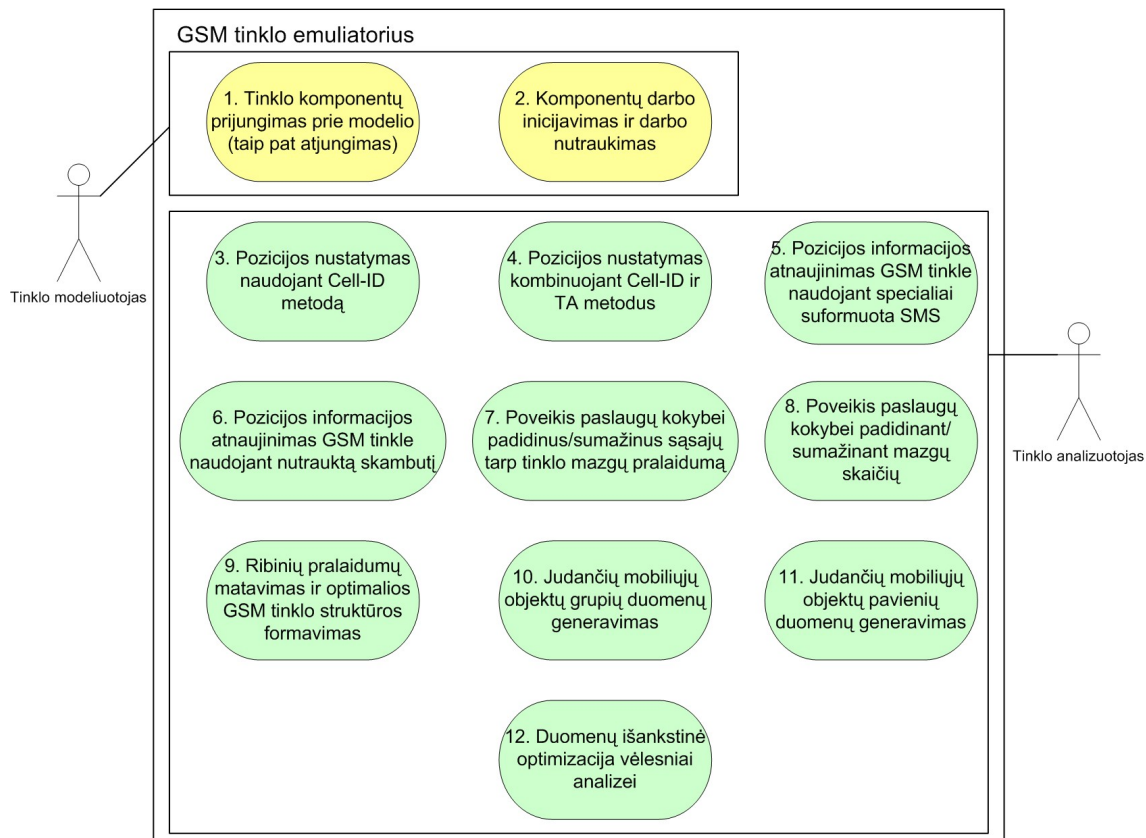
4.1.1 Panaudojimo atvejai

GSM tinklo emuliatoriaus panaudojimo atvejų diagrama pateikta paveiksle 15. Kiekvieno panaudojimo atvejo detalūs aprašymai pateikti priede D.

4.2 Realizacijos aspektai

Pagrindiniai emuliatoriaus realizacijos aspektai:

- NET 2.0 platforma; C# 2.0 programavimo kalba;
- Asinchroninis TCP/IP perdavimo modelis;
- Parinktas ir našumo bandymais patvirtintas veiksmingas modulių skaidymo į vykdymo gijas lygis;
- Atskiros vykdymo gijos:



15 pav. Panaudojimo atvejų diagrama

- Valdiklis, HLR, MSC, BSC, BTS, LSN moduliai;
- Kiekvieno modulio komunikacijas aptarnauja atskira darbinė .NET vykdymo gija;
- Bendra vykdymo gija:
 - Visi prie modeliuojamo tinklo prijungti MS įrenginiai.
- Paskirstyti skaičiavimai;
- Realus laiko sistema;
- Asinchroninis duomenų perdavimas TCP protokolu;
- Perduodamų duomenų kodavimas pagal standartus naudojant ASN.1 metodus;
- Galimybė papildyti naujais tinklo komponentais;
- Galimybė papildyti esamų komponentų funkcionalumą.

4.3 Emuliatoriaus taikymo ribotumai

Realizuotame emuliatoriuje yra prielaidos, kurios tik iš dalies atitinka realių tinklų veikimo principus:

- SS7 signalizavimo sistema pateikta panaudojant TCP/IP protokolą;
- Vykdam emuliacijos sistemą viename kompiuteryje susiduriama su lygiagrečių procesų prioriteto pasidalinimo problema. Realiame tinkle kiekvienas tinklo mazgas yra atskiras techninis įrenginys ir veikia nepriklausomai;
- Emuliuojamų pavienių abonentų veiksmai yra valdomi atsitiktiniu principu, kai realiame pasaulyje kiekvienas abonentas veikia dėsningai siekdamas tikslo;
- Emuliuojamų abonentų grupių valdymas apibrėžiamas kaip taisyklių rinkinys, kurių kiekis ribotas.
- Valdymo sąsajų duomenys yra generuojami pagal apibrėžtus protokolus. Tačiau duomenų srautai su balsu ar kita informacija negeneruojami ir yra be tikslingo turinio. Tokie srautai turi apibrėžtą spartą.

Dėl šių apribojimų, emuliatoriaus eksperimentiniai rezultatai nežymiai skiriasi nuo rezultatų gautų iš eksperimentų atliktų realiame GSM tinkle.

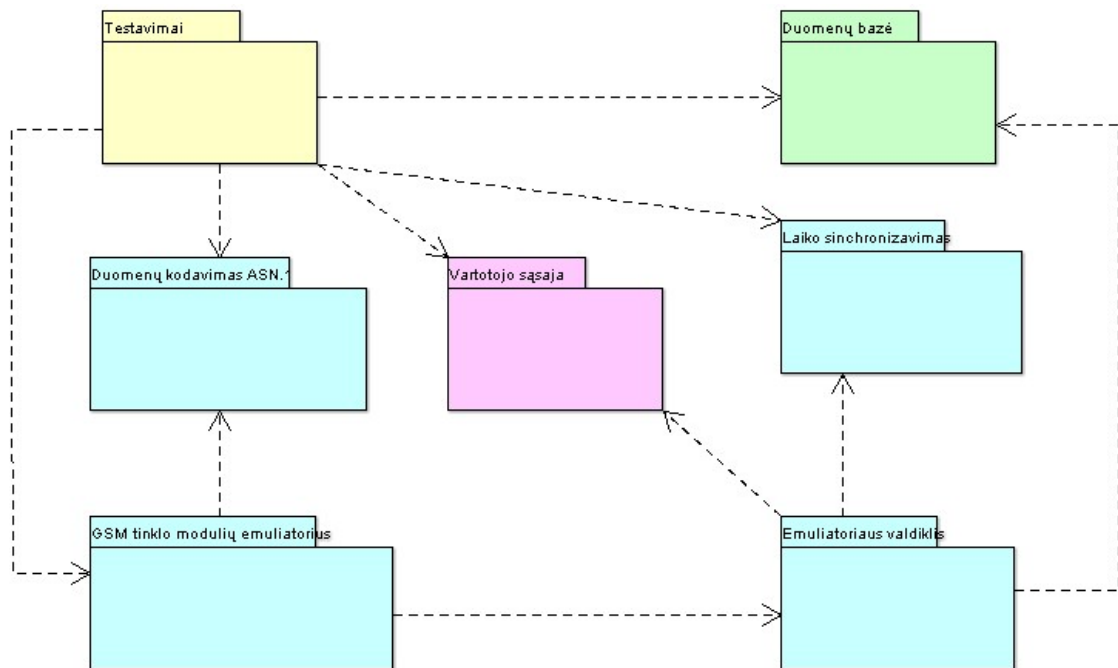
4.4 Architektūra

Realizuojant sistemą ji buvo suskaidyta į bendradarbiaujančius paketus, jų sąveika pateikta paveiksle 16. Paketai turi skirtingą rolę sistemoje ir dirba nepriklausomai vienas nuo kito. Nepriklausomu paketų veikimu pasiekta klaidų izoliacija paketo viduje. Galimų klaidų izoliacija kritiškai neįtakoja sąveikaujančių paketų veikimo ir palengvina jų suradimą.

Įrangos paskirstymo architektūrinėje įrangoje pateiktas paveiksle 17.

4.4.1 Pranešimų kodavimas ASN.1

Lokacijos informacijos gavimui, SMS siuntimui, tam tikrose skambučio parengimo fazėse, ir užkodavimui naudojamas vienas iš aukštesnio SS7 signalizacijos lygmens MAP protokolas [6]. Informacijos apsikeitimas tarp įrenginių MAP protokolu apibrėžiamas ASN.1 aprašais pateiktais minėtame standarte. Patys informacijos paketai koduojami pagal ASN.1 BER taisykles [12]. Taigi kuriant emuliatorių iškyla poreikis užkoduoti ir dekoduoti ASN.1 aprašytus paketus. Kadangi



16 pav. Sistemą sudarančių paketų diagrama

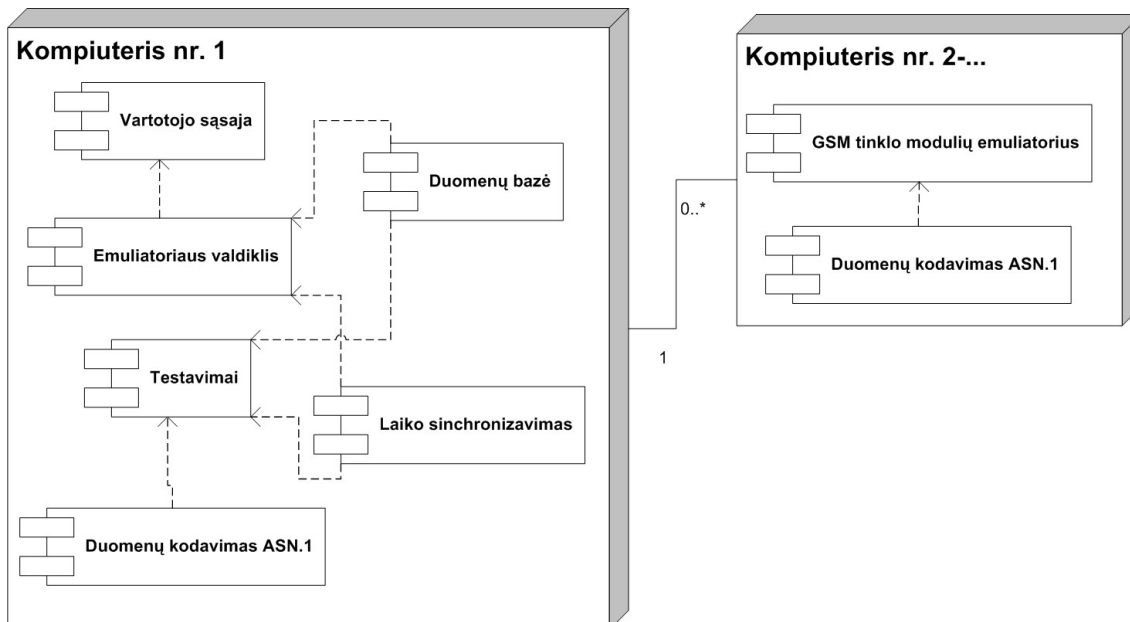
ASN.1 pats savaime yra tyrimo objektas ir komerciniai kompiliatoriai/dekompiliatoriai kainuoja tūkstančius eurų, reikalingas kompromisinis variantas:

- Pasinaudoti vienu iš nemokamų ASN.1 kompiliatorių ir naudoti jų sugeneruotą kodą pranešimams apdoroti. Tačiau iš autorių patirties žinoma, kad dažnai tokie įrankiai yra itin sudėtingi naudoti, jų sugeneruotas kodas yra "juodos dėžės" tipo ir jų naudojimo sukeltos problemos sunkiai sprendžiamos;
- Kadangi su lokacijos problema susijusių ASN.1 aprašų nėra daug, įmanoma jų parserius parašyti patiems;
- Emuliaciją vykdyti dar vienu lygmeniu aukščiau, t.y. reikalinga informaciją pakuoti į savo sukurto formato paketus. Tokio sprendimo trūkumas yra svarbaus funkcionalumo lygio praradimas - protokolo kuris realiai naudojamas šioms problemoms spręsti. Norint sprendimus iš emuliatoriaus perkelti į realų tinklą tektų šį lygmenį atkurti.

Pasirinkta realizuoti tik su lokacijos duomenimis susijusių pranešimų kodavimą/dekodavimą.

4.5 Emuliatoriaus taikymai atsitiktinių srautų tyrimams

Emuliatorius generuoja atsitiktinius įvykius, kurie neturi dėsningumo. Norint įvertinti srautų apimtį per parą, mėnesį ar metus reikia generuoti įvykius atsižvelgiant į realių abonentų įpročių dėsningumus:



17 pav. Sistemos išdėstymo diagrama

- Pokalbių kiekio ir trukmės kitimas paroje;
- SMS trumpųjų žinučių siunčiamo kiekio kitimas paroje;
- GPRS duomenų perdavimo panaudojimas;
- Judančių abonentų LA zonos keitimas pagal nusistovėjusius dėsningumus;
- Abonentų kiekio ir jų įpročių kitimas einant laikui.

Emuliatoriaus papildymas abonentų įvykių generavimu aprašytas sekančiame skyriuje 5.

5. Duomenų generavimas

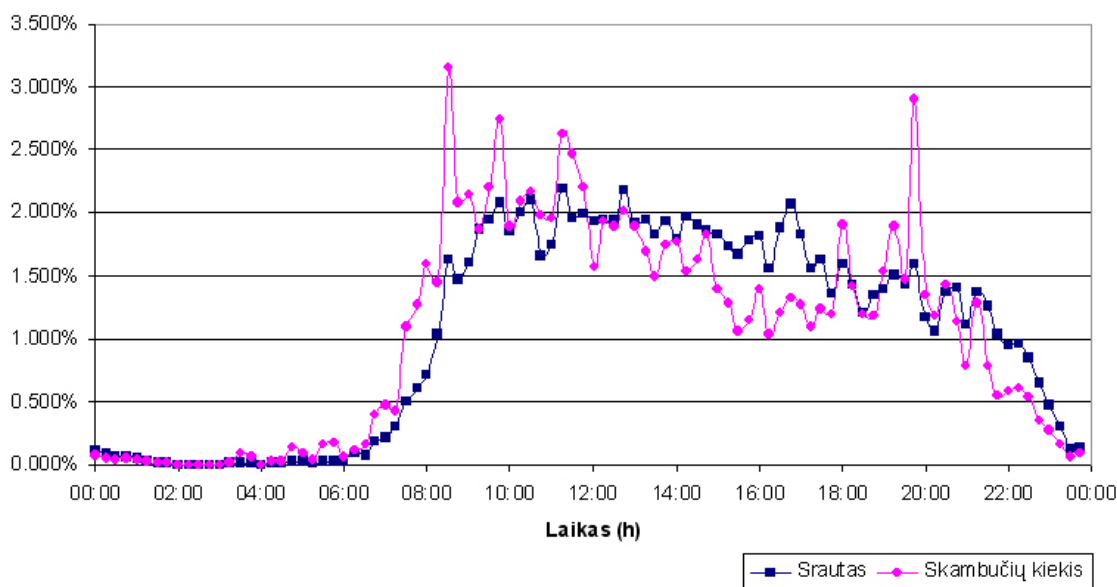
Tiriant srautus ir jų savybes skirtinguose tinklo mazguose panaudojant emuliatorių reikia sugeneruoti pradinis srautus. Srautų generavimas atliekamas formuojant dėsningą, dalinai atsitiktinį, abonentų elgesį. Tokį elgesį, kuris atitiktų realaus gyvenimo situacijas galima formuoti remiantis tikro GSM tinklo pateiktais duomenimis.

5.1 Duomenų srautų pasiskirstymas

5.1.1 Verslo rajone

Remiantis vieno iš realaus GSM tinklo (veikiančio Lietuvoje) duomenimis, vidutinė vienos verslo klasės celės apkrova paros bėgyje pavaizduota paveiksle 18. Grafike pateikta procentinė išraiška visos paros atžvilgiu:

- Informacijos srauto dydžio vidutinė procentinė išraiška per kiekvienas 15 minučių;
- Sujungtų skambučių kiekio procentinė išraiška per kiekvienas 15 minučių.

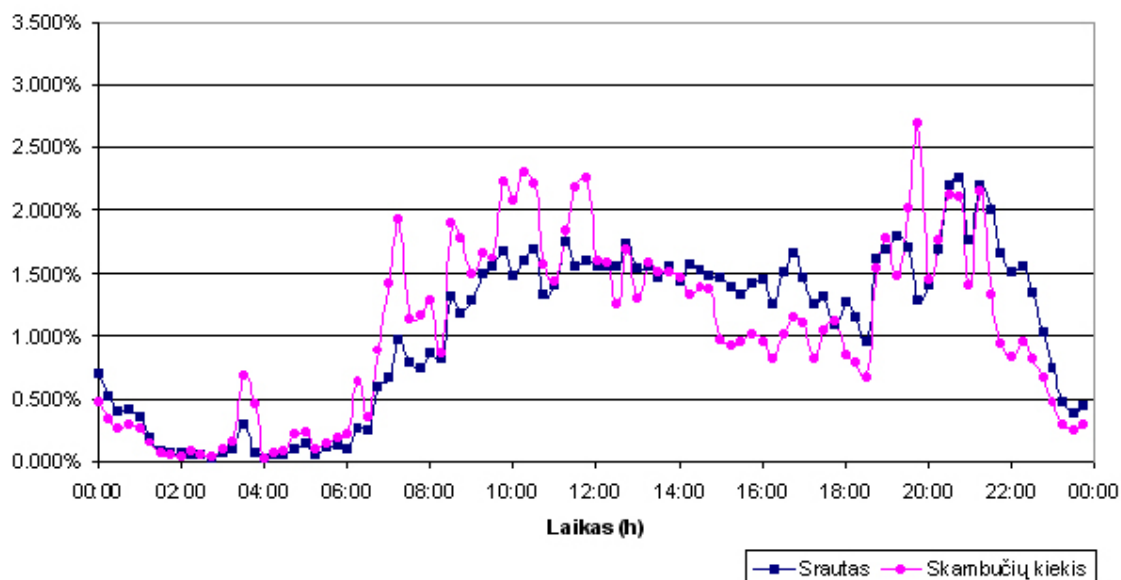


18 pav.. Vienos verslo rajono celės duomenų srautų ir skambučių kiekio procentinis pasiskirstymas paroje

Viso per parą buvo atlikta $I \approx 5000$ skambučių ir perduota $n_{viso} \approx 400\text{Mb}$ duomenų. Pokalbio metu, tarp GSM tinklo abonentų, perduodamas $n_s = 16\text{Kbps}$ duomenų srautas [10].

5.1.2 Gyvenamajame rajone

Vidutinė vienos gyvenamojo rajono klasės celės apkrova paros bėgyje pavaizduota paveiksle 19.



19 pav.. Vienos miegamojo rajono celės duomenų srautų ir skambučių kiekio procentinis pasiskirstymas paroje

5.2 Statistinių duomenų generavimas

Siekiant ištirti duomenų srautų pasiskirstymą eksperimentu reikia atlikti pradinių duomenų generavimą, kurio rezultatai atitiktų pateiktus 5.1 skyrelyje.

Skambučius ir kitus GSM tinklo įvykius reikia inicijuoti kas atsitiktinį laiko intervalą. Jų pasiskirstymas paroje turi atitikti pateiktus GSM operatoriaus. Šis pasiskirstymas neapibrėžiamas įprastu normaliuoju Gauso skirstiniu, todėl reikia generuoti duomenis trumpiems intervalams, kuriuose pasiskirstymas būtų tolygus.

GSM tinklo įvykiai atitinka diskrečiojo skirstinio principus, kurių generavimui patogiu naudoti Puasono skirstiniu paremtus atsitiktinius įvykius.

5.2.1 Puasono diskretusis skirstinys

Puasono diskretusis skirstinys (*Poisson distribution*) išreiškia įvykių kiekį per tam tikrą laiko tarpą, jei įvykiai įvyksta žinomą dažnumu ir nepriklausomai nuo praėjusio laiko po paskutinio įvykio [18]. Puasono skirstinys aprašomas funkcija priklausoma nuo dviejų parametru $k \in N$ - įvykių kiekio, ir $\lambda > 0$:

$$f(k, \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^{-k}}{k!}, \quad (5.1)$$

kur $e = 2.71828..$ - natūrinio logaritmo pagrindas, λ - tiriama trukmė padalinta iš intervalo tarp įvykių, kas dažnai atitinka įvykių dažnį pasirinktame stebėjimo intervale.

Patogi Puasono skirstinio išraiška naudojama nustatant tikimybę įvykti įvykiui pasirinktame intervale $T \in (a; b]$

$$P(a < T \leq b) = e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}, \quad (5.2)$$

Naudojant Puasono skirstinį sudarytas pseudo algoritmas:

```

a = PaskutinioTikrinimoLaikas - BazinisLaikas;
b = DabartinisLaikas - BazinisLaikas;
float Tikimybė = e^(-Dažnis*a) - e^(-Dažnis*b);

if (random(0.0, 1.0) <= Tikimybė)
{
    // Įvykio vykdymas
    BazinisLaikas = DabartinisLaikas;
}
PaskutinioTikrinimoLaikas = DabartinisLaikas;

```

Duomenų generavimas eksperimentuose atliktas remiantis Puasono skirstiniu, nes jis pritaikytas įvykių pasiskirstymui laike aprašymui ir atitinka realaus gyvenimo atsitiktinumą. Pasirinktą skirstinį galima taikyti tik trumpiems laikotarpiais $t \ll 24h$, nes gautų realių duomenų kitimas paroje, matematiškai neaprašomas.

6. Srautų tyrimo eksperimentai

Generuojant atsitiktinius duomenis, kurie atitinka realaus operatoriaus pateiktus dėsningumus, eksperimentiškai nustatyti duomenų srautai tinklo mazguose.

6.1 Eksperimento paruošimas

Atliekant eksperimentus emuliatoriaus pagalba sudaryta tinklo topologija:

- HLR komponentų kiekis 1;
- MSC komponentų kiekis 2;
- BSC komponentų kiekis 7;
- BTS komponentų kiekis 286 kiekvienam BSC komponentui, viso 2002;
- Mobilųjų telefonų (MS) kiekis 1.4mln, vidutiniškai 700 abonentų vienoje celėje;

Papildomi parametrai:

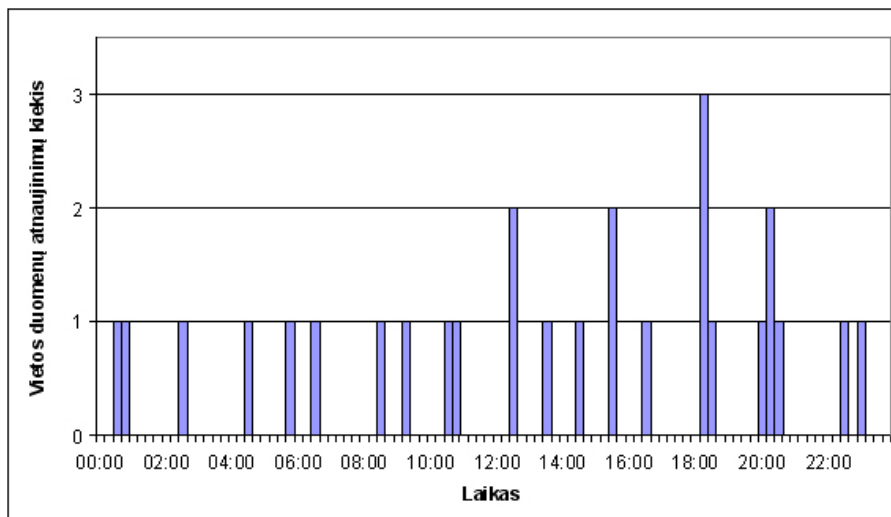
- „Verslo” celes atitinka 40% visų celių, likusios 60% - „miegamuosius” rajonus atitinkančios celės;
- .

Generuojant abonentų veiksmus buvo remtasi skyriuje 5 pateikta informacija

6.2 Rezultatai

6.2.1 MS srautai

Kiekvienas MS vykdo periodinį vietos duomenų atnaujinimą ir atlieka skambučius, juos priima, siunčia ir gauna SMS. Vieno atsitiktinio MS įvykiai paroje pateikti 20 pav.



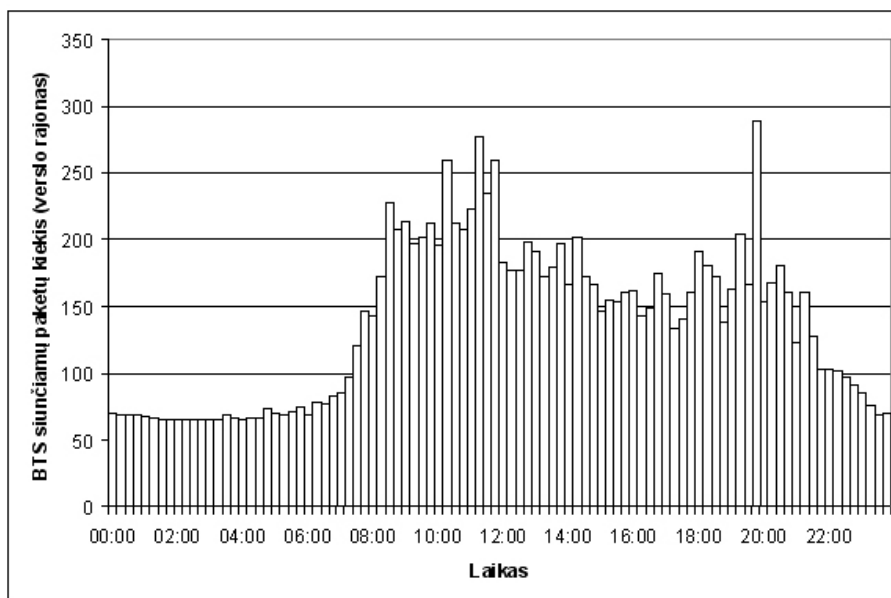
20 pav. Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš MS

6.2.2 BTS srautai

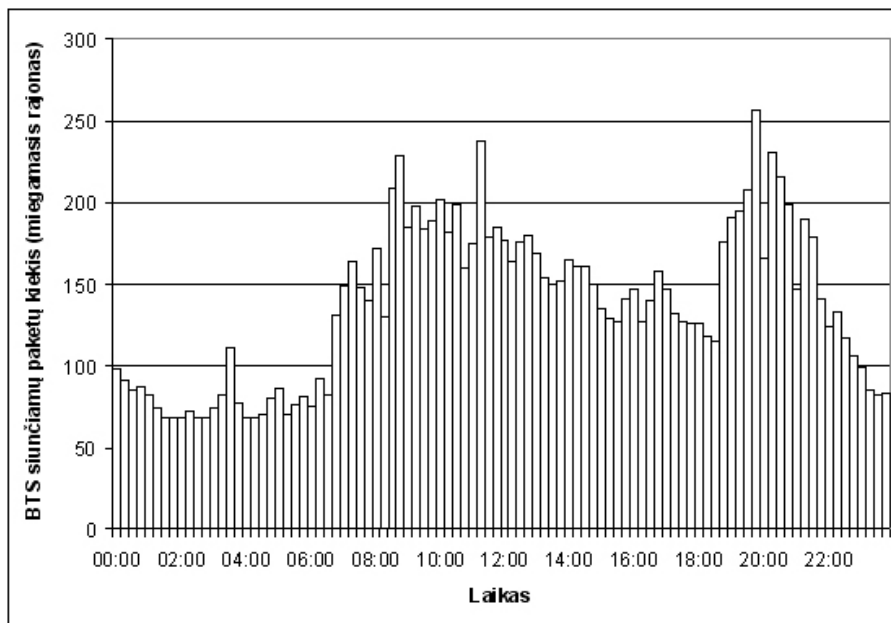
BTS komponentai persiunčia iš MS gautus duomenis į kitus tinklo komponentus.

Realiaame tinkle kiekviena celė skirtinga ir skiriasi nuo kitų. Eksperimento metu naudotas supaprastintas variantas, kuriame yra tik du dažniausiai pasitaikantys celių tipai atitinkantys „verslo“ ir „miegamuosius“ rajonus.

Vienos, atsitiktinai paimtos, celės įvykių kiekiai susiję su vietos duomenų perdavimų (15min intervaluose) pateikti 21 ir 22 pav.



21 pav. Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš BTS verslo rajone



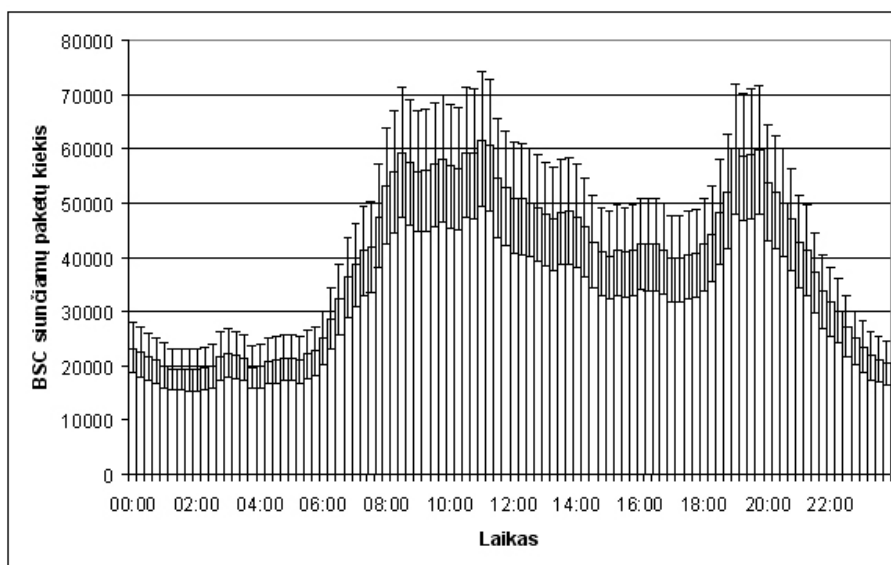
22 pav. Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš BTS miegamajame rajone

6.2.3 BSC srautai

BSC komponentai persiunčia iš BTS komponentų gautus duomenis į MSC tinklo komponentą.

Vieno, atsitiktinai paimto, BSC komponento įvykių kiekiai susiję su vietos duomenų perdavimu (15min intervaluose) pateikta 23 pav.

BSC persiunčiami duomenys yra visų jam priklausančių BTS persiunčiamų duomenų suma. Kadangi naudota tik du celių tipai, tai 23 paveiksle pateikta ir galimi 20% nukrypimai, kurie galimi esant visoms celėms skirtingoms.

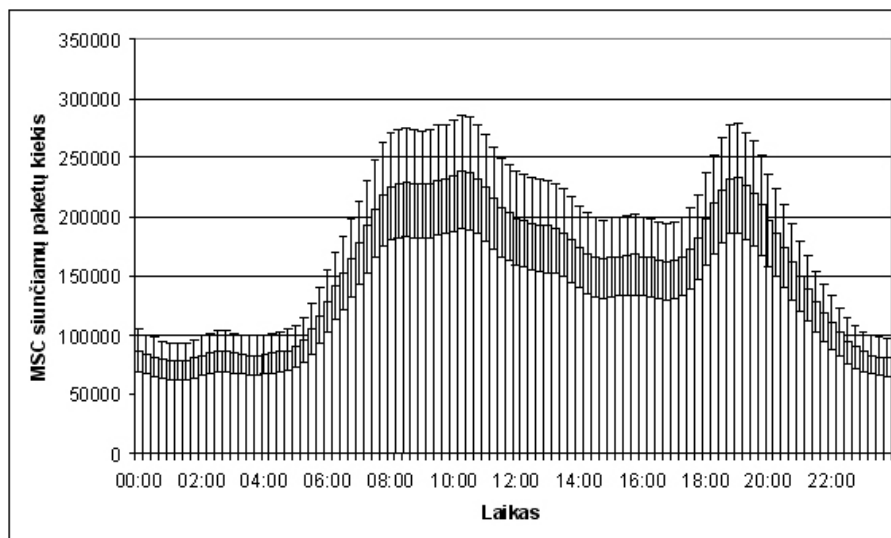


23 pav. Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš BSC

6.2.4 MSC srautai

MSC komponentai persiunčia iš BSC gautus duomenis į kitus tinklo komponentus.

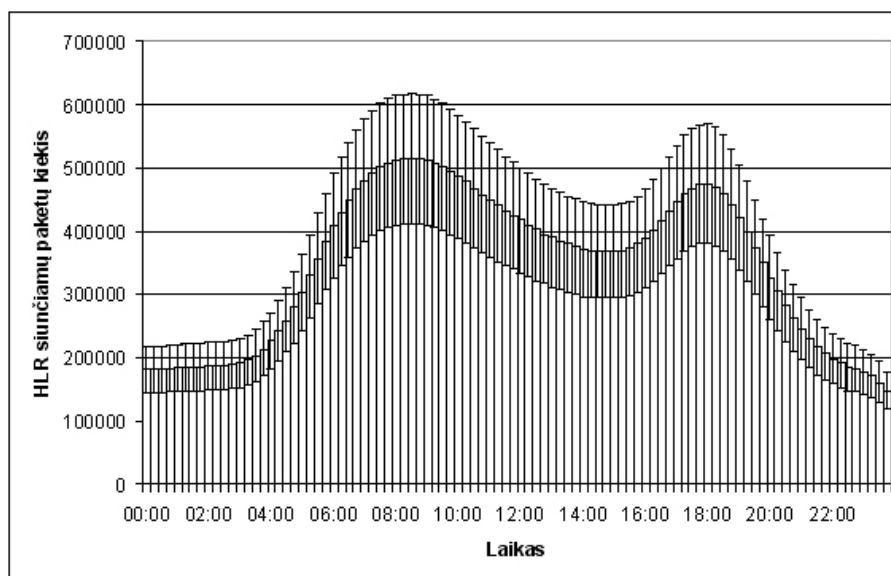
Vieno, atsitiktinai paimto, MSC komponento įvykių kiekiai susiję su vietos duomenų perdavimu (15min intervaluose) pateikti 23 pav.



24 pav. Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas iš MSC

6.2.5 HLR srautai

Šio eksperimento metu HLR apima iš abiejų MSC komponentų gaunamų duomenų srautus. HLR komponento įvykių kiekiai susiję su vietos duomenų perdavimu (15min intervaluose) pateikti 23 pav.



25 pav. Vietos duomenų paketų kiekis siunčiamas į HLR

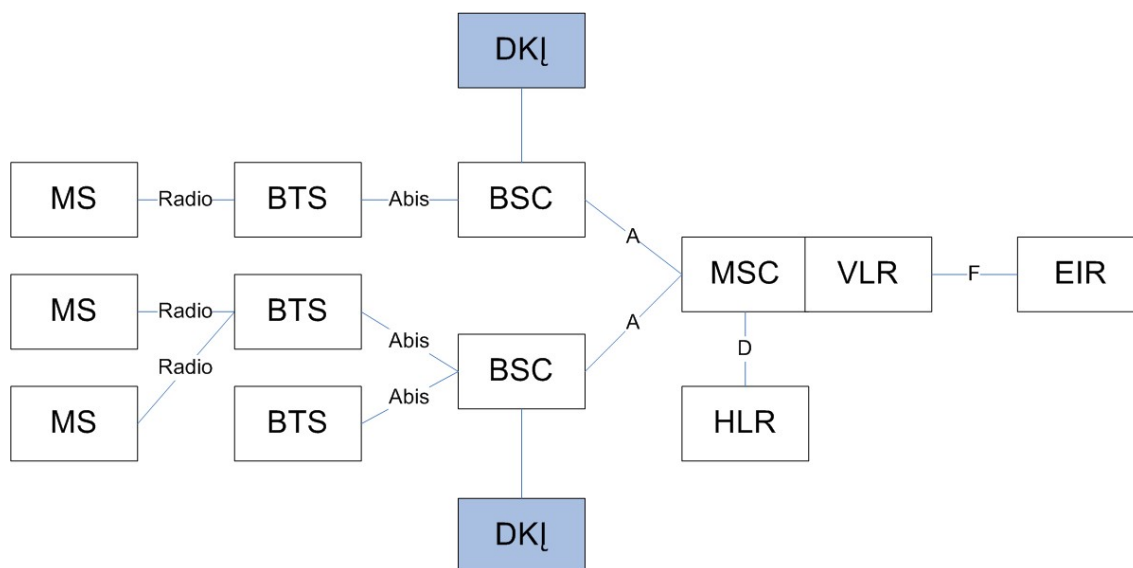
6.3 Rezultatų palyginimas

Duomenys skirtinguose tinklo mazguose perduodami skirtingais protokolais. Protokolai įtakoja tarnybinės informacijos kiekį.

Atliekant eksperimentus aukštesniame hierarchijos lygmenyje esančiuose tinklo mazguose pastebėta, kad srautų pokyčiai mažėja ir priklausomybė tampa tolygesnė. Tai atsitinka dėl to, kad keliu atsitiktinių procesų staigūs pokyčiai kompensuoja vienas kitą ir jų suma tampa lėčiau kintančiu atsitiktiniu procesu.

6.4 Įrangos įrengimas

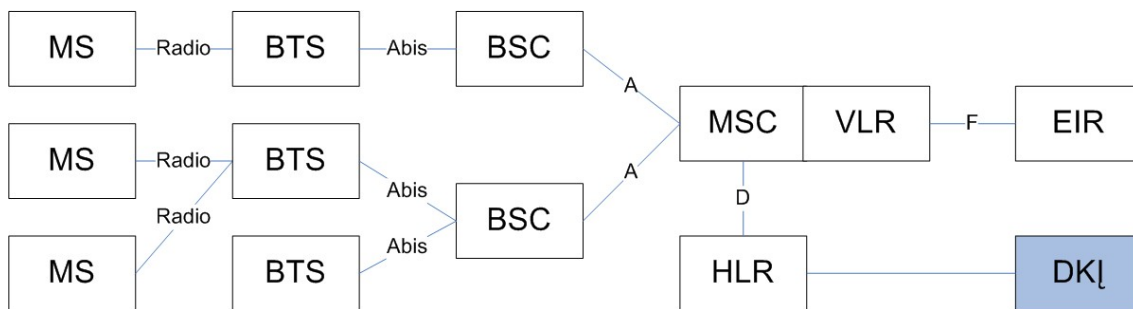
BSC. Mažiausia įtaka esamoms GSM tinklo paslaugoms būtų įrengiant vietos duomenų srautų analizės ir kaupimo įrenginius prie kiekvieno BSC komponento, kaip pavaizduota 26 pav. Per BSC komponentus persiunčiami vietos duomenų paketai yra perduodami pirmo lygio protokolu, kuris neturi papildomos tarnybinės informacijos. Kadangi GSM tinkle BSC komponentų yra keletas, per kiekvieną jų persiunčiama tik jų aptarnaujamo regiono duomenys. Dalinis duomenų srautas nereikalauja sudėtingos techninės įrangos turinčios kelių šimtų terabitų duomenų saugyklos. Šis būdas turi trūkumą, nes reikėtų papildomos sistemos, kuri koordinuotų visų naujų įrenginių darbą.



26 pav. Duomenų kaupimo įrenginio įrengimas prie kiekvieno BSC

HLR. Centralizuotą duomenų analizės ir kaupimo sistemą galima įrengti prie HLR komponento, pavaizduota 27 pav. Tokiu būdu visa informacija kaupiama vienoje vietoje ir nereikalinga papildoma administracija. Tačiau HLR komponentas naudoja aukštesnio lygmens duomenų

perdavimo protokolus, kurių tarnybinė informacija didina duomenų srautus. Per HLR komponentą siunčiami duomenys iš viso tinklo, todėl suminis srautas yra didelis ir reikalauja ypatingų resursų vietos duomenų srautų apdorojimui ir saugojimui.



27 pav. Duomenų kaupimo įrenginio įrengimas prie HLR

7. Išvados

Darbe išnagrinėta:

- GSM tinklo struktūros komponentai, kurie dalyvauja siunčiant abonento vietos duomenis;
- Vietos duomenų siuntimo sekos nustatant pranešimų pasikartojimus, dėsningumus ir priklausomybes nuo abonentų veiksmų;
- Perduodamų paketų protokolai, sandara ir pavienių paketų apimtis;
- Duomenų paėmimo būdai iš esamų tinklų, bei gautų duomenų saugojimo galimybės vidiniuose bei išoriniuose įrenginiuose;
- Saugojamų duomenų kaupimasis ir reikalavimai techninei įrangai.

Remiantis surinkta informacija ir atliktais eksperimentais nustatyta, kad siekiant įgyvendinti Europos sąjungos direktyvą ST15449, reikia papildomos techninės įrangos. Techninę įrangą tikslinga įrengti GSM tinkle, ją prijungiant prie BSC tinklo komponentų:

Paimant ir saugant vietos duomenis kiekviename BSC komponente, padaroma mažiausia įtaka esamoms GSM tinklo paslaugoms. Per BSC komponentus persiunčiami vietos duomenų paketai yra perduodami pirmo lygio protokolu, kuris neturi papildomos tarnybinės informacijos.

Kadangi GSM tinkle BSC komponentų yra keletas, per kiekvieną jų persiunčiama tik jų aptarnaujamo regiono duomenys. Dalinis duomenų srautas nereikalauja sudėtingos techninės įrangos turinčios kelių dešimčių terabaitų duomenų saugyklos. Eksperimento metu nustatyta kad per vieną iš BSC tinklo komponentų persiunčiama ≈ 8 kartus mažiau abonentų vietos duomenų, nei per HLR komponentą. Per HLR komponentą siunčiami duomenys iš viso tinklo, todėl suminis srautas yra didelis ir reikalauja ypatingų resursų vietos duomenų srautų apdorojimui ir saugojimui.

Įrengiant papildomą įrangą BSC komponentuose reikėtų papildomos sistemos, kuri koordinuotų visų naujų įrenginių darbą.

Literatūra

- [1] Correa K. T.; Kareem A. The height of precision. *GPS World*, 2003.
- [2] Fakhrol A. Simulation of third generation cdma systems. Prieiga internete, [Žiūrėta 2005 11 23] http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-122199-153028/unrestricted/fakhrol_thesis.pdf.
- [3] Mehrotra A. *GSM System Engineering*. Number ISBN 0-89006-860-7. Artech House, 1997.
- [4] GL communications Inc. Ss7 (c7) analyzer. Prieiga internete, [Žiūrėta 2006 03 20] <http://www.gl.com/ss7.html>.
- [5] Diglys D.; Jatkonis E. Programinės įrangos tiriamasis darbas, gsm tinklo emuliatoriaus projektavimas ir realizavimas tinklo savybiu tyrimui. KTU, 2005.
- [6] ETSI. Mobile application part specification 09.02 v7f. ETSI standartas, 1998.
- [7] ETSI. Mobile-services switching centre - base station system interface 08.08 v4.12.1. ETSI standartas, 1998.
- [8] ETSI. Mobile radio interface layer 3 specification, 04.08 v7.21.0. ETSI standartas, 2003.
- [9] JHA Council EU. The retention of data processed in connection with the provision of public electronic communication services. EU direktyva, 2005.
- [10] Heine G. *GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation*. Number ISBN 0-89006-471-7. USA MA Norwood, 1999.
- [11] ITU-T. Specification and description language sdl, z.100. ITU-T rekomendacija.
- [12] ITU-T. Osi networking and system aspects abstract syntax notation one (asn.1). x.690. ITU-T rekomendacija, 2002.
- [13] Kahabka M. *GSM Pocket Guide Vol. 2*. Germany, 2002.

- [14] Magon A.; Shukla R. Lbs, the ingredients and the alternatives. *GIS Development, Asian GPS Conference*, 2001.
- [15] ReMoB. Wireless application development. Prieiga internete, [Žiūrėta 2005 10 23] http://etd.vcu.edu/theses/available/etd-06142004-164112/unrestricted/Thesis_MujibRM.pdf.
- [16] RRT. Ataskaita apie telekomunikacijų sektorių (2004 m. 3 ketvirtis). Prieiga internete, [Žiūrėta 2005 11 23] <http://www.rrt.lt>.
- [17] Vanu S. Field trials of an all-software gsm base station. Prieiga internete, [Žiūrėta 2005 11 24] http://rfdesign.com/mag/radio_field_trials_allsoftware/.
- [18] York S. Simulating randomness. Prieiga internete, [Žiūrėta 2006 02 17] <http://collective.valve-erc.com/index.php?doc=1103410891-08896900>.
- [19] STD. Telekomunikacijų pagrindiniai rodikliai. Prieiga internete, [Žiūrėta 2006 03 23] <http://www.std.lt>.
- [20] Richard Stevens W. *TCP/IP Illustrated - The Protocols*. Addison Wesley, second edition, 1994.
- [21] Willassen. A method for implementing mobile station location in gsm. Prieiga internete, [Žiūrėta 2005 11 07] <http://www.willassen.no/msl/diplom.html>.

A. Terminų ir santraukų žodynas

BSC	Base Station Controller	Bazinių stočių kontrolieris
BSS	Base Station Subsystem	Bazinių stočių sistema
BTS	Base Transceiver Station	Bazinė stotis
CL3I	Complete Layer 3 Information	3 lygmens baigta informacija
CI	Cell ID	Celės identifikacijos numeris
ECC	Emergency Call Centre	Kritinių skambučių centras
EIR	Equipment Identity Register	
ETSI	European Telecommunications Standardization Institute	Europos telekomunikacijų standartų institutas
GIS	Geographic Information System (Services)	
GPS	Global Positioning System	Globali pozicionavimo sistema
GSM	Global System for Mobile communications	Globali sistema mobilioms komunikacijoms
HLR	Home Location Register	Namų vietos registras
HO	HandOver	Perėmimas
IMEI	International Mobile Equipment Identity	Tarptautinis mobilios įrangos identifikatorius
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	Tarptautinis mobilaus abonento identifikatorius
ID	Identification	Identifikatorius
IP	Internet Protocol	Interneto protokolas
ITU	International Telecommunications Union	Tarptautinė telekomunikacijų sąjunga
LA	Location Area	Lokacijos zona
LAI	Location Area Identifier	Lokacijos zonų identifikatorius
M	Mandatory	Būtinasis
MAP	Mobile Application Part	Mobiliųjų taikymų dalis
MS	Mobile Station	Mobilioji stotis (telefonas)
MSC	Mobile Switching Centre	Mobilus paskirstymo centras
MSL	Mobile Station Location	Mobilios stoties vieta
O	Optional	Nebūtinasis
OSI	Open System Interconnection	Atvirų sistemų tarpusavio sąsajos
PI		Programinė įranga
PLMN	Public Land Mobile Network	
RRT		Ryšių reguliavimo tarnyba
SIM	Subscriber Identity Module	
SMS	Short Message Service	Trumpųjų žinučių paslauga
SS7	Signalling System 7	Signalų sistema 7
TA	Timing Advance	Laikinis atstumas
TCP	Transport Control Protocol	Transporto kontrolės protokolas
VLR	Visitor Location Register	Lankytojų vietos registras

B. Europos sąjungos ST15449 direktyvos ištrauka

Dėl duomenų, tvarkomų teikiant viešąsias elektroninių ryšių paslaugas, saugojimo.

B.1 4 straipsnis - Saugotinių duomenų kategorijos

1. Valstybės narės užtikrina, kad pagal šią direktyvą būtų saugomi tokių kategorijų duomenys:

(a) Duomenys, būtini norint surasti ir identifikuoti ryšio šaltinį:

i. Susiję su fiksuoto ryšio tinklo telefonija ir mobiliojo ryšio telefonija:

A. Telefono numeris, iš kurio skambinta.

B. Abonento ar registruoto naudotojo vardas ir pavardė (pavadinimas) bei adresas.

ii. Susiję su interneto prieiga, interneto elektroniniu paštu ir interneto telefonija:

A. Suteiktas naudotojo identifikatorius (identifikatoriai).

B. Naudotojo identifikatoriui ir telefono numeriui, suteiktam į viešojo telefono ryšio tinklą patenkančiam ryšiui.

C. Abonento ar registruoto naudotojo, kuriam sujungimo metu priskirtas buvo interneto protokolo (IP) adresui, naudotojo identifikatoriui ar telefono numeriui, vardui ir pavardei (pavadinimui) bei adresui.

(b) Duomenys, būtini [...] norint identifikuoti ryšio paskirties vietą:

i. Susiję su fiksuoto ryšio tinklo telefonija ir mobiliojo ryšio telefonija:

A. Rinktas telefono numeris ar numeriai (telefono numeris ar numeriai, į kuriuos skambinta), o papildomų paslaugų, pvz. skambučių peradresavimo ar skambučių per siuntimo atvejais - telefono numeris arba numeriai, į kuriuos parenkamas skambučio maršrutas.

B. Abonento (-ų) ar registruoto (-ų) naudotojo (-ų) vardas (-ai) ir pavardė (-ės) (pavadinimas (-ai)) bei adresas (-ai).

ii. Susiję su interneto elektroniniu paštu ir interneto telefonija:

- A. Naudotojo identifikatoriui arba interneto telefonijos skambučio numatomo (-ų) gavėjo (-ų) telefono numeriui.
 - B. Abonento(-ų) ar registruoto (-ų) naudotojo (-ų) vardui (-ams) ir pavardei (-ėms)(pavadinimui (-ams)) bei adresui (-ams) ir numatomo pranešimo gavėjo naudotojo identifikatoriui.
- (c) Duomenys, būtini norint identifikuoti ryšio datą, laiką ir trukmę:
- i. Susiję su fiksuoto ryšio tinklo telefonija ir mobiliojo ryšio telefonija:
 - A. Ryšio pradžios ir pabaigos data ir laikas.
 - ii. Susiję su interneto prieiga, interneto elektroniniu paštu ir interneto telefonija:
 - A. Prieigos prie interneto paslaugos seansų pradžios ir pabaigos data ir laikas tam tikroje laiko juostoje, kartu su prieigos prie interneto paslaugos teikėjo ryšiui priskirtu dinaminio ar statiniu IP adresu ir abonento ar registruoto naudotojo identifikatorius.
 - B. Interneto elektroninio pašto ir interneto telefonijos paslaugos seansų pradžios ir pabaigos datai ir laikui tam tikroje laiko juostoje.
- (d) Duomenys, būtini norint identifikuoti ryšio tipą:
- i. Susiję su fiksuoto ryšio tinklo telefonija ir mobiliojo ryšio telefonija:
 - A. Telefono ryšio paslauga, kuria pasinaudota.
 - ii. Susiję su interneto elektroniniu paštu ir interneto telefonija:
 - A. Interneto paslauga, kuria pasinaudota.
- (e) Duomenys, būtini norint identifikuoti naudotojų ryšio įrangą ar tai, kas turėtų būti jų įranga:
- i. Susiję su fiksuoto ryšio tinklo telefonija:
 - A. Telefono numeriai, iš kurių skambinta ir į kuriuos skambinta.
 - ii. Susiję su mobiliojo ryšio telefonija:
 - A. Telefono numeriai, iš kurių skambinta ir į kuriuos skambinta.
 - B. Kviečiančiosios šalies tarptautinis mobiliojo ryšio abonento identifikatorius (IMSI).
 - C. Kviečiančiosios šalies tarptautinis mobiliojo ryšio įrangos identifikatorius (IMEI).
 - D. Kviečiamosios šalies tarptautinis mobiliojo ryšio abonento identifikatorius (IMSI).

- E. Kviečiamosios šalies tarptautinis mobiliojo ryšio įrangos identifikatorius (IMEI).
 - F. Iš anksto apmokėtų anoniminių paslaugų atveju paslaugos pirminio aktyvavimo data ir laikas bei žyma vietos (Cell ID), iš kurios buvo aktyvuota.
- iii. Susiję su interneto prieiga, interneto elektroniniu paštu ir interneto telefonija:
- A. Telefono numeriui, iš kurio skambinama skambinimo prieigai.
 - B. Skaitmeninei abonentų linijai (DSL) arba kitam pranešimo siuntėjo galutiniam punktui.
- (f) Duomenys, būtini identifikuoti mobiliosios įrangos vietą:
- i. Vietos žyma (Cell ID) ryšio pradžioje.
 - ii. Duomenys, nurodantys geografinę vietą pagal nuorodą į vietos žymą (Cell ID) laikotarpiu, kuriuo saugomi ryšių duomenys.
2. Pagal šią direktyvą duomenys, atskleidžiantys pranešimo turinį, negali būti saugomi.

B.2 7 straipsnis - Saugojimo laikotarpiai

Valstybės narės užtikrina, kad 4 straipsnyje nurodytos duomenų kategorijos būtų saugomos ne trumpiau kaip 6 mėnesius ir daugiausiai dvejus metus nuo ryšio datos [...].

B.3 7a straipsnis - Duomenų apsauga ir duomenų saugumas

Nepažeisdama nuostatų, priimtų pagal Direktyvą 95/46/EB ir Direktyvą 2002/58/EB, kiekviena valstybė narė užtikrina, kad viešai prieinamų elektroninių ryšių paslaugų arba viešojo ryšių tinklo teikėjai pagal šią direktyvą saugomų duomenų atveju laikytųsi bent šių duomenų saugumo principų:

1. saugomi duomenys turi būti tokios pačios kokybės ir jiems taikomi tokie patys saugumo ir apsaugos reikalavimai kaip ir tinkle esantiems duomenims;
2. duomenims turi būti taikomos tinkamos techninės ir organizacinės priemonės, kad duomenys būtų apsaugoti nuo atsitiktinio ar neteisėto sunaikinimo, atsitiktinio praradimo, pakeitimo, neleistino ar neteisėto saugojimo, tvarkymo, naudojimo ar atskleidimo;
3. duomenims turi būti taikomos tinkamos techninės ir organizacinės priemonės siekiant užtikrinti, kad teisę naudotis duomenimis gautų tik specialiai įgaliotas personalas; ir

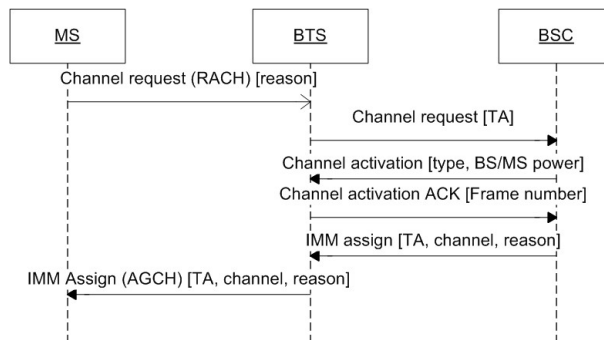
4. pasibaigus saugojimo laikotarpiui duomenys turi būti sunaikinami, išskyrus duomenis, kuriais buvo pasinaudota ir kurie buvo išsaugoti.

C. SS7 signalizacijos sekų diagramos

Šiame priede pateikiama GSM tinklo įvykių sekų diagramos, remiantis [3][10].

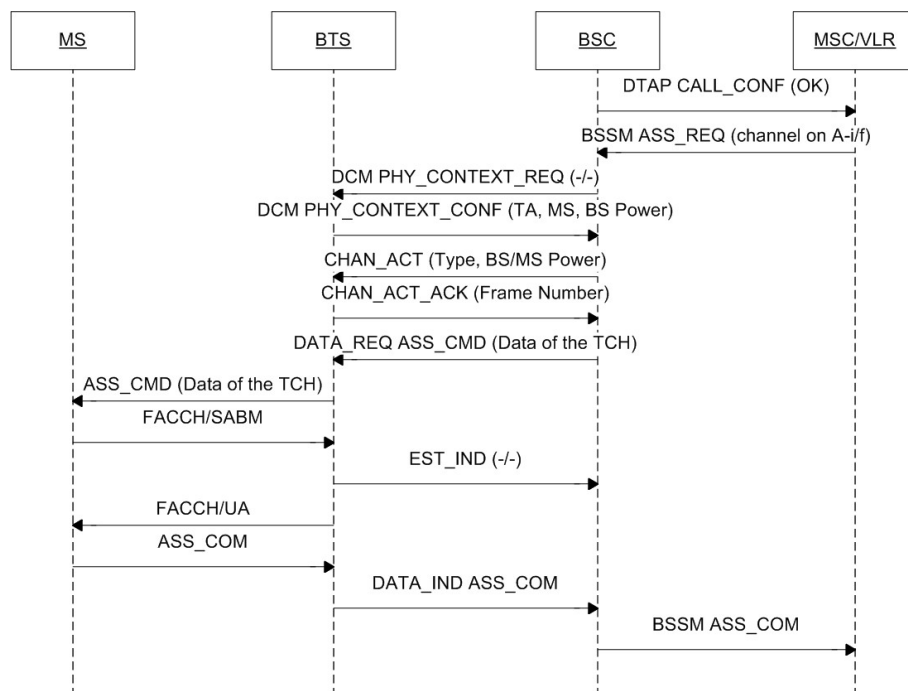
C.1 Radijo kanalai

Kontrolinio radijo kanalo rezervavimas



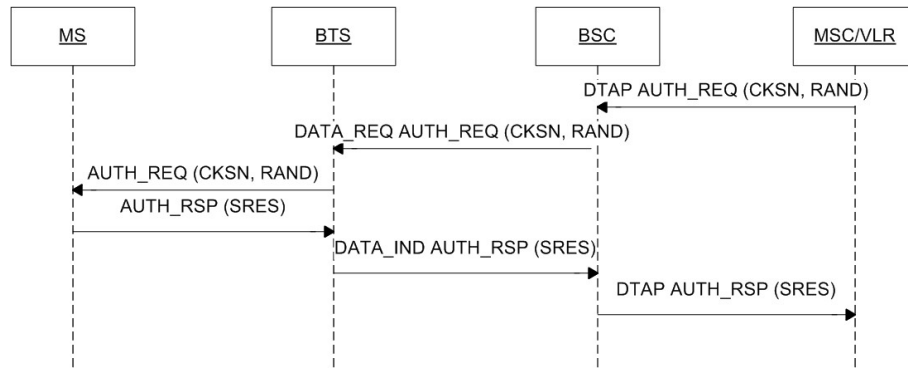
28 pav. Kontrolinio radijo kanalo rezervavimo įvykių seka

Duomenų radijo kanalo išskyrimas



29 pav. Duomenų radijo kanalo rezervavimo įvykių seka

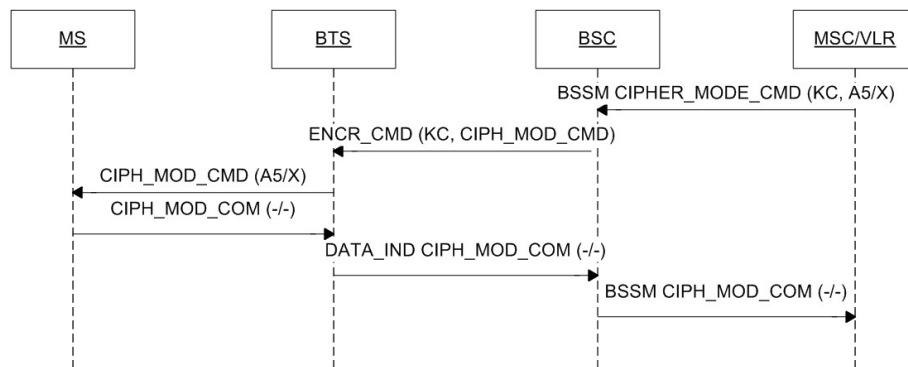
Autorizacijos pareikalavimas



30 pav. MS autorizavimo įvykių seka

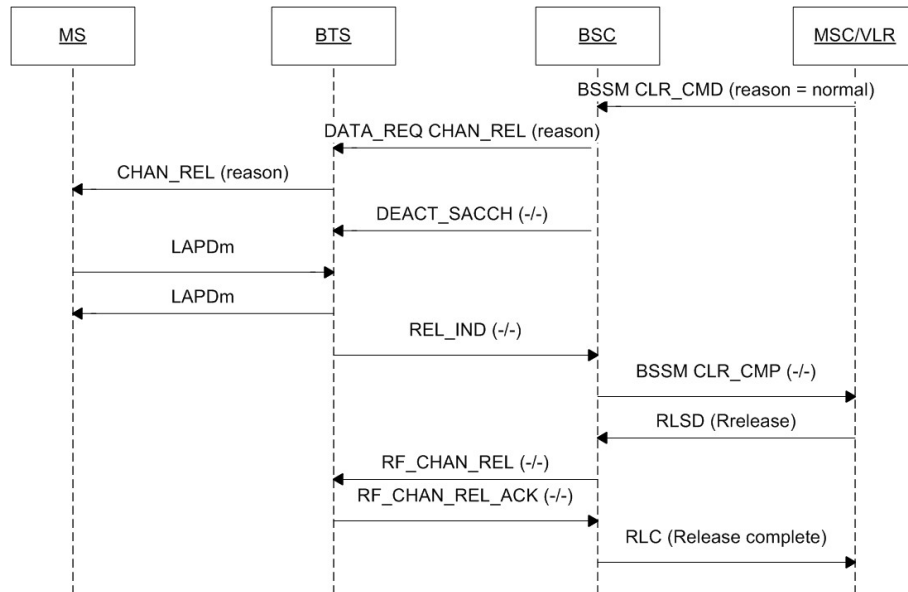
C.2 Šifravimas

Šifravimo (*Cipher*) režimo įjungimas



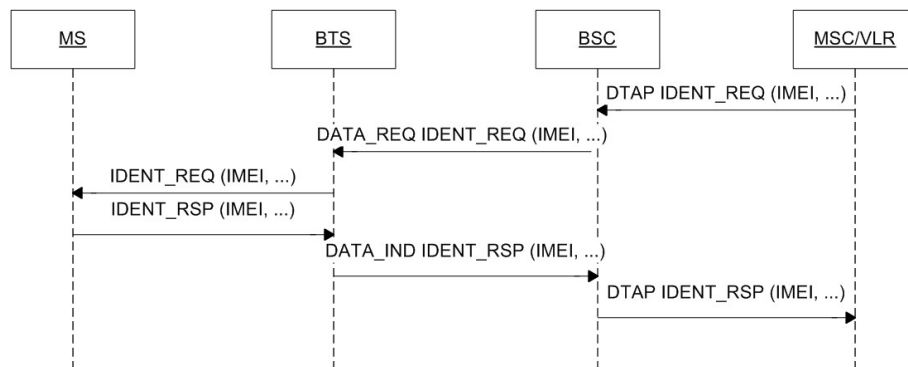
31 pav. Šifruoto režimo įjungimo įvykių seka

Šifravimo (*Cipher*) režimo išjungimas



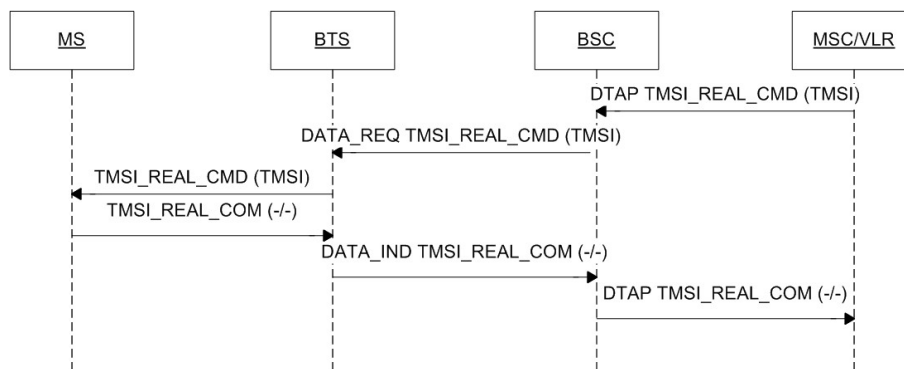
32 pav. Šifruoto režimo išjungimo įvykių seka

C.3 Įrangos identifikacija



33 pav. Identifikavimo įvykių seka

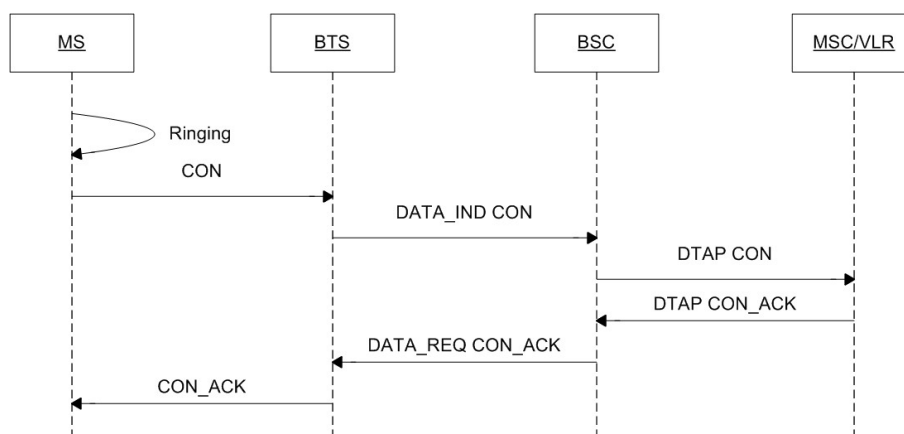
C.4 TMSI rezervacija



34 pav. TMSI rezervacijos įvykių seka

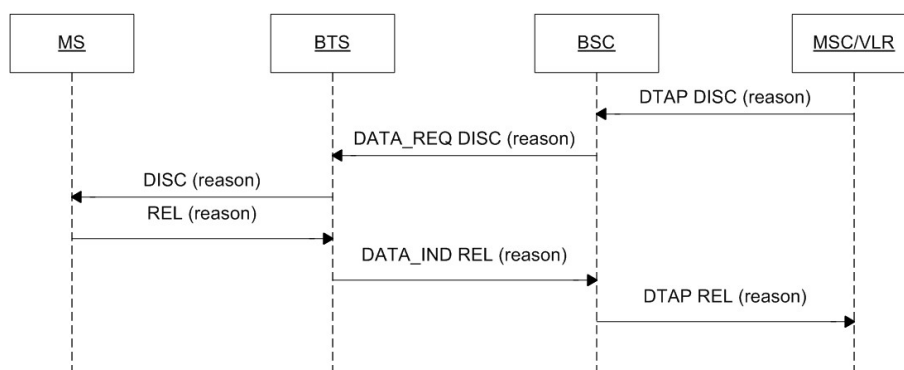
C.5 Skambučio pradžia ir pabaiga

Skambučio pradžia



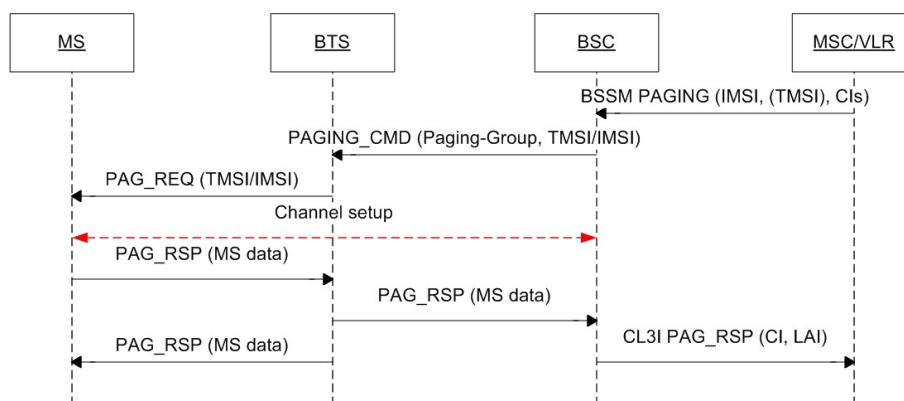
35 pav. Skambučio pradžios įvykių seka

Skambučio pabaiga



36 pav. Skambučio pabaigos įvykių seka

C.6 MS paieška (*paging*)



37 pav. MS paieškos įvykiu seka

D. GSM tinklo emuliatorius

D.1 Panaudojimo atvejai

D.1 lentelė Tinklo komponentų prijungimas prie modelio (taip pat atjungimas)

Tikslas	1. Prijungti komponentus prie tinklo topologijos siekiant sukurti funkcionuojantį tinklą ar pakeist jį jau veikiančią
Aktoriai	Tinklo modeliuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Šio panaudojimo atveju rezultatu naudojasi visi likę panaudojimo atvejai, bet tiesiogiai nėra susiję
Nefunkciniai reikalavimai	Turi būti galima įterpti komponentus tinklo veikimo metu; komponento įjungimas neturi sutrikdyti esamos sistemos darbo, nebent tai įvyktų dėl pačio komponento kaltės
Prieš-sąlygos	Norint pašalinti komponentą iš topologijos - jis turi egzistuoti
Sužadinimo sąlygos	Tinklo modeliuotojo užklausa
Po-sąlygos	Tinklo topologija modifikuota palyginant su prieš tai buvusia
Pagrindinis scenarijus	Norimo komponento išsirinkimas, jo sukūrimas, vartotojo pagedujamų parametrų specifikavimas, paruošto komponento pajungimas į jau esamą tinklą; komponento šalinimo atveju - pašalinti pasirinktą komponentą
Alternatyvūs scenarijai	Veiksmo nutraukimas bet kurioje pagrindinio scenarijaus vietoje

D.2 lentelė Komponentų darbo inicijavimas ir darbo nutraukimas

Tikslas	2. Sustabdyti arba inicializuoti tinklo komponentus
Aktoriai	Tinklo modeliuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Panaudojimo atvejis nėra panašus į joki kitą panaudojimo atvejį ir neturi ryšių su jais
Nefunkciniai reikalavimai	Turi būti galima inicijuoti/sustabdyti komponentus tinklo veikimo metu; inicijavimo/sustabdymo procesas neturi sutrikdyti esamos sistemos darbo, nebent tai įvyktų dėl pačio komponento kaltės
Prieš-sąlygos	Norint inicijuoti/sustabdyti komponentą - jis turi egzistuoti tinklo topologijoje
Sužadinimo sąlygos	Tinklo modeliuotojo užklausa
Po-sąlygos	Veikiančių komponentų skaičius pasikeitęs
Pagrindinis scenarijus	Norimo komponento išsirinkimas, jo inicializavimas/sustabdymas
Alternatyvūs scenarijai	Veiksmo nutraukimas bet kurioje pagrindinio scenarijaus vietoje

D.3 lentelė Pozicijos nustatymas naudojant Cell-ID metoda

Tikslas	3. Išnagrinėti pozicijos nustatymo Cell-ID metodu poveikį
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Kadangi tai bazinis lokacijos metodas, šito PA rezultatai lygintini su kitais lokacijos metodų tyrimo rezultatais. Taip pat gali būti kviečiamas iš kitų lokacijos, lokacijos duomenų atnaujinimo ir duomenų generavimo PA
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlygos	Funkcionuojanti emuliacijos sistema(t.y. aktoriaus "Tinklo modeliuotojas" įtraukti reikalingi sistemos moduliai šiam metodui)
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Nėra
Pagrindinis scenarijus	Nustatoma reikiamo abonento pozicija Cell-ID metodu. Naudojantis užduotais parametrais generuojamas pozicijos nustatymo užklausų srautas, gauta lokacijos informacija ir atskirų įrenginiu parametrai lokacijos nustatymo metu gražinami vartotojui
Alternatyvūs scenarijai	Klaidų raportavimas jeigu lokacijos informacijos nepavyko gauti dėl užduotų apribojimų (laiko, apkrovos)

D.4 lentelė Pozicijos nustatymas kombinuojant Cell-ID ir TA metodus

Tikslas	4. Išnagrinėti pozicijos nustatymo Cell-ID + TA metodu poveikį
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Gali būti kviečiamas iš kitų lokacijos, lokacijos duomenų atnaujinimo ir duomenų generavimo PA. Tiesiogiai siejasi su Cell-ID metodo tyrimo PA
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlygos	Funkcionuojanti emuliacijos sistema(t.y. aktoriaus "Tinklo modeliuotojas" įtraukti reikalingi sistemos moduliai šiam metodui). Tokius pat parametrus galinti priimti Cell-ID metodo sistema
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Nėra
Pagrindinis scenarijus	Naudojantis užduotais parametrais generuojamas pozicijos nustatymo užklausų srautas, gauta lokacijos informacija ir atskirų įrenginiu parametrai gražinami vartotojui
Alternatyvūs scenarijai	Klaidų raportavimas jeigu lokacijos informacijos nepavyko gauti dėl užduotų apribojimų (laiko, apkrovos)

D.5 lentelė. Pozicijos informacijos atnaujinimas GSM tinkle naudojant specialiai suformuota SMS

Tikslas	5. Nagrinėti lokacijos informacijos atnaujinimo siunčiant specialiai suformuotą SMS poveikį tinklui
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Gali būti kviečiamas iš įvairių duomenų generavimo PA
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlygos	Funkcionuojanti emuliacijos sistema
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Informacija apie lokaciją komponentų sistemoje atsinaujina ir galima ją nustatyti naudojantis nustatymo PA
Pagrindinis scenarijus	Siunčiamas lokacijos atnaujinimo SMS, fiksuojami sistemos parametrai. Sistemos analistui gražinami rezultatai
Alternatyvūs scenarijai	Tam tikrais atvejais (išjungtas MS ir t.t.) informacijos atnaujinti nepavyksta, sistemos analistas priima sprendimą dėl šio specifinio atvejo tolimesnio įvertinimo. (tarkim duoto MS įrenginio įjungimo ar pašalinimo iš sistemos naudojant kitus PA)

D.6 lentelė Pozicijos informacijos atnaujinimas GSM tinkle naudojant nutrauktą skambutį

Tikslas	6. Nagrinėti lokacijos informacijos atnaujinimo nutraukiant skambutį pradiniam etape poveikį sistemai
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Gali būti kviečiamas iš kitų lokacijos, lokacijos duomenų atnaujinimo ir duomenų generavimo PA. Tiesiogiai siejasi su Cell-ID metodo tyrimo PA
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlygos	Funkcionuojanti emuliacijos sistema
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Informacija apie lokaciją komponentų sistemoje atsinaujina ir galima ją nustatyti naudojantis nustatymo PA
Pagrindinis scenarijus	Sistemoje inicijuojamas skambutis, jis tam tikroje fazėje po abonentų aktyvacijos, bet prieš suskambant mobiliam telefonui. Fiksuojamas lokacijos informacijos atsinaujinimo kituose sistemos mazguose faktas. Sistemos analistui gražinami rezultatai
Alternatyvūs scenarijai	Tam tikrais atvejais (išjungtas MS ir t.t.) informacijos atnaujinti nepavyksta, sistemos analistas priima sprendimą dėl šio specifinio atvejo tolimesnio įvertinimo. (tarkim duoto MS įrenginio įjungimo ar pašalinimo iš sistemos naudojant kitus PA)

D.7 lentelė Poveikis paslaugų kokybei padidinus/sumažinus sąsajų tarp tinklo mazgų pralaidumą

Tikslas	7. Skirtas atlikti modifikuotos sistemos analizę keičiant sąsajų tarp tinklo mazgų pralaidumą
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Naudoja lokacijos/atnaujinimo PA
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlygos	Funkcionuojanti emuliacijos sistema
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Generuojama palyginimo ataskaita
Pagrindinis scenarijus	Keičiami topologijos parametrai, generuojamas lokacijos/atnaujinimo užklausių srautas, nagrinėjant gautus rezultatus diagnozuojamos sistemos (t.y. tinklo) problemos prieš ir po modifikacijų ir pateikiami duomenis apie teigiamus ir neigiamus poveikius
Alternatyvūs scenarijai	Nėra

D.8 lentelė Poveikis paslaugų kokybei padidinant/sumažinant mazgų skaičių

Tikslas	8. Skirtas atlikti modifikuotos sistemos analizę keičiant mazgų skaičių
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Naudoja lokacijos/atnaujinimo PA
Nefunkciniai reikalavimai	Būtina atsižvelgti į aktoriaus užduotą minimalų ir maksimalų įrenginių skaičių ir jo neperžengti
Prieš-sąlygos	Funkcionuojanti emuliacijos sistema
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Generuojama palyginimo ataskaita
Pagrindinis scenarijus	Keičiami topologijos parametrai, generuojamas lokacijos/atnaujinimo užklausių srautas, nagrinėjant gautus rezultatus diagnozuojamos sistemos (t.y. tinklo) problemos prieš ir po modifikacijų, pateikiami duomenis apie teigiamus ir neigiamus poveikius
Alternatyvūs scenarijai	Nėra

D.9 lentelė Ribinių pralaidumų matavimas ir optimalios GSM tinklo struktūros formavimas

Tikslas	9. Skirtas nagrinėti ribiniams pralaidumams ir optimalios duotam lokacijos informacijos paėmimo/atnaujinimo metodui sistemos struktūros nustatymui
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Naudojami paslaugų kokybės didinant/mažinant mazgų skaičių, keičiant pralaidumą PA
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlygos	Funkcionuojanti emuliacijos sistema
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Išvedami optimalios sistemos parametrai
Pagrindinis scenarijus	: Pasirenkami pradiniai sistemos parametrai. Atsižvelgiant į tam tikrus algoritmus ieškoma optimalios tinklo struktūros. Kiekviena struktūra nagrinėjama atskirai. Gauti rezultatai apibendrinami. Siūloma sistemos struktūra/pralaidumo parametrų ribos pateikiamos analitikui
Alternatyvūs scenarijai	Nėra

D.10 lentelė Judančių mobiliųjų objektų grupių duomenų generavimas

Tikslas	10. Pateikti vartotojui grupės mobiliųjų objektų poziciją
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Vykdam šį panaudojimo atvejį naudojamas vienu ar daugiau iš šių PA: Pozicijos nustatymas naudojant Cell-ID metodą; Pozicijos nustatymas kombinuojant Cell-ID ir TA metodus; Pozicijos informacijos atnaujinimas GSM tinkle naudojant specialiai suformuota SMS; Pozicijos informacijos atnaujinimas GSM tinkle naudojant nutrauktą skambutį;
Nefunkciniai reikalavimai	Grupės dydis ribojamas tik tinklo topologijos
Prieš-sąlygos	Analizuojamos grupės objektai turi egzistuoti
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Nėra
Pagrindinis scenarijus	Mobiliųjų objektų grupės sąrašo sudarymas, kiekvieno grupės nario duomenų išgavimas bei perdavimas vartotojui
Alternatyvūs scenarijai	Duomenų iškraipymas ar neišgavimas dėl klaidų modeliuojama tinkle

D.11 lentelė Judančių mobiliųjų objektų pavienių duomenų generavimas

Tikslas	11. Pateikti vartotojui mobilaus objekto poziciją
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Vykdam šį panaudojimo atvejį naudojamosi vienu ar daugiau iš šių PA: Pozicijos nustatymas naudojant Cell-ID metodą; Pozicijos nustatymas kombinuojant Cell-ID ir TA metodus; Pozicijos informacijos atnaujinimas GSM tinkle naudojant specialiai suformuota SMS; Pozicijos informacijos atnaujinimas GSM tinkle naudojant nutrauktą skambutį;
Nefunkciniai reikalavimai	Nėra
Prieš-sąlygos	Analizuojamas objektas turi egzistuoti
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Nėra
Pagrindinis scenarijus	Objekto duomenų išgavimas ir perdavimas vartotojui
Alternatyvūs scenarijai	Duomenų iškraipymas ar neišgavimas dėl klaidų modeliuojama tinkle

D.12 lentelė Duomenų išankstinė optimizacija vėlesnei analizei

Tikslas	12. Pateikti vartotojui optimizuotus mobilaus objekto lokacijos duomenis (reikalaujamų resursų arba tikslumo aspektu)
Aktoriai	Tinklo analizuotojas
Ryšiai su kitais panaudojimo atvejais	Šis panaudojimo atvejis su kitais PA nesisieja
Nefunkciniai reikalavimai	Grąžinami rezultatai turi būti optimalūs vartotojo pageidaujamu aspektu
Prieš-sąlygos	Nėra
Sužadinimo sąlygos	Tinklo analizuotojo užklausa
Po-sąlygos	Nėra
Pagrindinis scenarijus	Vartotojo duomenų apie mobilaus objekto lokaciją analizė, pritaikant algoritmus aproksimuoti lokacijos informaciją pageidaujamu tikslumu, rezultatai grąžinti vartotojui
Alternatyvūs scenarijai	PA veikimo nutraukimas

[5],[20],[16],[19],[11],[8],[10],[13],[14],[1],[6],[7],[8],[12],[3],[10],[9],[2],[18],[21],[15],[17],[4]