

Programiniai GSM talpos didinimo būdai

Bronislovas Dzindzelėta

UAB „Omnitel“

T. Ševčenkos g. 25, LT – 03503 Vilnius, Lietuva, tel. +370 5 2745519; el. p. b.dzindzeleta@omnitel.net

Vaidas Batkauskas

Telekomunikacijų inžinerijos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

Naugarduko g. 41, LT – 03227 Vilnius, Lietuva, tel. +370 698 63448; el. p. vaidasbatkauskas@delfi.lt

Įvadas

GSM paslaugos tapo pačios populiariausios Europoje ir vienos iš populiariausių pasaulyje, o GSM telefonas perėjo iš prabangos reikmenų kategorijos į vartojamųjų reikmenų kategoriją. Jau dabar mobiliųjų telefonų Lietuvoje yra daugiau negu fiksuoto ryšio telefonų.

Toks GSM pasisekimas, be akivaizdžių pranašumų, yra ir didelis iššūkis standartų kūrėjams, įrangos gamintojams ir tinklų operatoriams. Beveik visi tinklai turi perduoti didelius informacijos kiekius, bet tam reikia įvairiais būdais padidinti GSM tinklo talpą.

Šiame straipsnyje apžvelgsime veiksnius, kurie lemia GSM tinklo talpą, ir išanaluosime programinius GSM tinklo talpos padidinimo būdus. Nagrinėsime telefonų ir stočių galios reguliavimą (Uplink Power Control and Downlink Power Control), trūkųjį siuntimą (DTX – Discontinuous Transmission) ir dažnių keitimo (Synthesized Frequency Hopping – SFH) technologijas. Apskaičiuosime, kokia būtų GSM sistemos talpa be paminėtų priemonių, ir teoriškai įvertinsime jų duodamą naudą. Pateiksime GSM tinklo matavimų rezultatus, kurie patvirtina programinių talpos didinimo priemonių efektyvumą.

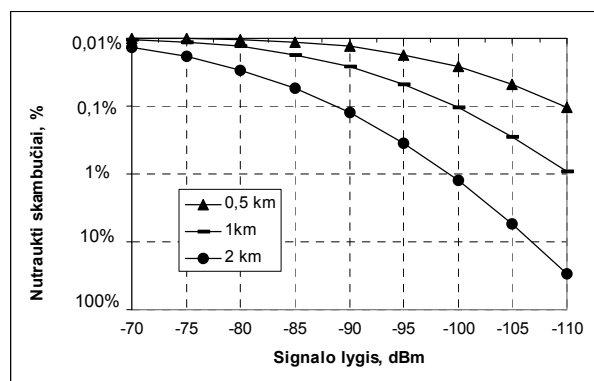
GSM tinklo planavimas

GSM tinklas yra skaitmeninio ryšio tinklas, aprašytas ETSI standartų GSM dalyje, o radijo dalies pagrindinės ypatybės išdėstytos [1]. Dėl daugelio techninių, ekonominių ir politinių priežasčių šis tinklas yra plačiausiai naudojamas tinklas pasaulyje. Jo vartotojų skaičius ir apkrova labai sparčiai auga – 50 – 100 % per metus, taigi per keletą metų išauga iki kelių šimtų kartų.

GSM tinklas yra planuojamas taip, kad jo aprėpties zonoje būtų užtikrintas pakankamas signalo lygis bei pakankamas signalo ir trukdžio santykis pagal taisykles, išdėstytas [2, 3]. Apskaičiuoti rezultatai, esant sklaidimo atstumams 0,5; 1 ir 2 km (miesto sąlygomis), 10 dB signalo dispersijai ir 150 dB GSM kanalo galių biudžetui, parodyti 1 paveiksle.

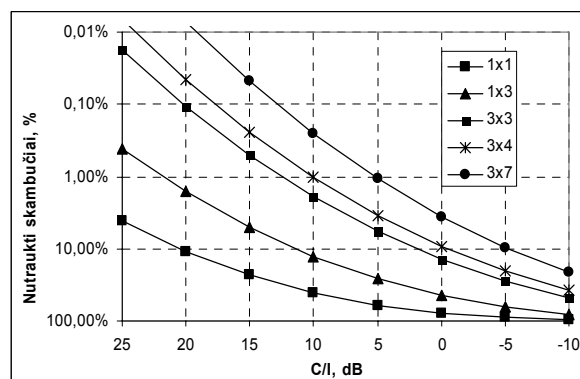
Matome, kad ribinis GSM signalo lygis –104 dBm ir pakankama ryšio kokybė miesto sąlygomis gali būti

garantuota tik 0,5 – 1,5 km nuo stoties. Praktikoje šis atstumas dar svyruoja priklausomai nuo reljefo, pastatų aukščio, tipo ir slopinimo.



1 pav. Skambučių nutrūkimo priklausomybė nuo signalo lygio

Panašiai galime apskaičiuoti, koks gali būti signalo ir trukdžio santykis (C/I), esant įvairioms dažnio pakartotinio naudojimo schemoms. Modeliavimo rezultatai, kai signalo dispersija yra 10 dB, o dažniai pakartotinai naudojami kas 1, 3, 9, 12 ir 21 narvelį (pakartotinio naudojimo schemos 1x1, 1x3, 3x3, 3x4, 3x7), parodyti 2 paveiksle. Matome, kad ribinis signalo ir trukdžio santykis 9 dB ir pakankama ryšio kokybė galima esant 12 unikalių dažnių, tai yra naudojant 3x4 pakartotinio naudojimo schemą.



2 pav. Skambučių nutrūkimo priklausomybė nuo trukdžių. Čia 1x1, 1x3, 3x3, 3x4, 3x7 yra pakartotinio naudojimo schemos kai dažniai pakartotinai naudojami kas 1, 3, 9, 12 ir 21 narvelį

Tačiau tai tik teoriniai rezultatai. Praktikoje pakankama kokybė užtikrinama tik naudojant 21 dažnio (3x7) pakartotinio naudojimo schemą, kurios C/I yra 4 dB didesnė. Taip yra todėl, kad C/I dispersija yra didesnė nei 10 dB. Pagrindinės to priežastys yra nevienodi atstumai tarp stočių, skirtingi stočių aukščiai ir nevienodos sklaidimo sąlygos.

Trukdžių mažinimas taikant galios reguliavimą (Power Control) ir trūkųjį siuntimą (Discontinuous Transmission)

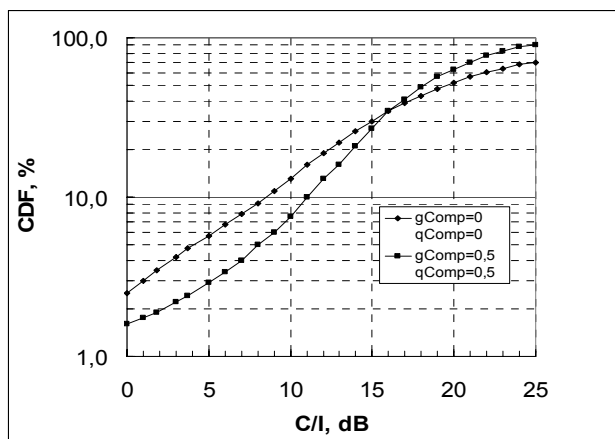
Iš modeliavimo rezultatų matome, kad, norint užtikrinti GSM sistemos kokybę, ši sistema skaičiuojama blogiausiam atvejui ir turi veikti su didele priimamo signalo lygio atsarga. Kadangi gera signalo kokybė turi būti užtikrinta net ir narvelio pakraščiuose, todėl arčiau narvelio centro gaunama dar didesnė kokybės atsarga.

Reguliuojant galią (PC – power control) konkretaus GSM seanso trukdžių ir signalo lygis nuolat pritaikomas prie minimalaus galimo lygio. GSM sistemose galia reguliuojama pagal [4] aprašytus algoritmus. Signalų lygis matuojamas dBm, o jo kokybė matuojama klaidų skaičiumi kanale (RxQual). Šie matavimai atliekami nuolat aktyvios GSM sesijos metu kas 480 ms, o reguliuojama 1-2 kartus per sekundę. Išmatavus radijo kanalo parametrus GSM sistema reguliuoja mobilios ir bazinės stočių galią taip, kad radijo parametrai neišeitų už nustatytų ribų (veikia kaip tipiška sistema su neigiamu grįžtamoju ryšiu).

Norint, kad ši sistema veiktų optimaliai, reikia atskirti BCCH ir TCH kanalų dažnius, kad nebūtų sąveikos tarp nereguliuojamų arba beveik nereguliuojamų BCCH kanalų ir TCH kanalų, kurie gali būti reguliuojami be jokių apribojimų. Taip pat reikia optimaliai parinkti galios reguliavimo algoritmo parametrus, kad būtų galima: 1) maksimaliai sumažinti GSM sistemos spinduliuojamą galią, padidinti grįžtamojo ryšio koeficientą; 2) pasiekti maksimalų reguliavimo greitį; 3) išvengti sistemos nestabilumą dėl per didelio grįžtamojo ryšio koeficiento ir/ar reguliavimo greičio; 4) išlaikyti reguliuojamo ryšio kanalo kokybę [5].

Galios reguliavimo įtaka kokybiniais parametrams [5] parodyta 3 paveiksle. Rezultatai gauti modeliuojant daugelio telefonų GSM sistemoje elgseną įvertinant signalo sklaidimo dispersiją erdvėje, fliktuaciją laikui bėgant ir mobiliųjų telefonų tarpusavio trukdžius.

Grafikas rodo, koks procentas matavimo atskaitų priskiriamas vienai ar kitai C/I vertei (kumuliatyvinė C/I pasiskirstymo funkcija – CDF) dviem atvejais: 1) kai galios reguliavimas išjungtas (gcomp=0 ir qcomp=0); 2) kai galia reguliuojama pagal priimamo signalo lygį (gcomp=0,5) ir pagal priimamo signalo kokybę (qcomp=0,5). Čia gcomp ir qcomp yra siuntimo galios reguliavimo gylį nurodantys koeficientai. Matome, kad mobiliojo telefono siuntimo galios iš viso nereguliuojant, nepakankama signalo kokybė (C/I < 9dB) bus 10 % atvejų. Kai siuntimo galia reguliuojama pagal priimamo signalo galią ir kokybę, problemišku vietų sumažėja apie du kartus.



3 pav. Įvairių galios reguliavimo algoritmų efektyvumas. CDF parodo, koks procentas matavimo atskaitų priskiriamas vienai ar kitai C/I vertei dviem atvejais: 1) kai galios reguliavimas išjungtas (gcomp=0 ir qcomp=0); 2) kai galia reguliuojama pagal priimamo signalo lygį (gcomp=0,5) ir pagal priimamo signalo kokybę (qcomp=0,5)

Gautą kokybės padidėjimą galima perskaičiuoti į talpos padidėjimą, įvertinus C/I pokytį. Matome, kad, esant tai pačiai kokybei, C/I santykis gali būti sumažintas 4 dB (jei CDF=10 %, C/I kinta nuo 8 dB iki 12 dB). 1 paveiksle buvo parodyta, kad 4 dB C/I pokytis yra tarp 3x7 ir 3x4. Įvertinus papildomą 3 dB trukdžių sumažėjimą dėl DTX (Discontinuous Transmission) C/I pokytis gali siekti iki 7 dB ir net 3x3 dažnio pakartotinio naudojimo schema tampa galima.

Žinant galimas dažnio pakartotinio naudojimo schemas, stoties aptarnavimo zoną ir GSM kanalų skaičių, galima apskaičiuoti, kokią maksimalią apkrovą kvadratiname kilometre galima pasiekti (Erl/km²). Gauti rezultatai, kai stoties darbo spindulys yra 0,5 km ir turime 40 GSM kanalų dažnių juostą bei naudojamos įvairios technologijos kartu su įvairiomis dažnių pakartotinio naudojimo schemomis, parodyti 1 lentelėje.

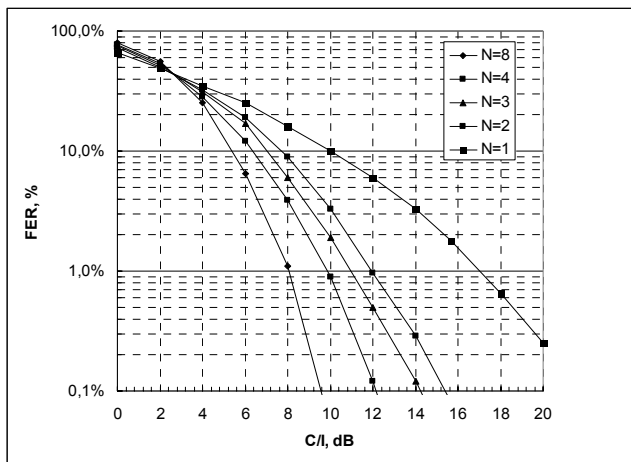
1 lentelė. GSM sistemos talpos priklausomybė nuo galios reguliavimo – PC (Power Control), trūkiojo siuntimo – DTX (Discontinuous Transmission) ir dažnių pakartotinio naudojimo schemų

Technologijos	Be PC, be DTX	Su PC, be DTX	Su PC, su DTX
Pakartotinio naudojimo schema (BCCH)	7x3	7x3	7x3
Pakartotinio naudojimo schema (TCH)	7x3	4x3	3x3
Bendras BCCH nešlių skaičius	21	21	21
Bendras TCH nešlių skaičius	19	19	19
BCCH nešlių skaičius viename narvelyje	1	1	1
TCH nešlių skaičius viename narvelyje	0,9	1,6	2,1
Balso kanalų skaičius viename narvelyje	13	19	23
Maksimalus narvelio pralaidumas, Erl	7,41	12,34	15,77
Maksimali sistemos talpa, Erl/km ²	28	47	60

Iš modeliavimo rezultatų matome, kad GSM sistemos talpa, kai papildomos programinės priemonės nenaudojamos, yra apie 28 Erl/km². Panaudojus galios reguliavimo ir trūkiojo siuntimo technologijas TCH nešiams galima taikyti 3x3 dažnių pakartotinio naudojimo schemą ir padidinti maksimalią sistemos talpą apie du kartus – iki 60 Erl/km².

Trukdžių mažinimas taikant dažnių kitimo technologiją (Frequency Hopping)

Norint toliau didinti GSM sistemos talpą, būtina mažinti naudingo ir trikdančiojo signalų dispersiją. Pats efektyviausias būdas GSM sistemoje yra dažnių kitimo technologija – SFH (Synthesized Frequency Hopping), kurios esmė – pastovus ir spartus (217 kartų per sekundę) dažnių kitimas kiekviename GSM narvelyje. Tai gi nebelieka narvelių, kurių naudojamiems dažnio kanalams C/I vertė yra labai didelė arba labai maža. Naudojant 8 dažnio kanalus viename narvelyje, C/I vertė praktiškai tampa vidutine visų panaudotų kanalų C/I verte. Naudojant SFH, signalo lygio svyravimai, kurie yra labai priklausomi nuo dažnio ir signalo lygio vidurkinimo, tampa stacionaresni ir narvelyje labai sumažėja žemo signalo lygio situacijų. Tai ekvivalentiška apie 3-5 dB jautrumo pagerėjimui. Analogiškai sumažėja ir trikdančiojo signalo dispersija. Dėl to labai padidėja sistemos atsparumas trukdžiams. Tyrimų rezultatai, aprašyti [6], parodyti 4 paveiksle.



4 pav. Prarastų paketų skaičiaus – FER (Frame Error rate) priklausomybė nuo C/I ir dažnių skaičiaus narvelyje. Čia N = 1; 2; 3; 4; 8 – dažnių skaičius viename narvelyje

Kaip matome, kai narvelyje yra pakankamas dažnių skaičius, galima iki 9 dB padidinti sistemos atsparumą trukdžiams. Šis padidėjimas yra net didesnis už atsparumo trukdžiams padidėjimą naudojant galios reguliavimo ir trūkiojo siuntimo (PC ir DTX) technologijas.

Dėl tokio didelis atsparumo trukdžiams padidėjimo galima naudoti agresyvesnes 1x3 ir 1x1 dažnių pakartotinio naudojimo schemas, kai vienodi dažniai naudojami kas stotis (1x3 schema) arba net kas narvelis (1x1 schema). Teorinių skaičiavimų ir praktinių tyrimų metu nustatyta, kad, naudojant, PC ir DTX technologijas bei esant 1x3 schemai, vidutinis SFH dažnių užimtumas gali siekti 40 %. Naudojant 1x1 schemą vidutinis dažnių

užimtumas gali siekti 20 %. Viršijus apskaičiuotą dažnių užimtumą vidutinė C/I vertė, gauta naudojant SFH, pradeda greitai mažėti, o signalo kokybė prastėti.

Maksimali GSM sistemos talpa, esant 0,5 km stoties darbo spinduliui, 40 GSM kanalų dažnių juostai ir 40 % užimtumui 1x3 dažnių pakartotinio naudojimo schemai bei 20 % užimtumui – 1x3 schemai, parodyta 2 lentelėje.

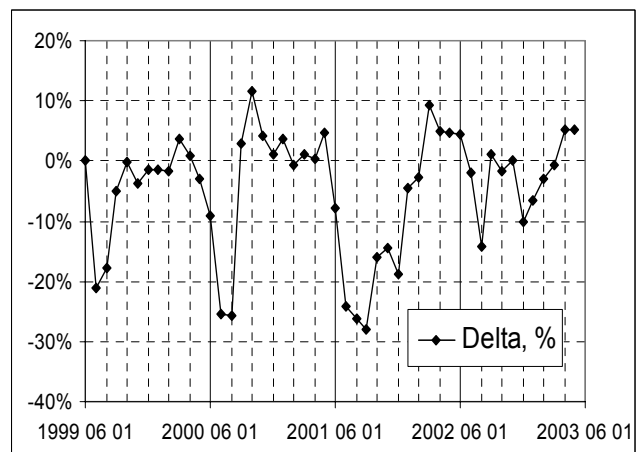
2 lentelė. GSM sistemos talpos priklausomybė nuo naudojamų PC, DTX, FH technologijų ir dažnių pakartotinio naudojimo schemų

Technologijos	1x3 SFH	1x1 SFH
Pakartotinio naudojimo schema (BCCH)	7x3	7x3
Pakartotinio naudojimo schema (TCH)	1x3	1x1
Bendras BCCH nešlių skaičius	21	21
Bendras TCH nešlių skaičius	19	19
BCCH nešlių skaičius viename narvelyje	1	1
TCH nešlių skaičius viename narvelyje	6,3	19
Balso kanalų skaičius viename narvelyje	26,16	36,4
Maksimalus narvelio pralaidumas, Erl	18,39	27,35
Maksimali sistemos talpa, Erl/km ²	70	105

Iš modeliavimo rezultatų matome, kad taikant dažnio keitimo algoritmus TCH nešiams galima naudoti 1x1 dažnių pakartotinio naudojimo schemą ir maksimalią sistemos talpą galima padidinti apie 1,8 karto – iki 105 Erl/km².

Praktiniai rezultatai

Didėjant GSM klientų skaičiui ir apkrovai, „Omnitel“ nuosekliai diegė visas straipsnyje aptartas technologijas. Iš pradžių buvo įdiegtas galios reguliavimas (PC), o paskui trūkiojo siuntimas (DTX) ir kintančio dažnio (FH) pakartotinio naudojimo schemas 1x3 ir 1x1. Aptartų technologijų efektyvumo kriterijumi gali būti tinklo kokybės parametru kitimas laikui bėgant. Vienas iš pagrindinių GSM tinklo kokybės parametru yra nutrūkusių skambučių procentas. Šio parametru „Omnitel“ tinkle priklausomybė nuo laiko parodyta 5 paveiksle.



5 pav. „Omnitel“ tinklo nutrūkusių skambučių kitimas vidutinės vertės atžvilgiu laikui bėgant

Kaip matome, nuolat didėjant abonentų skaičiui ir perduodamos informacijos srautams, tuo pačiu metu nuosekliai diegiant aptartas programines GSM tinklų talpos didinimo technologijas, vieną iš esminių GSM tinklo kokybės parametrų – nutrūkusių skambučių procentą – pavyko išlaikyti beveik pastovų.

Išvados

Darbe buvo apžvelgti fizikiniai veiksniai, lemiantys GSM tinklo talpą, ir detalčiai išanalizuoti programiniai GSM tinklo talpos padidinimo būdai. Tai yra telefonų ir stočių galios reguliavimas (Power Control), trūkusių siuntimas (Discontinuous Transmission) ir dažnių keitimas (Synthesized Frequency Hopping – SFH). Iš modeliavimo rezultatų matome, kad GSM sistemos, kurios stoties darbo spindulys yra 0,5 km, talpa nenaudojant papildomų programinių priemonių yra apie 28 Erl/km². Kuriant GSM sistemą buvo orientuojamasi į daug didesnes bazinių stočių aprėpties teritorijas, gerą kokybę ir ribotą sistemos apkrovą, tačiau pastaruoju metu smarkiai plečiantis mobiliojo ryšio paslaugų vartojimui reikėjo padidinti sistemos talpą išlaikant gerą paslaugų kokybę.

Iš modeliavimo rezultatų matome, kad galios reguliavimo ir trūkiojo siuntimo algoritmai sistemos talpą gali padidinti apie du kartus – nuo 28 Erl/km² iki 60

Erl/km². Taikant dažnio keitimo algoritmus šią talpą galima padidinti dar apie 1,8 karto – iki 105 Erl/km².

Iš pateiktų GSM tinklo matavimų rezultatų matome, kad nepriklausomai nuo didelio klientų ir apkrovos augimo programinių talpos padidinimo priemonių taikymas praktikoje leido išlaikyti gerą GSM ryšio kokybę „Omnitel“ tinkle.

Literatūra

1. **3 GPP** Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Physical layer on the radio path; General description. GSM 05.01 version 8.4.0.
2. **3 GPP** Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio network planning aspects. GSM 03.30 version 8.3.0.
3. **Blaunstein N.** Radio propagation in cellular networks. Norwood, 2000.
4. **3 GPP** Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio subsystem link control. GSM 05.08 version 4.22.
5. **Caixa C.** GSM Frequency. IEEE 44th Vehicular Technology Conference. Sveden, 1994.
6. **Preben E.** Antenna diversity in GSM related systems. Mobile Radio Communications. 1996.

Pateikta spaudai 2004

B. Dzindzelėta, V. Batkauskas. Programiniai GSM talpos didinimo būdai // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 4(53). – P. 67–70.

Apžvelgiami programiniai GSM tinklo talpos didinimo būdai. Pateikiami pagrindiniai radijo tinklo planavimo kriterijai, tiriama kokybinių parametrų priklausomybė nuo dažnio pakartotinio naudojimo schemų (1x1, 1x3, 3x3, 3x4, 3x7) ir signalo sklaidimo ypatybių. Analizuojami spinduliuojamos galios reguliavimo (Uplink Power Control and Downlink Power Control) ir trūkiojo siuntimo (Discontinuous Transmission – DTX) algoritmai, pateikiami teorinių skaičiavimų rezultatai, kurie rodo, kiek, naudojant šiuos algoritmus, padidėja signalo ir triukšmo santykis ir ekvivalentinė tinklo talpa. Taip pat nagrinėjama dažnių keitimo technologija (Synthesized Frequency Hopping – SFH), analizuojama skirtingų dažnių sekų įtaka sistemos talpai. Tiriama bendra visų priemonių įtaka tinklo kokybiniais parametrams bei maksimaliai galimai sistemos apkrovai. Modeliavimo metu nustatyta, kad galios reguliavimo ir trūkiojo siuntimo algoritmai signalo ir triukšmo santykį gali padidinti iki 7 dB. Šie algoritmai išlaikant gerą kokybę tinklo talpą gali padidinti apie du kartus – nuo 28 Erl/km² iki 60 Erl/km². Dažnio keitimo algoritmas signalo ir triukšmo santykį gali padidinti iki 9 dB. Naudojant šį algoritmą tinklo talpą papildomai galima padidinti dar apie 1,8 karto – iki 105 Erl/km². Pateikti GSM tinklo matavimų rezultatai rodo, kad nepriklausomai nuo didelio klientų ir apkrovos didėjimo taikant programines talpos padidinimo priemones galima išlaikyti gerą GSM ryšio kokybę „Omnitel“ tinkle. Il. 5, bibl. 6 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų kalbomis).

B. Dzindzelėta, V. Batkauskas. Software Methods of Increasing of GSM Network Capacity // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 4(53). – P. 67–70.

Software methods for increasing of GSM network capacity are reviewed. Basic radio network planning criteria are presented. Dependency of GSM QoS parameters upon frequency reuse scheme and signal penetration is investigated. Power Control and Discontinuous Transmission algorithms are analyzed and results of theoretical calculations of network segment capacity are presented. Calculation results indicate how much use of these algorithms can increase C/I ratio and network capacity. Influence of usage of frequency reuse schemes and Synthesized Frequency Hopping technology upon network capacity is analyzed as well. Using Power Control and Discontinuous Transmission algorithms system capacity could be increased up to two times from 28 Erl/km² up to 60 Erl/km². Using Synthesized Frequency Hopping technology system capacity could be additionally increased up to 1,8 times up to 105 Erl/km². Presented results of GSM network measuring show that irrespectively of quickly growing number of users and system load, the usage of Software methods for increasing of network capacity ensure high GSM QoS in the Omnitel network. Ill. 5, bibl. 6 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, Russian, English).

Б. Дзиндзелета, В. Баткаускас. Програмные методы увеличения емкости GSM сети // Электроника и электротехника. – Каунас : Технология , 2004. - №. 4(53). – С. 67–70.

Описана методика увеличения емкости GSM сетей. Определены базовые критерии планирования GSM сетей. Представлены результаты исследований влияния частотного планирования (frequency reuse), области распространения сигнала и алгоритмов изменения частоты (Synthesized Frequency Hopping) на качественные и количественные характеристики GSM сети. Проанализировано влияние механизмов контроля излучаемой мощности (Power Control and Discontinuous Transmission) на уменьшение интерференции в GSM сети и увеличение ее емкости. Применение исследованных технологий позволяет увеличить емкость GSM сетей трехкратно без существенных качественных изменений. Ил. 5, библи. 6 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).