



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Rimvydas Butėnas

VOIP PASLAUGOS PASIEKIAMUMO ANALIZĖ

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Gediminas Činčikas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS FAKULTETAS
TELEKOMUNIKACIJŲ KATEDRA KATEDRA

VOIP PASLAUGOS PASIEKIAMUMO ANALIZĖ

Baigiamasis magistro projektas
Išmaniosios telekomunikacijų technologijos (kodas 621H64001)

Vadovas

Doc. dr. Gediminas Činčikas

Recenzentas

Doc. dr. Rūta Jankūnienė

Projektą atliko

Rimvydas Butėnas

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

(Fakultetas)

(Studento vardas, pavardė)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Rimvydo Butėno**, baigiamasis projektas tema „VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Butėnas, R. VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Gediminas Činčikas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Telekomunikacijų katedra.

Kaunas, 2015. 69 psl.

SANTRAUKA

Šiame projekte atlikta VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė per PSTN ir Optinės prieigos tinklus. VoIP paslaugos pasiekiamumui įvertinti sukurtas skambučių centro VoIP tinklo modelis. Analizė atlikta įvertinant sudarytą vartotojas-vartotojas VoIP paslaugos pasiekiamumo blokinę struktūrą SIP signalizacijos ir balso perdavimo stadijomis. Į blokinę VoIP paslaugos pasiekiamumo struktūrą įtraukti visi funkciniai elementai. VoIP paslaugos pasiekiamumą įtakojantys elementai ir visa struktūra bendrai charakterizuota pasitelkiant MTBF, gedimų intensyvumą, patikimumą laiko intervale ir kt. reikšmes aparatinei ir programinei dalims.

Reikšminiai žodžiai:

VoIP (balso perdavimas IP tinklu), paslaugos pasiekiamumas, MTBF (vidutinis laikas tarp gedimų), SIP (sesijos inicijavimo protokolas).

Butėnas, Rimvydas. Analysis of VoIP Service Availability. Final project of master degree / supervisor doc. dr. Gediminas Činčikas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Smart Telecommunications Technology

Kaunas, 2015. 69 pages.

SUMMARY

This article examines VoIP service availability over PSTN and fibre access networks. To assess VoIP service availability there was made a call center VoIP network model. Analysis was made by using user-user VoIP service availability precast structure for SIP and media sessions. All functional elements were incorporated into precast VoIP service availability structure. Individual elements that influence VoIP service availability and whole system was characterized using MTBF, failure rate, reliability in time and other signification for hardware and software parts.

Keywords:

VoIP (Voice over Internet Protocol), service availability, MTBF (Mean Time Between Failures), SIP (Session Initiation Protocol).

TURINYS

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS	6
Įvadas.....	7
Problematikos analizė.....	8
1. VoIP paslaugos teikimas	9
1.1. IP-PBX serveris su Asterisk programine įranga	9
1.2. SIP signalizavimo protokolas.....	12
1.3. VoIP paslaugos teikimo architektūra	16
1.4. VoIP paslaugos pasiekiamumas	18
1.4.1. VoIP paslaugos patikimumas.....	19
1.4.2. VoIP tinklo pasiekiamumas	19
1.4.3. VoIP tinklo prastovos	22
1.4.4. VoIP paslaugos atkūrimo konceptualus modelis	24
1.4.5. Vidutinis laikas iki gedimo pašalinimo.....	25
1.4.6. Vidutinis laikas tarp sutrikimų.....	26
1.5. Nekintančios būsenos VoIP paslaugos blokinis pasiekiamumo modelis.....	27
1.5.1. Sistemos iš nuosekliai sujungtų komponentų	27
1.5.2. Sistemos iš lygiagrečiai sujungtų komponentų.....	29
2. Baziniai VoIP paslaugos vartotojas-vartotojas pasiekiamumo modeliai	31
2.1. VoIP paslaugos pasiekiamumo paketiniame tinkle bazinis modelis	31
2.2. VoIP paslaugos pasiekiamumo optiniame tinkle bazinis modelis	34
3. Tiriamas VoIP tinklas.....	36
3.1. VoIP paslaugos teikimo WAN tinklas	38
3.1.1. Skambučių centro tinklas.....	39
3.1.2. VoIP telefonijos tiekėjo tinklas.....	42
3.2. PSTN prieigos tinklas.....	45
3.2.2. SC VoIP paslaugos patikimumas balso perdavimo metu	49
3.3. Optinės prieigos tinklas	50

3.3.1. SC VoIP paslaugos patikimumas signalizavimo metu	52
3.3.1. SC VoIP paslaugos patikimumas balso perdavimo metu	55
3.4. Modernizuotas SC VoIP paslaugos pasiekiamumo tinklas.....	57
3.4.1. Modernizuoto SC VoIP paslaugos pasiekiamumas PSTN tinklu	58
3.4.2. Modernizuoto SC VoIP paslaugos pasiekiamumas Optiniu tinklu.....	61
3.5. Rezultatai.....	64
Išvados.....	67
Literatūros sąrašas	68

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

- GRE – bendroji maršrutizavimo inkapsuliacija
H.323 – balso-vaizdo protokolų standartas
HSRP – aktyvus rezervinis maršrutizavimo protokolas
HTTP – hipertekstų persiuntimo protokolas
IEEE – elektros ir elektronikos inžinerijos institutas
IETF – interneto kūrimo darbo grupė
IP – interneto protokolas
ITU-T – tarptautinis telekomunikacijų sąjungos standartizavimo sektorius
MGCP – terpės sietuvo valdymo protokolas
MTBF – vidutinis laikas tarp gedimų
MTTF – vidutinis laikas iki sugedimo (nepataisomai)
MTTP – pranešimo perdavimo dalis
MTTR – vidutinis laikas iki gedimo pašalinimo
OSI – atvirų sistemų sąveika
PBX – privatus telefonų tinklas
PSTN – viešasis perjungiamas telefono tinklas
RFC – komentarų užklausų publikacijos
RTP – realaus laiko transporto protokolas
SC – skambučių centras
SCCP – signalizavimo sujungimo kontrolės dalies protokolas
SIP – sesijos inicijavimo protokolas
SS7 – signalizacijos sistema nr. 7
TCP – perdavimo kontrolės protokolas
UAC – vartotojo agento klientas
UAS – vartotojo agento serveris
UDP – vartotojų datagramų protokolas
VLAN – virtualus tinklas
VoIP – balso perdavimas paketiniu tinklu
WAN – platusis tinklas

Ivadas

Šiandieną fiksuoto ryšio telefonija jau laikoma praėjusio amžiaus ryšiu. Telefonijos technologijų raida siejama su radijo ryšio ir duomenų perdavimo tinklais. Balso perdavimo technologija, taikoma IP tinkluose, turi nusistovėjusį pavadinimą VoIP (angl. Voice over Internet Protocol). Ši technologija pasirinkta nagrinėti dėl jos naujumo ir nepakankamo kokybės lygio, lyginant su fiksuotojo ir judriojo ryšio telefonijos technologijomis. VoIP paslaugos gairės buvo apibrėžtos 1996 m. ITU-T organizacijos H.323 ir 1999 m. IETF organizacijos SIP publikuotais standartais. Šie standartai ir daugybė RFC (angl. Request for Comments) straipsnių paspartino VoIP technologijos tobulėjimą.

IP (angl. Internet Protocol) telefonijos vartotojų kiekis pastaruosius 15 metų tendencingai auga. Anot „Statista“ korporacijos pateikiamų duomenų, VoIP abonentų skaičius pasaulyje 2011 m. trečią ketvirtį siekė 131,73 mln, o 2013 m. antrą ketvirtį – 158,7 mln. 2015 m. vasario mėn. „Research and Markets“ pateiktoje rinkos analizėje pasaulinė IP telefonija 2014 m. įvertinta 589,6 mln JAV dolerių, prognozė 2019 m. – rinka augs ir sieks net 1842,2 mln JAV dolerių. Auganti rinka ir gausus vartotojų kiekis traukia investuotojus. Esminis VoIP paslaugos tiekėjo tikslas turėti kuo daugiau vartotojų. Tai užtikrinti galima užtikrinus paslaugos kokybę ir pasiekiamumą.

Šiame magistriniame darbe nagrinėjamas VoIP paslaugos pasiekiamumas. Apibūdinant paslaugos pasiekiamumą pasirinktas ITIL (angl. Information Technology Infrastructure Library) organizacijos pateikiamas paslaugos pasiekiamumo termino apibrėžimas. Paslaugos pasiekiamumas – tai priimtas laiko intervalas, per kurį vartotojas gali pasinaudoti pilnaverte VoIP paslauga, o VoIP paslaugos teikimo modelis funkcionuos pagal apibrėžtus kriterijus. Taigi, VoIP paslaugos pasiekiamumo charakteristiką galime išskaidyti į šias dedamąsias:

- VoIP tinklo pasiekiamumas;
- VoIP paslaugos teikimo modelio patikimumas;
- Gedimo pašalinimo, sistemos atkūrimo laikas.

VoIP tinklo pasiekiamumas priklauso nuo tinklo architektūrinio projektavimo, naudojamos aparatūros ir sąsajų tarp jų. VoIP paslaugos teikimo modelis, tai programinio funkcionalumo dalies sąveika su aparatūrine dalimi. Gedimo pašalinimo ir sistemos atkūrimo laiko intervalas aukšto paslaugos pasiekiamumo sistemose turi būti kuo trumpesnis. Tai užtikrinti galima turint aukštos kvalifikacijos specialistus ir atitinkamos programinės įrangos pagalba.

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Darbo tikslas – atlikti VoIP paslaugos pasiekiamumo PSTN ir optinės prieigos tinklais analizę.

Uždaviniai:

1. Atlikti VoIP paslaugos patikimumo parametrų mokslinių darbų analizę.
2. Išanalizuoti VoIP technologijos, naudojant Asterisk PBX, SIP signalizavimo pagrindu paremtą paslaugos teikimo struktūrą.
3. Sudaryti VoIP paslaugos teikimo modelį.
4. Sudaryti VoIP paslaugos pasiekiamumą įtakojančių elementų struktūrinį modelį.
5. Atlikti VoIP paslaugos teikimo prieigos tinklų tikimybinių charakteristikų tyrimą.

Problematikos analizė

VoIP paslaugos vartotojų kiekis tendencingai auga, todėl yra natūralu, kad vartotojai kelia vis aukštesnius kokybės reikalavimus IP telefonijai. VoIP telefoniją reikėtų laikyti besivystančia, pirmųjų stadijų technologija. Lyginant su jau daugiau nei šimtmetį naudojama PSTN (angl. Public Switched Transport Network) telefonija ir, rodos, nepakeičiamu judriojo ryšio telefonijos modeliu, VoIP telefonija dar tik formuojasi. Dėl šios priežasties ir dėl sąlyginai nestabilaus IP tinklo VoIP paslaugas teikiantiems operatoriams yra labai sunku tenkinti vis didėjančio vartotojų rato lūkesčius. IP telefonijos teikimo tema išliks aktuali tol, kol nebus pasiektas kokybės užtikrinimo lygis, artimas jau minėtiems – PSTN ir judriojo ryšio tinklams.

Opiausia problema, kodėl VoIP telefonija negali užtikrinti aukštų paslaugos kokybės ir pasiekiamumo rezultatų, yra dėl nestabilaus ir apkrauto IP tinklo. Tačiau, reikia paminėti, kad pasinaudojant jau įdiegtu IP tinklu, nebereikia projektuoti ir statyti naujų telekomunikacijų tinklų. Dėl šios priežasties VoIP operatoriai vartotojams gali pasiūlyti palankesnes kainas. Pirminis VoIP operatorių tikslas yra pagerinti VoIP paslaugos pasiekiamumą, kuris tiesiogiai įtakoja VoIP paslaugos kokybę.

Šiuo magistriniu darbu siekta atsakyti į klausimą ar įmanoma padidinti VoIP paslaugos pasiekiamumo lygi. Tam reikia apibrėžti šiuos punktus:

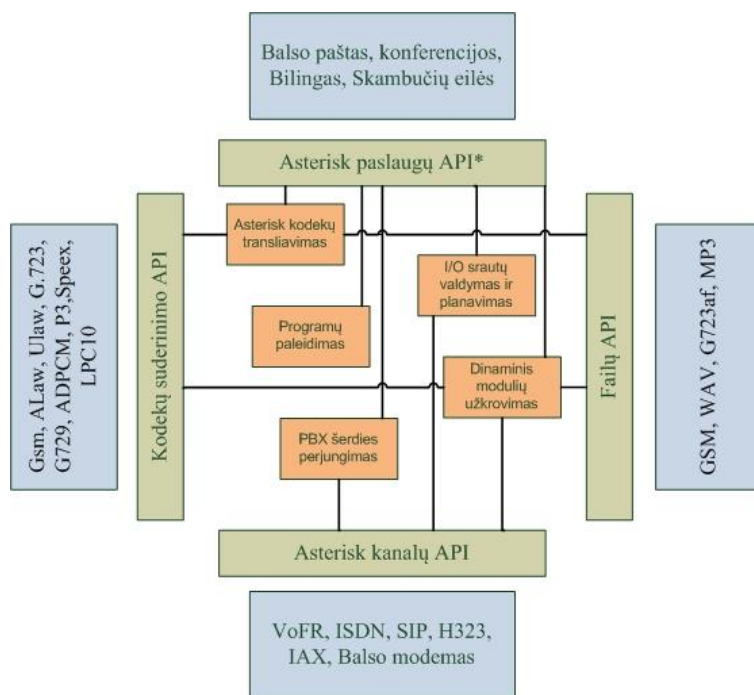
- Kokios VoIP tinklo dedamosios užtikrina paslaugos nepertraukiamą ir optimalų teikimą;
- Kaip jos sąveikauja tarpusavyje;
- Kokią įtaką daro paslaugos teikimo funkciniam modeliui.

1. VoIP paslaugos teikimas

Balso telefonijos paslaugų teikimas IP tinkle prasideda nuo techninės ir programinės įrangos pasirinkimo. Prieš visą tai pasirenkant reikėtų aiškiai apibrėžti projektuojamo tinklo apimtį, reikalingų VoIP paslaugos funkcionalumų įvairovę ir reikalingą saugumo lygį. Šiame moksliniame darbe pasirinkau analizuoti lanksčiausius, dažniausiai naudojamus ir daugiausiai perspektyvų tolesniam technologijos plėtojimui turinčius technologinius sprendimus. 1.1. Skyriuje aprašytas Asterisk programinės įrangos modelis, jo funkcionalumas, suderinamumas ir kitos charakteristikos. 1.2. skyriuje detalizuota SIP signalizavimo protokolo struktūra, veikimo ypatybės. 1.3. skyriuje pateiktas VoIP paslaugos teikimo funkcinis modelis, paremtas SIP signalizavimo protokolo pagrindu ir PBX serveriu su Asterisk programine įranga.

1.1. IP-PBX serveris su Asterisk programine įranga

Programinės įrangos Asterisk architektūra pavaizduota 1.1 paveikslėlyje. Asterisk programinė įranga kiekvieną protokolą perduoda atskiru kanalu. Yra galimybė panaudoti bet kokį protokolą ir kodeką. Vienas iš didžiausių Asterisk sistemos privalumų yra tai, kad jis gali sudaryti ryšį tarp bet kokių kanalų: transliuoti SIP ir IAX signalizavimo protokolus, net jei kanaluose panaudoti skirtingi kodekai. Pavyzdžiui, galime prisiskambinti iš SIP telefono naudojant G.711 kodeką į H.323 telefoną, kitame tinkle, kuris naudoja G.729a kodeką.



*API, Application Programming Interface - Taikymo programavimo sąsaja

1.1 pav. Asterisk architektūra

Asterisk sistemos veikimą galima pavaizduoti naudojant OSI modelį – jis pavaizduotas 1.2 paveikslėlyje.

Taikimo	Asterisk
Vaizdavimo	G.711, G.729a, GSM, Speex
Sesijinis	SIP, IAX, H.323
Transporto	UDP/RTP/SRTP
Tinklo	IP
Kanalinis	Ethernet, Frame Relay, ATM
Fizinis	Ethernet, xDSL, RS-232

1.2 pav. Asterisk komponentai pagal OSI modelį

Iš 1.2 paveikslėlio aišku, kad sujungime dalyvauja visas protokolų rinkinys. Pvz.: naudojami SIP protokolą tuo pačiu panaudojam ir UDP 5060 prievado (angl. Port) numerį signalizavimui. RTP protokolas balso srauto transportavimui naudoja prievado numerius nuo 1000 iki 2000 – kaip nurodyta Asterisk programos konfigūraciniame faile *rtp.conf*.

Asterisk kanalai

Asterisk'o kanalai atitinka telefono linijas, bet skaitmeniniu formatu. Juos dažniausiai sudaro analoginės arba skaitmeninės (TDM) signalizavimo sistemos, arba kodeko ir signalizavimo protokolo kombinacija: SIP – GSM, IAX – uLaw. Asterisk palaiko ir senas analogines linijas, ir šio meto plačiai naudojamus VoIP protokolus, tokius kaip SIP. Jeigu VoIP įranga yra tiesiogiai pajungta į kompiuterinį tinklą, tai analoginiai arba ISDN prietaisai reikalauja papildomos įrangos - tokios kaip FXO, FXS, arba E1 plokštės jungiamos į kompiuterį su virtualių PBX per PCI sąsają. Plokštės reikalingos, jei nėra naudojamas tinklų terpių sietuvas (angl. Media Gateway).

Pagrindinis VoIP protokolų tikslas – tai balso srauto „paketavimas“ – srauto dalijimas į atskirus fragmentus, kurie gali būti transportuojami IP tinklu. Signalas turi būti pilnai atstatytas kitoje – galinio įrenginio pusėje, o paketo transportavimo laikas neturėtų viršyti 150 ms. Pagrindinė problema susijusi su paketinių balso perdavimu yra tai, kad kuriant maršrutizavimo protokolus, juose nebuvo numatyta patikima srauto perdavimo realiame laike galimybė. Esant paketų praradimui galiniai taškai turi prailginti priėmimo laukimo laiką bei siųsti užklausas dėl paketo retransliacijos, arba tęsti darbą su informacijos praradimu. Aišku, kad balso perdavimui šie mechanizmai yra netinkami. Sujungimo mechanizmas pagal VoIP protokolą dažniausiai susideda iš serijos perdavimo signalų transakcijų tarp galinių taškų (bei tinklų sietuvų esančių tarp jų) kurie

formuoja du pastovius balso ir/arba vaizdo – srautus (po vieną abejomis kryptimis), kurie faktiškai ir transliuoja pokalbį. Tarp pagrindinių Asterisk palaikomų VoIP protokolų išskiriami:

1. SIP (angl. Session Initiation Protocol);
2. IAX (angl. Inter-Asterisk eXchange);
3. H.323;
4. MGCP (angl. Media Gateway Control Protocol);
5. Skinny/SCCP (angl. Skinny Call Control Protocol);
6. UNISTIM (angl. Unified Networks IP Stimulus).

Asterisk naudojami kodekai

Kodekai dažniausiai suprantami kaip skirtingi matematiniai modeliai, naudojami analoginės balso informacijos skaitmeniniam kodavimui ir glaudinimui. Pagrindinis kodavimo algoritmų tikslas yra užtikrinti balansą tarp efektyvumo ir kokybės. Jei efektyvumą paprastai galime įvertinti pagal kodeko bitų spartą, tai kokybė yra vertinama subjektyviai, naudojant MOS (Mean Opinion Score angl.) testą. MOS testuose dalyvauja klausytojų grupės. Dėl to, kad kalbos ir garso kokybė yra įvertinami ganėtinai subjektyviai, testuose dalyvauja didelės klausytojų grupės ir naudojamas platus balso įrašų asortimentas. Klausytojai įvertina kiekvieną užrašą nuo 1 (blogai) iki 5 (puikiai), apskaičiavus vidurkį gaunamas galutinis įvertinimas. Toliau pateikta lentelė leidžia įvertinti Asterisk naudojamų kodekų efektyvumo ir kokybės santykį.

1.1 lentelė. Asterisk programinės įrangos palaikomi kodekai

Kodekas	Sparta, Kbps	MOS	Licencija
G.711	64	4,1	Nereikalinga
G.726	16, 24, 32, 40	3,85	Nereikalinga
G.729A	8	3,7	Reikalinga*
GSM	13	3,8	Nereikalinga
iLBC	13,3 – 15,2	3,9	Nereikalinga
Speex	2,15 – 22,4	3,8	Nereikalinga

*išskyrus naudojant tranzitiniam balso perdavimui

- G.711 – pagrindinis PSTN kodekas. Naudojama IKM moduliacija su 8 bitų kodinių žodžių ir 8 KHz diskretizavimo dažniu. Amerikoje naudojama uLaw versija, Europoje aLaw. Šis kodekas reikalauja nedaug sistemos procesoriaus resursų;
- G.726 – vienas iš pirmųjų kodekų su glaudinimu, kuriame buvo panaudota adaptyvinė diferencialinė impulsinė kodinė moduliacija, kas leido gauti beveik tokią pat kokybę kaip ir

G.711, bet žymiai sumažino reikalinga juostos plotį. Šis kodekas taip pat nepasižymi dideliais reikalavimas kodavimą atliekančiam procesoriui;

- G.729a naudoja progresyviąją moduliaciją su signalo vertės nuspėjimu, (Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear Prediction) kas leidžia sumažinti perdavimo spartą iki 8 kbps. Ši technologija yra užpatentuota ir reikalauja licencijos;
- GSM – plačiausiai Asterisk aplinkoje naudojamas kodekas. Reikalauja nedidelio pralaidumo juostos pločio ir nežymiai apkrauna serverio procesorių;
- iLbc - Internet Low Bitrate Codec, naudoja gana sudėtingus glaudinimo algoritmus, užtikrinančius gerą balso perdavimo kokybę, būtent jis yra naudojamas tokiose programose kaip: Skype, Google Talk, Yahoo Messenger;
- Speex – kodekas, naudojantis kintamo greičio bitų perdavimo spartą (variable bitrate, VBR), dėl ko gerai prisiderina prie sistemų su skirtingom apkrovom.

Papildomos kodekų funkcijos:

- balso aktyvumo aptikimas;
- prarastų paketų kompensavimas;
- komfortiško foninio triukšmo generavimas.

Asterisk palaiko daugybę papildomų paslaugų, tarp kurių: balso paštas, vaizdo konferencijos, IVR meniu, telefono pokalbių įrašymas. Taip pat yra galimybė susieti vartotojo balso pašta ir faksą prie elektroninio pašto ir gauti unifikotą pranešimų sistemą, kurios įgyvendinimas Asterisk platformos pagalba yra žymiai pigesnis už kitus variantus. Be to yra plačios galimybės įdiegti papildomas išorines programas, arba net parašyti jas pačiam vartotojui.

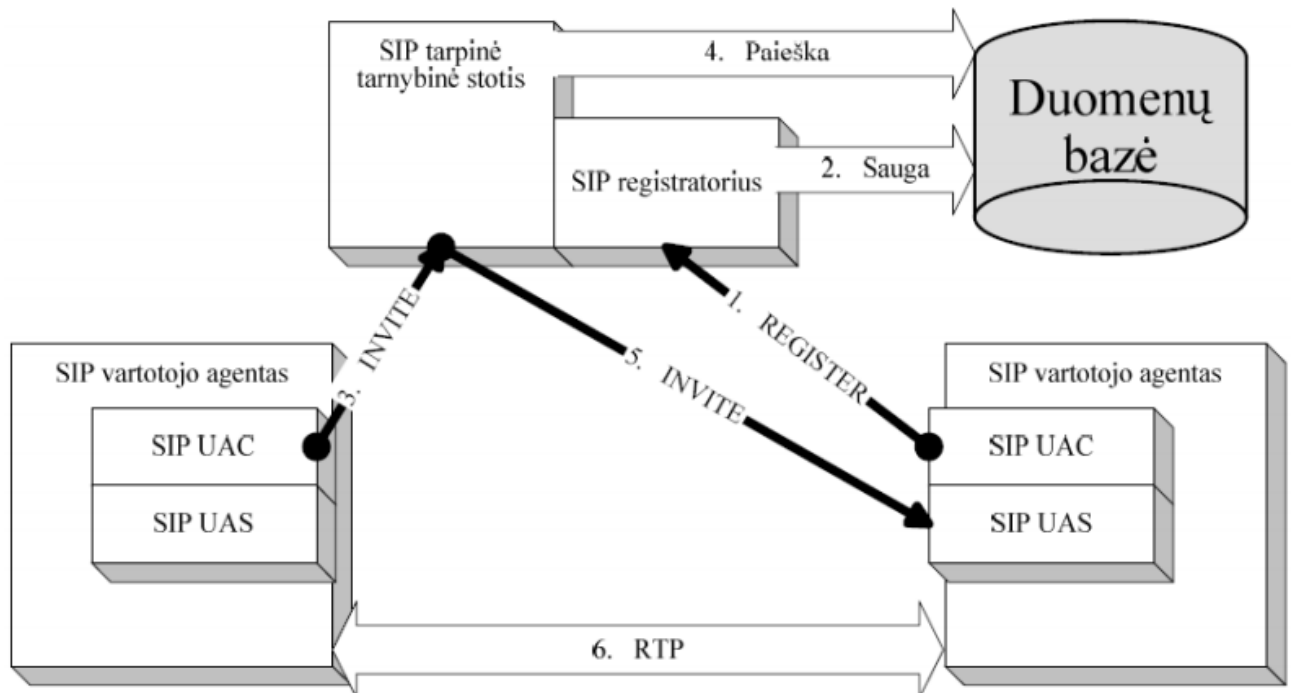
Asterisk sistema yra įdiegiama kartu su nemokama atviro kodo Linux operacine sistema. Vienas serveris gali atlikti daugybę funkcijų: vienu metu būti DHCP, DNS, FTP, WEB serveriu, palaikyti VPN, vykdyti paketų maršrutizaciją. Asterisk programinės įrangos paketas yra publikuojamas internete ir laisvai prieinama visiems. Taip kaip ir kiekviena atvirojo kodo sistema, Asterisk yra nuolat atnaujinama, yra pridedamos naujos galimybės, be to kiekvienas vartotojas gali priderinti šią sistemą pagal savo poreikius.

1.2. SIP signalizavimo protokolas

SIP (angl. Session Initiation Protocol) – taikymo lygmens signalizavimo protokolas, skirtas sudaryti, modifikuoti ar nutraukti daugialypės terpės sesijoms, tokioms kaip internetinės telefonijos

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

balso, vaizdo konferencijoms, interaktyviam pranešimų siuntimui ir t.t. Kai kurios sesijos inicijavimo protokolo elementų funkcijos perimtos iš HTTP (angl. Hypertext Transfer Protocol) ir SMTP (angl. Simple Mail Transfer Protocol) protokolų. Pasitelkiant SDP (angl. Session Description Protocol) protokolą SIP atpažįsta ir grupuoja balso, vaizdo srautą. Balso ir vaizdo perdavimui dažniausiai panaudojamas RTP/RTCP (angl. Real-time Transport (Control) Protocol) protokolas. SIP funkcinė architektūra pateikta 1.3 pav. Platesnė SIP funkcinio modelio analizė bus atlikta 1.3 skyriuje.



1.3 pav. SIP funkcinė architektūra [9].

SIP protokolo specifikacija pateikiama IETF organizacijos publikuojamame RFC 3261 standartų rinkinyje. Sesijos inicijavimo protokolas yra tekstinio pagrindo, dėl to jį paprasta analizuoti. SIP pranešimų sąrašas pateiktas 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. SIP pranešimų sąrašas [9].

SIP pranešimas	Aprašymas
INVITE	Seanso inicijavimas
ACK	Galutinio atsakymo į INVITE patvirtinimas
BYE	Seanso pabaiga
CANCEL	Besitęsėnčio seanso nutraukimas
REGISTER	Vartotojo URI registracija
OPTIONS	Įrangos galimybių ir nustatymų užklausa
INFO	Skambinimo signalizacijos tarpinės informacijos transportas
PRACK	Parengto atsakymo patvirtinimas
UPDATE	Seanso informacijos papildymas ar atnaujinimas
REFER.	Vartotojo peradresavimas pagal URI
SUBSCRIBE	Pranešimų apie įvykius registracija
NOTIFY	Pranešimų apie įvykius transportas
MESSAGE	Žinučių transportas
PUBLISH	Vartotojo aktyvumo informacijos atnaujinimas tarnybinėje stotyje

Atsakymus į SIP pranešimą sudaro trijų skaitmenų žinutė. Pagal pirmą žinutės skaitmenį galima identifikuoti kuriai klasei žinutė priklauso. 1.3 lentelėje pateiktos šešios atsakymų į pranešimų klasės.

1.3 lentelė. Atsakymai į SIP pranešimus [9].

Klasė	Aprašymas
1xx	Informaciniai ir parengtiniai kodai. Užklauskos vykdymas dar nebaigtas.
2xx	Sėkmingas įvykdymas. Užklausa įvykdyta.
3xx	Nukreipimas. Užklauską reikia pakartoti kitu adresu.
4xx	Kliento klaida. Užklausa neįvykdyta dėl klaidos užklausoje. Pataisius užklauską galima kartoti.
5xx	Tarnybinės stoties klaida. Užklausa neįvykdyta dėl adresato problemų. Galima pabandyti kreiptis į kitą adresatą.
6xx	Globali klaida. Užklausa nepavyko ir neturi būti kartojama.

1.4 paveiksle pateiktas pavyzdys, kuriame VoIP telefonas registruojasi – siunčią žinutę REGISTER, prie Asterisk PBX serverio. Pateiktoje paketų analizėje matome, kad serveris ir VoIP klientas apsikeičia ir kitomis žinutėmis, tokiomis kaip SUBSCRIBE ir NOTIFY. Siunčiami ir gaunami paketai analizuojami pasitelkiant Wireshark programine įrangą.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
72	12.443688000	192.168.100.102	92.62.131.121	SIP	344	Request: SUBSCRIBE sip:Unknown@92.62.131.121:5062; in-dialog
73	12.443750000	192.168.100.102	192.168.4.60	SIP	769	Request: SUBSCRIBE sip:347@192.168.4.60;transport=UDP
74	12.443781000	192.168.100.102	192.168.4.60	SIP	722	Request: REGISTER sip:192.168.4.60;transport=UDP
75	12.450523000	192.168.4.60	192.168.100.102	SIP	609	Status: 200 OK
76	12.450791000	192.168.4.60	192.168.100.102	SIP	627	Status: 401 Unauthorized (0 bindings)
77	12.451546000	92.62.131.121	192.168.100.102	SIP	560	Status: 481 Call/Transaction Does Not Exist
78	12.454544000	192.168.100.102	192.168.4.60	SIP	889	Request: REGISTER sip:192.168.4.60;transport=UDP
79	12.460544000	192.168.4.60	192.168.100.102	SIP	690	Request: OPTIONS sip:347@213.197.186.234:5060;rinstance=767b7beb397e63b6;transport=UDP
80	12.460834000	192.168.4.60	192.168.100.102	SIP	688	Status: 200 OK (1 bindings)
81	12.460835000	192.168.4.60	192.168.100.102	SIP	726	Request: NOTIFY sip:347@213.197.186.234:5060;transport=UDP
82	12.464667000	192.168.100.102	192.168.4.60	SIP	740	Status: 200 OK
83	12.468366000	192.168.100.102	192.168.4.60	SIP	460	Status: 200 OK

1.4 pav. VoIP telefono registracija prie Asterisk PBX serverio

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Žemiau, 1.5 pav., pateikta pokalbio užmezgimo ir išardymo SIP žinučių seka tarp VoIP įrenginio ir Asterisk PBX serverio. Kaip galima matyti, nuo INVITE iki ACK pranešimų išsiuntimo skirtumas yra beveik 6 sekundės, taigi abonentų sujungimas būtent tiek ir užtruks. Iš kart po sujungimo inicijuojamas RTP srautas tarp vartotojų, kol vienas iš jų baigia pokalbį padėdamas telefono ragelį. Analizuotu atveju pokalbį baigė adresatas, taigi, iš adresato gavus žinutę BYE, PBX serveriui išsiunčiame žinutę OK ir tuo pačiu užbaigiame pokalbio sesiją.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
55	7.961124000	192.168.100.102	192.168.4.60	SIP/SDP	1058	Request: INVITE sip:864773663@192.168.4.60;transport=UDP , with session description
56	7.970071000	192.168.4.60	192.168.100.102	SIP	616	Status: 100 Trying
81	11.253341000	192.168.4.60	192.168.100.102	SIP	632	Status: 180 Ringing
93	13.407488000	192.168.4.60	192.168.100.102	SIP/SDP	914	Status: 200 OK , with session description
94	13.415376000	192.168.100.102	92.62.131.121	SIP	504	Request: ACK sip:864773663@92.62.131.121;5062
734	19.474851000	92.62.131.121	192.168.100.102	SIP	499	Request: BYE sip:347@213.197.186.234;5060;transport=UDP
736	19.490861000	192.168.100.102	92.62.131.121	SIP	439	Status: 200 OK

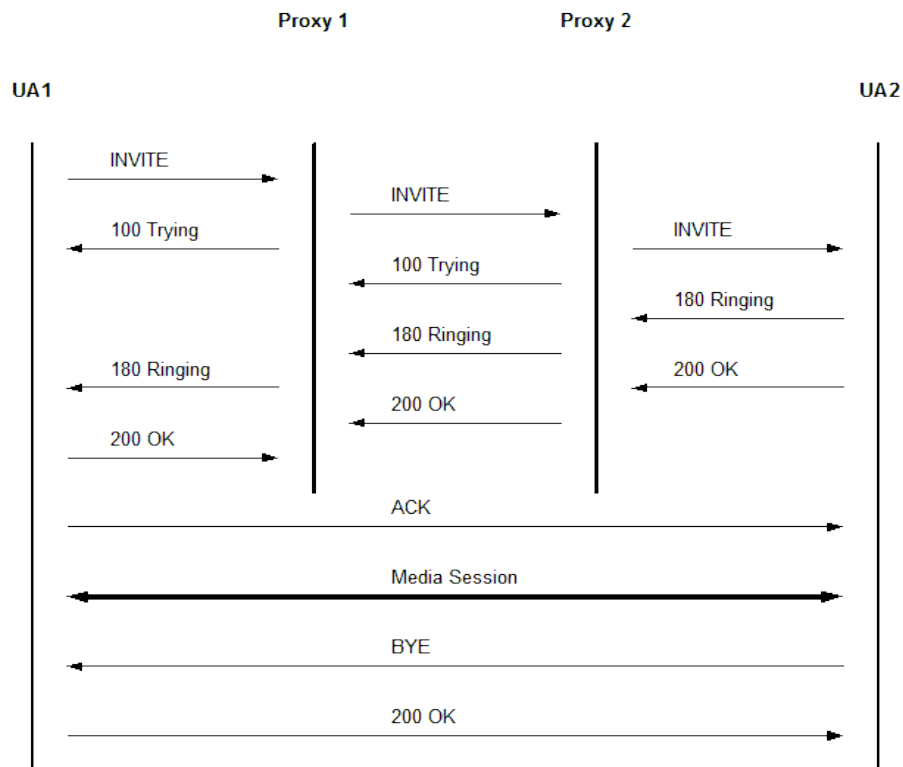
1.5 pav. VoIP sesijos tarp vartotojų užmezgimas ir išardymas

Prieš tai pateiktame paveikslėlyje 1.5 galime pastebėti, kad pokalbis vyko šiek tiek ilgiau nei 6 sekundes. Visą tą laiką vyko intensyvus RTP balso paketų apsikeitimas tarp VoIP sesijos vartotojų galinių įrenginių. Balso paketų srauto fragmentas pateiktas 1.6 pav.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
207	23.383056000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11764, Time=2271408110, Mark
208	23.389976000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27797, Time=36480
209	23.403006000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11765, Time=2271408270
210	23.410073000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27798, Time=36640
211	23.422993000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11766, Time=2271408430
212	23.429904000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27799, Time=36800
213	23.443011000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11767, Time=2271408590
214	23.450136000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27800, Time=36960
216	23.463013000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11768, Time=2271408750
217	23.470061000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27801, Time=37120
218	23.483014000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11769, Time=2271408910
219	23.489911000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27802, Time=37280
221	23.503010000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11770, Time=2271409070
222	23.510117000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27803, Time=37440
223	23.522989000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11771, Time=2271409230
224	23.530217000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27804, Time=37600
225	23.543025000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11772, Time=2271409390
226	23.549990000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27805, Time=37760
227	23.562984000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11773, Time=2271409550
228	23.569991000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27806, Time=37920
229	23.582983000	192.168.100.102	92.62.131.121	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x146064EC, Seq=11774, Time=2271409710
230	23.589992000	92.62.131.121	192.168.100.102	RTP	214	PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0x689A4915, Seq=27807, Time=38080

1.6 pav. Balso paketų komutavimas tarp VoIP sesijos vartotojų

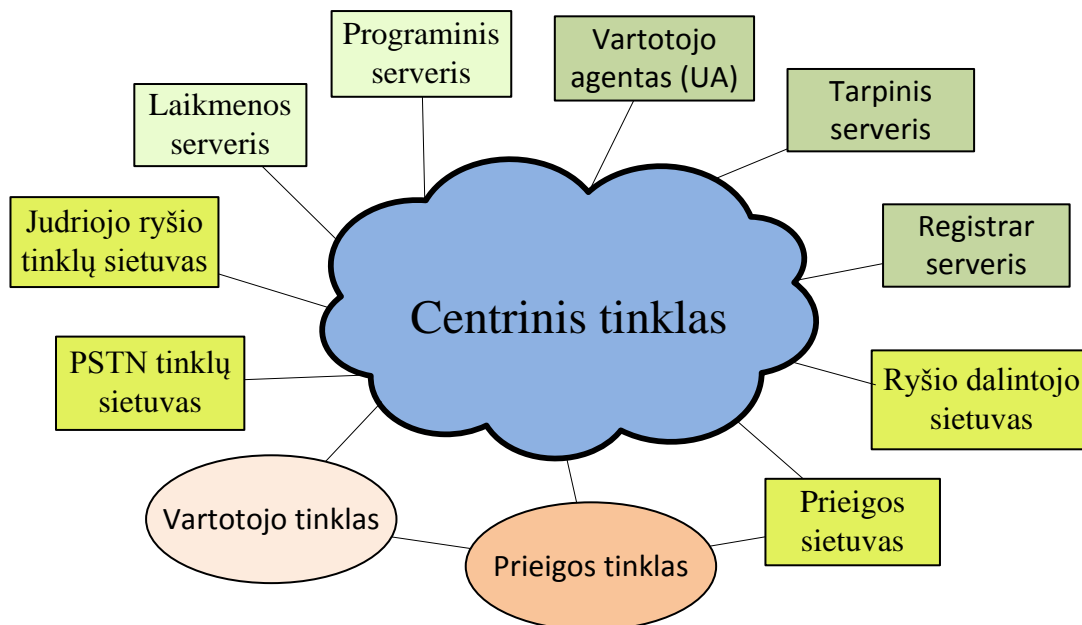
Apibendrinta perduodamų SIP žinučių seka pavaizduota 1.7 pav. Čia žinutės persiunčiamos panaudojant du tarpinius (angl. Proxy) serverius.



1.7 pav. SIP žinučių seka tarp VoIP vartotojų panaudojant 2 tarpinius serverius.

1.3. VoIP paslaugos teikimo architektūra

Šiame skyriuje aptarsiu VoIP paslaugos funkcinę architektūrą. VoIP paslaugos funkcionalumą sudaro komponentų visuma, pavaizduota 1.8 pav. [4, 5].



1.8 pav. VoIP paslaugos architektūra

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Vartotojo tinklas – šis tinklo segmentas yra vartotojo aplinkoje, t.y. namuose, ofise ir t.t. Didelė dalis VoIP paslaugos nepasiekiamumo priežasčių kyla dėl problemų, kilusių vartotojo tinkle. Įprastai vartotojo tinklas prasideda nuo tinklo elemento kaip maršrutizatorius, optinis keitiklis, modemas ir pan.

Prieigos tinklas sujungia vartotojo galinį įrenginį (IP telefoną, VoIP programinės įrangos telefoną ir pan.) su telefonų stotimi per numatytąjį tinklų sietuvą (angl. Default Gateway).

Prieigos sietuvas (angl. Access Gateway), tai elementas esantis paslaugos teikėjo tinkle. Paprastai kalbant, tai tinklo taškas, kuris yra nurodytas prieigos tinklo numatytojo tinklų sietuvo adrese. Prieigos sietuvas dirba kaip sąsaja tarp pagrindinio tinklo ir galinių įrenginių, PBX stočių ir kitų prietaisų. Šis tinklo elementas atlieka paketų komutavimo ir teksto eilutės išvedimo komandos (angl. echo) funkcijas.

Ryšio dalintojo sietuvas (angl. Trunk Gateway) sudaro sąsają tarp ryšio dalintojo ir PSTN tinklo ir/arba paketinio perdavimo tinklo. Taip pat atlieka paketų komutavimo funkciją. Šias funkcijas gali atlikti trečio lygmens komutatorius ir maršrutizatorius.

Vartotojo agentas (angl. User Agent) yra loginis elementas, valdomas iš VoIP paslaugos tiekėjo tinklo. UA atlieka skambučio kontrolės, vartotojo agento kliento (UAC) ir vartotojo agento serverio (UAS) funkcijas. UAC ir UAS paskirtis, atitinkamai SIP žinučių priėmimas ir išsiuntimas tarp galinių įrenginių. Daugelis UA sąveikauja su SIP serveriais teikdami informaciją apie galinį įrenginį. SIP protokole, kaip ir hipertekstų persiuntimo protokole (HTTP), vartotojo agentas siųsdamas užklauso žinutę į „User-Agent“ lauką gali įrašyti programinės įrangos, aparatinės įrangos, arba kitą su įrenginiu susijusią reikšmę. Tokia informacija gali būti naudinga analizuojant dingusių ar klaidingų paketų priežastis, šis momentas glaudžiai susijęs su VoIP paslaugos kokybiniais parametrais, tame tarpe ir paslaugos pasiekiamumu.

Tarpinis serveris (angl. Proxy Server) – tarpininko funkcijas atliekantis subjektas, jis veikia ir kaip serveris, ir kaip klientas, siuntinėdamas užklauso žinutes, kurias jam siunčia kiti klientai. Tarpinio serverio pirminė funkcija yra maršrutizavimas, t.y., užtikrinti, kad užklauso žinutė būtų nusiųsta iki kuo artimesnio mazgo adresato atžvilgiu. Be užklauso žinučių siuntinėjimo, tarpinis serveris tuo pačiu jas identifikuoja ir geba redaguoti jų specifinius laukus, ir tuomet jas persiųsti. Dar viena svarbi funkcija – tai priverstinis žinučių siuntimas (pavyzdžiui, patikrinimas ar abonentui suteiktos privilegijos atlikti skambutį).

Registrar serveris atsakingas už vartotojų galinių įrenginių autentifikavimą. Norint pasinaudoti VoIP paslauga, VoIP įrenginys prisijungęs prie interneto, išsiunčia žinutę, adresuotą

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

registrar serveriui (1.4 pav). Serveris duomenų bazėje patikrina, ar leisti vartotojui prisiregistruoti ir patvirtina arba atmeta įrenginio registraciją.

Centrinis tinklas (angl. IP Core Network), jį sudaro tinklo maršrutizatoriai, serveriai, ugniasienės ir kiti panašaus pobūdžio VoIP tinklo komponentai. Pirminė centrinio tinklo funkcija yra IP paketų maršrutizavimas ir srauto apkrovų paskirstymas. Šiame tinklo segmente yra architektūriškai izoliuojami tinklų sietuvai ir su jais susieti prieigos tinklai nuo vartotojo agento, kuris, savo ruožtu susietas su funkciniu VoIP tinklo intelektu. Idant pagerinti VoIP tinklo paketų maršrutizavimo efektyvumą ir bendrą tinklo architektūrą, centriniame IP tinkle vertėtų palaikyti aptarnavimo svarbos per šuolį (angl. Class of Service per-hop), ar panašaus pobūdžio funkcijas.

Laikmenos serveris (angl. Media Server) yra paslaugos tiekėjo tinklo dalis. Jis naudoja papildomą programinę įrangą, tokią kaip OrkAudio. Šį serverį valdo programinis serveris. Pagrindinė jo funkcija – saugomų balso ir/arba vaizdo įrašų pateikimo sąsaja vartotojui. Tarp serveris atlieka tokias papildomas funkcijas kaip vartotojų duomenų rinkimas ir sisteminimas, pranešimų ir kitokios informacijos teikimas.

Programinis serveris (angl. Application Server) yra paslaugos tiekėjo tinkle, šis tinklo elementas yra atsakingas už VoIP skambučių funkcinę logiką. Jam valdyti naudojami tokie programiniai paketai kaip Elastix, ar Free PBX.

1.4. VoIP paslaugos pasiekiamumas

Paslaugos pasiekiamumas – tai tikimybė, kad sistema ar produktas atliks jam skirtą uždavinį reikalavimus tenkinančiu būdu, telefonijos paslaugos atveju – abonentas bus sėkmingai sujungtas su kitu abonentu, jie sėkmingai susisieks ir telefoninė stotis, vienam iš dalyvių padėjus ragelį, sėkmingai nutrauks pokalbį. Reikėtų paminėti tai, kad jei užmezgamas ryšys tarp vartotojų, sudaroma pokalbio sesija – tai dar nereiškia, jog paslauga yra pasiekiamą. Jei dėl atsiradusios klaidos funkcinuose tinklo elementuose nesigirdės vieno iš pokalbio dalyvių balsas, tuomet bus VoIP paslauga bus laikoma nepasiekiamą. Paminėtas sutrikimas gali pasireikšti sugedus PBX telefoninei stotiai, arba, didesnė tikimybė, sugedus vartotojo galiniam VoIP įrenginiui. Norint apibūdinti teikiamos VoIP paslaugos pasiekiamumo lygį, būtina įvertinti visus paslaugos teikime dalyvaujančius komponentus.

VoIP paslaugos pasiekiamumas išreiškiamas pritaikius matematinį modelį. Vieni jų paprastesni, kiti kompleksiniai. Sudėtingesniems modeliams taikant reikalingos tinklo įrenginių stochastinių parametrų charakteristikos, kintančios laiko ir aplinkos kontekste. Šiame darbe

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

pritaikytas matematinis modelis laikantis prielaidos, kad VoIP paslaugos dedamosios neturi įtakos viena kitai ir kad gedimo tikimybė yra laikoma konstantos dydžiu – nekintančiu laike.

1.4.1. VoIP paslaugos patikimumas

Pasiekiamumo funkcija – tai tikimybė, kad VoIP paslaugos elementas sėkmingai funkcionuos apibrėžtą laiką t . Funkcijos reikšmė išreiškiama procentais. Žemiau pateikiama patikimumo funkcija:

$$R(t) = 1 - F(t). \quad (1.1)$$

Gedimo pasiskirstymo funkcija $F(t)$. Ši funkcija išreiškiama tikimybe, kad sistemos darbas sutriks per laiką t . Jei atsitiktinio kintamojo t pasiskirstymo funkcija $f(t)$, tuomet patikimumo funkcija randama:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt. \quad (1.2)$$

Darant prielaidą, kad gedimas VoIP paslaugos teikimo modelyje yra pataisomas ir gedimų dažnio koeficientas laikomas nekintančiu dydžiu, galime suskaičiuoti VoIP paslaugos pasiekiamumo sutrikimų dažnį λ . Sutrikimų dažnis nusako paslaugos teikimo sutrikimų pasireiškimo dažnumą apibrėžtame laiko intervale t . Sutrikimų dažnis išreiškiamas:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = \frac{1}{e^{MTBF}}, \quad (1.3)$$

gedimų dažnio koeficientas išreiškiamas:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}, \quad (1.4)$$

čia $MTBF$ – vidutinis laikas tarp sutrikimų. Apie šį dydį plačiau parašysiu 1.4.6 skyriuje.

Šiame skyriuje remtasi [9, 13, 14, 23] literatūros šaltiniais.

1.4.2. VoIP tinklo pasiekiamumas

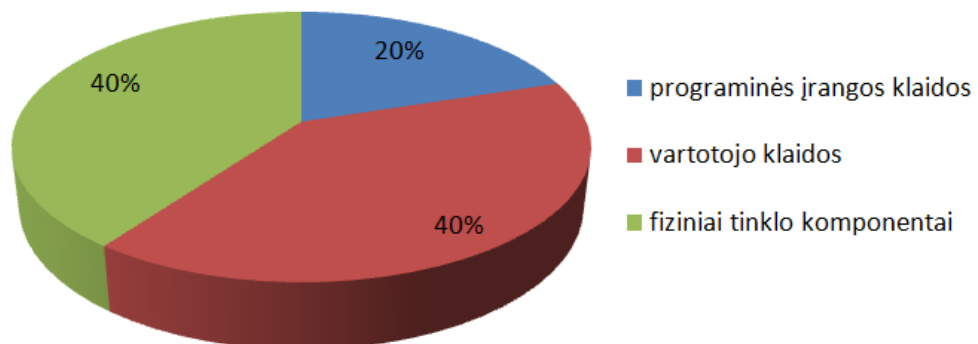
Šiuolaikiniai vartotojai tikisi aukšto lygio pasiekiamumo neskirstydami telefonijos paslaugų pagal pateikimo pobūdį. PSTN tinklas, vystytas daugiau nei šimtmetį pasiekiamumo kartelę kitoms telefonijos technologijoms užkėlė labai aukštai. Tipiniam vartotojui priimtinas tinklo nepasiekiamumas yra 5 minutės per vienerius metus. PSTN tinklo pasiekiamumas Jungtinėse Amerikos Valstijose yra, taip vadinamas, penkių devynetukų. Kitaip tariant, paslauga pasiekama 99,999% laiko skaičiuojant metams.

Veiksnumas procentais	Neveiksnumas procentais	Neveiksnumas per metus	Neveiksnumas per savaitę
98 %	2 %	7,3 dienos	3 val., 22 min.
99 %	1 %	3,65 dienos	1 val., 41 min.
99,8 %	0,2 %	17 val., 30 min	20 min., 10 sek.
99,9 %	0,1 %	8 val., 45 min.	10 min., 5 sek.
99,99 %	0,01 %	52 min., 30 sek.	1 min.
99,999 %	0,001 %	5,25 min.	6 sek.
99,9999 %	0,0001 %	31,5 sek	0,6 sek.

1.9 pav. Paslaugos pasiekiamumas

Penkių devynių pasiekiamumo tikimybė metams – etaloninė reikšmė visiems ryšio tinklams. Pasiekiamumo skirtumas tarp PSTN ir VoIP paslaugų šiai dienai skiriasi ganėtinai daug. VoIP technologija gerokai atsilieka sulyginant ryšio kokybės parametrus. Anot tyrimų organizacijos “MERIT Project Results” pateikiamų rezultatų vidutiniškas sistemos pasiekiamumas IP tinkle yra 98,5%. [4] Į šią reikšmę įtraukti stambiųjų kompanijų aplikacijų serveriai, puslapių talpinimo serveriai, centriniai kompiuteriai ir kitokie IT tinklai. Norint pasiekti tokį aukštą, kaip IP tinklui, lygį reikia daug laiko, didelių investicijų ir konstruktyvaus paslaugos ir tinklo architektūros planavimo. Prieš diegiant VoIP paslaugą reikėtų pasverti kiek svarbus tinklo pasiekiamumo vaidmuo. Įprastai, VoIP paslaugos teikimo atveju, pasiekiamumas yra labai svarbu.

Siekiant padidinti IP telefonijos paslaugos pasiekiamumą reikėtų atkreipti dėmesį į tai, kokios priežastys sukelia nepasiekiamumą.



1.9 pav. VoIP paslaugos nepasiekiamumo sukėlimo priežastys

- Programinės įrangos klaidos – tai funkcinių aspektų vykdymas, tinklo dalijimas ir pan.

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

- Vartotojo klaidos – tai paslaugos vartotojo sukeltos klaidos.
- Į fizinius tinklo komponentus įeina visa tinklo aparatinė įranga.

Pasak Merit Project atlikto tyrimo, dažniausiai paslaugos nepasiekiamumą sukelia tinklo eksploatavimo trūkumai, tokie kaip maksimalios apkrovos viršijimas ar nepakankamas dažnių juostos pralaidumas. Daugeliu atvejų problema yra didelis srauto apkrovimas ir mažas pralaidumo juostos plotis. Žinoma, diegiant tinklus Lietuvoje ši problema nėra tokia opi kaip užsienyje. Ne ką mažiau įtakos turi ir piktavalių įsilaužimas, konkrečiau DOS atakos (angl. Denial of Service).

Esminiai IP telefonijos tinklo komponentai yra valdantys serveriai (angl. Server Boxes). Šie kompiuteriai yra gerokai galingesni už įprastus kompiuterius, jie atlieka kompleksines operacijas ir sudėtingus eksploatavimo algoritmus, valdydami kitus kompiuterius. Šiuose komponentuose dažniausiai ir kyla problemos: programinė įranga dėl įvairių priežasčių gali optimaliai nefunkcionuoti ar visiškai sugesti, vartotojai, piktavaliai, ar tinklo administratoriai gali sukelti problemų, ir žinoma, visa techninė įranga gali sukelti įvairaus tipo problemų. Serveriai privalo būti kiek įmanoma patikimesni tam, kad būtų pasiektas aukštas VoIP pasiekiamumas. [4]

Prieš dešimtmetį, ar šiek tiek seniau, pagrindinės tinklo prastovos priežastys būdavo įrangos gedimai. Šiai dienai elektronikos prietaisų gamintojai gerokai patobulino gamybos procesus, naudojamas medžiagas, todėl „pirmaujančio“ tinklo gedimų sukėlimo priežasties titulo jiems pavyko nusikratyti. Iš 1.9 pav. pateiktos diagramos galima matyti, kad vartotojo klaidos ir tinklo komponentų gedimai tinklo nepasiekiamumo sukėlimą lemia vienodai – po 40%. Remiantis patikimumo informacijos analizės centro (RIAC) duomenimis, elektroninės įrangos gedimo priežastys yra skirstomos į 8 dedamąsias. Visos priežastys išreikštos procentaliai pagal tai, kaip dažnai dėl jų sugenda prietaisai: plokštės komponentai – 22%; neišaiškintos priežastys (jokio defekto) – 20%; gamyba – 15%; induktyvumo – 12%; nusidėvėjimas – 9%; dizainas – 9%; programinė įranga – 9%; ir sistemos valdymo klaidos – 4%. Remiantis šia statistika matome, kad 22% aparatų gedimų pasireiškia dėl plokštės komponentų, likę 78% dėl kitų priežasčių. Galime daryti išvadą, kad nereikia skirti daug dėmesio renkantis tinklo įrangą – dauguma prietaisų pagaminti iš aukštos kokybės tranzistorių, rezistorių, kondensatorių, induktyvumo elementų ir t.t. [11]. Tinklo architektūra ir įrangos realizavimas – pagrindiniai aspektai, lemiantys aukštą pasiekiamumą.

Siekiant aukštesnio VoIP pasiekiamumo reikia koncentruotis ties šiais aspektais [8]:

- Optimali tinklo architektūra;
- Aukštos kvalifikacijos IT darbuotojai, gera programinė įranga užtikrinanti sistemos regeneraciją po gedimo;

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

- Tinklo ir galinių įrenginių kokybės parametrų užtikrinimas;
- VoIP techninės įrangos patikimumas (VoIP serveriai, tinklo sietuvai, IP PBX serveriai);
- Reguliariai atnaujinama prevencinė įsilaužėlių programinė įranga, ugniasienė.

Paslaugos pasiekiamumas skaičiuojamas pasinaudojant Marcus-Stern formule:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}. \quad (1.5)$$

Iš formulės matome, kad mažėjant gedimų šalinimo laikui (*MTTR*), bendras pasiekiamumas artėja prie 100% ir gedimų šalinimo laiko įtaka sistemos pasiekiamumui mažėja, didėjant vidutiniam laikui tarp gedimų (*MTBF*) [13]. *MTTR* ir *MTBF* išreiškiami atitinkamai 1.7 ir 1.8 formulėmis.

Iš 1.5 formulės paskaičiuojame nepasiekiamumą:

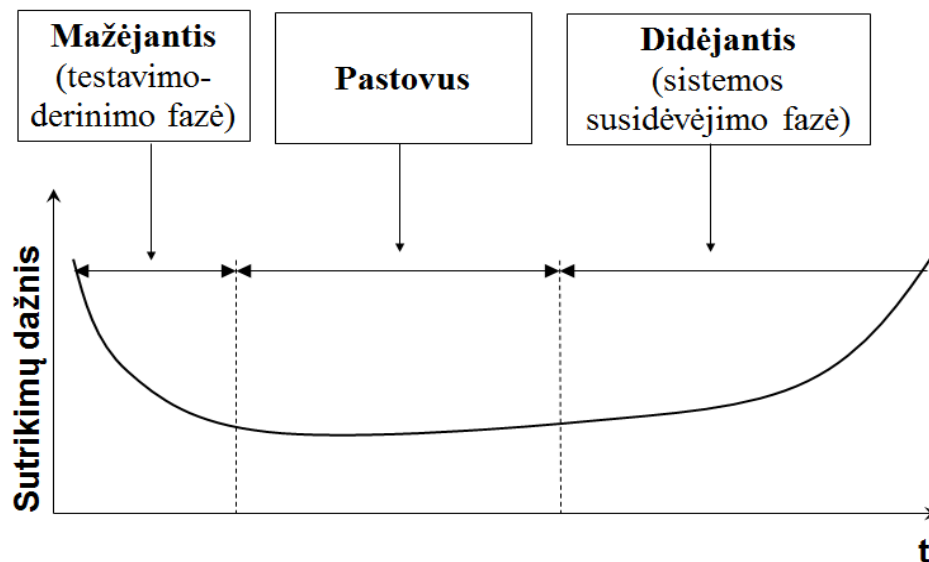
$$U = 1 - A. \quad (1.6)$$

1.4.3. VoIP tinklo prastovos

Tinklo prastova – tai tinklo būseną, kada jis nepasiekiamas vartotojams. Prastovos skirstomos į numatytas ir neplanuotas – atsitiktines. VoIP paslaugos teikimo tinklo prastova reiškia, kad abonentai negali pasinaudoti paslauga dėl tinkle įvykusio gedimo. Telekomunikacijų pramonėje paslaugų tiekėjai ir įrangos gamintojai pritaikė ISO 9000 kokybės standartų grupę tam, kad apibrėžtų sąlygas aukštam tinklo pasiekiamumui ir įrenginių patikimumui.

Siekiant kuo aukštesnio tinklo pasiekiamumo lygio, būtina tinkamai pasiruošti neplanuotai tinklo prastovai pašalinti. Tiksliai numatyti VoIP paslaugos sutrikimą dėl neplanuoto tinklo elemento gedimo praktiškai neįmanoma, bet teoriškai – galima pamėginti. Pirmas žingsnis link tinklo prastovos numatymo, tai tinklo parametrų analizė ir monitoringas.

Neplanuotą VoIP tinklo įrangos gedimą galima mėginti nuspėti pagal plačiai vartojamą „vonios“ kreivę (angl. Bathtub Curve). Įdomu tai, kad „vonios“ kreivė iš pradžių buvo naudojama kaip įrankis, padedantis nustatyti žmogaus mirtingumo rodiklį. Tik vėliau kreivė pritaikyta mechanikai. Šiuo metu ji plačiai naudojama teoriškam įrangos sutrikimo vertinimui. [7]



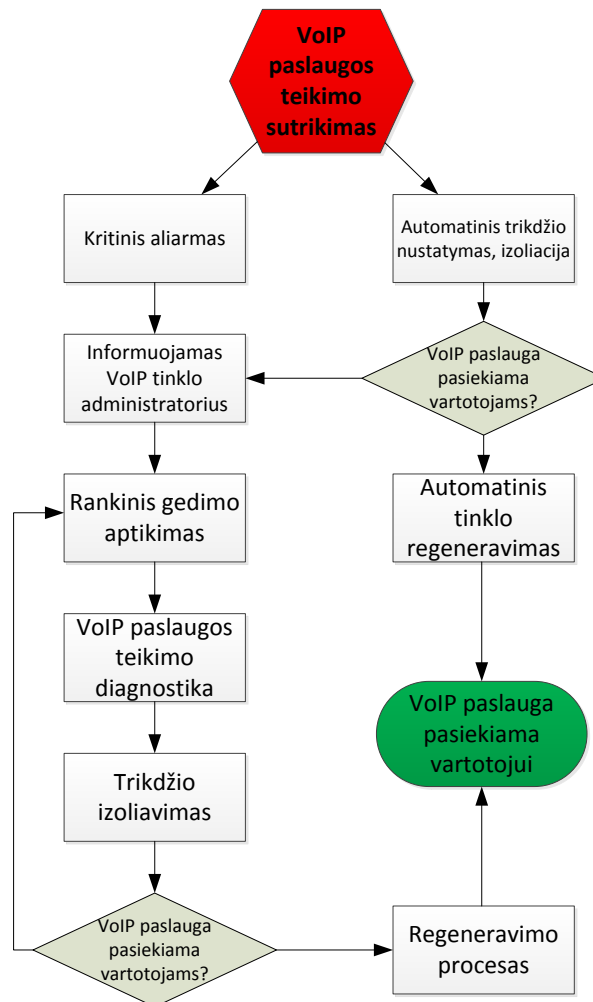
1.10 pav. „Vonios“ kreivė

Prastovas, pasireiškiančias dėl tinklo įrangos gedimo dažniausiai sukelia:

1. Sistemų projektavimas, techninė įranga, programinė įranga, sudedamosios tinklo dalys arba kitos sistemos dalys
2. Planuojama pertrauka, kuri yra būtina pagal sistemos projektavimą
3. Sistemos tobulinimas, atnaujinimas, numatytas organizacijoje. Prie jo priskiriami tokie veiksmai kaip dokumentacija, apmokymai, inžineriniai veiksmai tinklo architektūroje, priežiūra, techninė pagalba, programinės įrangos ar aparatūros kaitos veiksmai, ir t.t.
4. Procedūrinė klaida, kurią sukelia tiekėjas
5. Sistemos nesugebėjimas pateikti būtiną informaciją apie įvykusį gedimą, jo priežastis
6. Klientams-vartotojams priskiriami prastovų sukėlimai siejami su vartotojo įranga ar aptarnavimo veikla. Tinklas tampa nepasiekiamas dėl šių priežasčių:
7. Klientų padarytų procesinių klaidų
8. Biuro aplinkoje ar vartotojo aplinkoje įvykusių veiksnių. Pavyzdžiui, maitinimo, įžeminimo, temperatūros, drėgmės, arba saugumo problemų
9. Vartotojo atsisakymas leisti paslaugos tiekėją prie atitinkamų tinklo mazgų, kurie galimai sukėlė nesklandumus visame paslaugos tiekėjo tinkle.

1.4.4. VoIP paslaugos atkūrimo konceptualus modelis

Kai vartotojui paslauga yra nepasiekiamo, laikoma, kad įvyko gedimas, dėl kurio sutriko VoIP paslaugos teikimo modelis. Pasireiškus paslaugos nepasiekiamumo būsenai vykdomų veiksmų algoritmas pavaizduotas 1.11 pav.



1.11 pav. Veiksmų algoritmas sutrikus VoIP paslaugos pasiekiamumui

Vos tik VoIP paslaugos teikimo modelis yra sutrikdomas – skelbiamas kritinis aliarmas. Tuo pačiu automatinė regeneravimo sistema mėgina identifikuoti ir pašalinti paslaugos trikdžius. Automatinei sistemai nepavykus atstatyti VoIP paslaugos teikimo, apie gedimą dar sykį pranešama paslaugos užtikrinimą administruojantiems asmenims. Paleidus aliarmą – tuo pačiu automatiškai išsiunčios SMS, el. pašto žinutės, arba skambinama į telefoną nustatytu numeriu. Rankiniu būdu aptikus sugedusį elementą jis turėtų būti atstatomas arba izoliuojamas ir pakeičiamas atsarginiu. Sekantis žingsnis – sistemos regeneravimo procesas, kurio metu paleidžiamos ir suderinamos reikiamos funkcijos. Dauguma aukštą VoIP paslaugos pasiekiamumą užtikrinančių tinklų taiko

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

komponentų dubliavimo metodą. Sutrikus elemento funkcionavimui srauto apkrova nukreipiama per alternatyvų elementą, arba atvirkščiai, per pirminį - originalųjį elementą.

1.4.5. Vidutinis laikas iki gedimo pašalinimo

MTTR (angl. Mean Time to Repair) – vidutinis laikas iki gedimo pašalinimo įprastai išreiškiamas valandomis. Šis dydis taikomas tik toms sistemoms, kurias įmanoma pataisyti. Į *MTTR* reikšmę įtraukiami laiko periodai, nuo momento, kuomet sistema sugenda iki momento, kada sistema vėl veikia ir atlieka priskirtas funkcijas. Grafiškas *MTTR* atvaizdavimas pateiktas 1.12 pav. *MTTR* randamas:

$$MTTR = \frac{MTBF - A \cdot MTBF}{A}, \quad (1.7)$$

čia *MTBF* – vidutinis elemento laikas tarp gedimų, *A* – elemento pasiekiamumas.

Norint paskaičiuoti įrangos veiksnio procentinę dalį reikia žinoti dvi reikšmes: vidutinį laiką tarp gedimų (*MTBF*), bei vidutinį laiką iki gedimo pašalinimo (*MTTR*). *MTBF* priklauso nuo įrenginio projektavimo ypatumų ir aplinkinės įtakos. *MTTR* daug daugiau susijęs su laiku, per kurį tinklą administruojantys darbuotojai sugeba pašalinti kilusias problemas įrenginiuose, kurios sukėlė prastovą ir vėl paleisti tinklą optimaliai funkcionuoti.

Siekiant palyginti aparatinės įrangos pardavėjų pateikiamas *MTBF* reikšmes, remtasi moksline publikacija [8], kurioje aprašomos įrengimų *MTTR* reikšmės. Vidutinis laikas iki gedimo pašalinimo iš esmės priklauso nuo įrangos eksploatavimo paskirties ir vietos tinkle.

1.4 lentelė. Įrangos *MTTR* reikšmės [8].

Įrangos eksploatavimo vieta tinkle	MTTR, h
Srautų priėmimo/formavimo serverinė su personalu	2
Srautų priėmimo/formavimo serverinė be personalo	4
Vietinė komutacinė spinta	4
Tiesioginės prieigos CM/MTA	4
Netiesioginės prieigos CM/MTA	24

Srautų priėmimo/formavimo serverinė su personalu - *MTTR* = 2 h. Įranga kaip kabelinio modemo baigties sistema (CMTS), skambučių valdymo serveris (CMS), bei kiti aparatai esantys srautų priėmimo/formavimo serverinėje (angl. head-end facility), kurią visą laiką prižiūri techninis personalas.

Srautų priėmimo/formavimo serverinė be personalo - $MTTR = 4$ h. Šioje patalpoje pastoviai dirbančio ir prižiūrinčio įrangą personalo nėra.

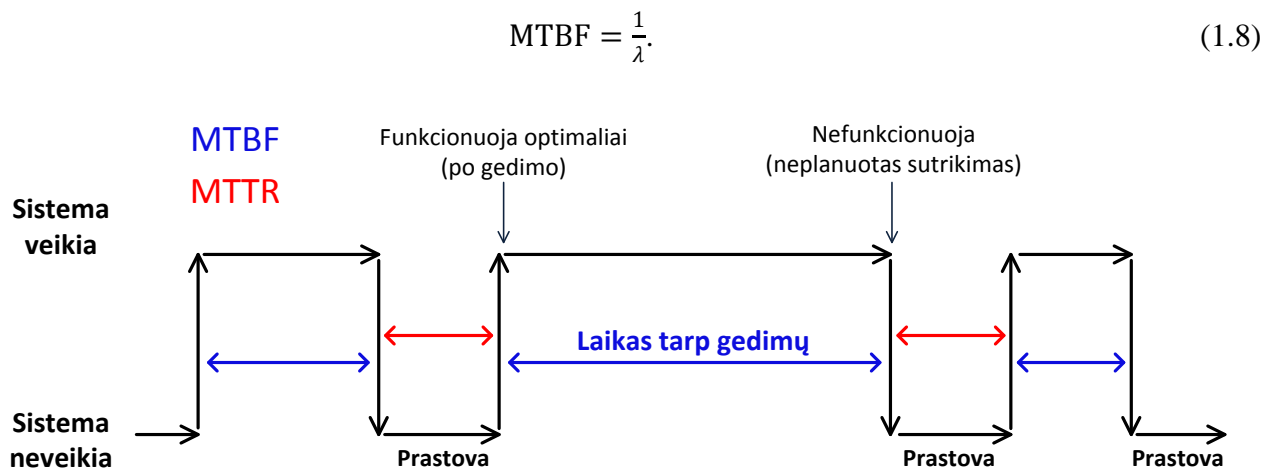
Vietinė komutacinė spinta - $MTTR = 4$ h. Vietinė komutacinė spinta susideda iš šių komponentų: jungiamųjų kabelių ir aparatinės įrangos. Laikoma, jog techninis personalas turi tiesioginį priejimą į visas lauke įrengtas komutacines spintas ir prireikus galės operatyviai pašalinti gedimą.

Tiesioginės prieigos CM/MTA - $MTTR = 4$ h. Tiesioginės prieigos modemas su integruotu multimedijos terminalo funkcijų bloku, ar modemas ir multimedijos terminalas kaip atskiri elementai, technikams privalo būti prieinami be jokių kliūčių. Ši įranga turi būti sumontuota už vartotojo privačios valdos, pvz. daugiabučio rūsyje ir pan.

Netiesioginės prieigos CM/MTA - $MTTR = 24$ h. Kabelinis modemas ir multimedijos terminalas, prie kurių techninio personalo darbuotojai be vartotojo pagalbos neturi tiesioginio priejimo galimybės. Pavyzdžiui modemas įrengtas vartotojo namų ribose, ar užrakintas patalpose į kurias patekti gali tik pats vartotojas.

1.4.6. Vidutinis laikas tarp sutrikimų

Vidutinis laikas tarp sutrikimų literatūroje žymimas $MTBF$ arba θ , šis dydis dažniausiai išreiškiamas valandomis. $MTBF$ reikšmė taikoma tik tokioms sistemoms, kurias galima pataisyti – atstatyti jų optimalų funkcionalumą (sistemoms, kurių pataisyti neįmanoma taikoma $MTTF$ reikšmė – vidutinis laikas iki sugedimo). $MTBF$ reikšmę sudaro laiko intervalai nuo momento kada sistema pradeda optimaliai funkcionuoti iki momento kada atsiranda gedimas. $MTBF$ intervalų skaičiavimo schema pateikiama 1.12 pav.



1.12 pav. $MTBF$ ir $MTTR$

Skyriuje remtasi šia literatūra: [9, 13, 14, 23].

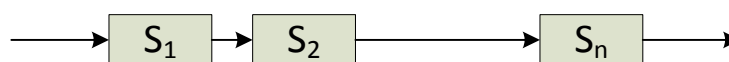
1.5. Nekintančios būsenos VoIP paslaugos blokinis pasiekiamumo modelis

Šiame skyriuje pateikiami metodai, taikytini skaičiuojant VoIP paslaugos vartotojas-vartotojas pasiekiamumą. Prieš atliekant skaičiavimus būtina atlikti VoIP tinklo architektūros analizę ir įvertinti visus ryšio mazgus. Taip pat reikia įvertinti ir kitose lygiuose veikiančius procesus, kurie lemia VoIP paslaugos pasiekiamumą. Žinant paslaugos pasiekiamumą užtikrinančius komponentus ir jų tarpusavio sujungimus, galime nubraižyti blokinę pasiekiamumo schemą. VoIP paslaugos teikimo elementų sujungimas galimas keliais variantais: nerezervuotas, rezervuotas su aktyviu elementu ir rezervuotas su pasyviu elementu ir rezervuotas su aktyviu ir pasyviu elementais. Vertinant bendrą VoIP tinklo architektūrą dažniausiai pasitaiko mišrus komponentų jungimas. Siekiant kuo aukštesnio paslaugos pasiekiamumo rodiklio būtina dubliuoti reikšmingus elementus. Atitinkamai nuo elemento funkcionalumo ir svarbos reikėtų parinkti dubliavimo metodą: aktyvų ar pasyvų, ar abu variantus. 1.6.1 ir 1.6.2 skyriai aprašyti remiantis [9, 12, 13, 14, 23] literatūra.

1.5.1. Sistemos iš nuosekliai sujungtų komponentų

Nuosekliaus sujungimo tinklai praktikoje yra dažniausiai pasikartojantis tinklo struktūros elementų jungimo būdas. Tokio tipo sistemos analizuojamos lengviausiai, tačiau jų pasiekiamumo tikimybės rodiklis žemiausias. Taikant šį metodą individualiai įvertinama pasiekiamumo tikimybė kiekvienam elementui.

Sakykime, kad sistemos modelis S yra sudarytas iš n posistemių S_1, S_2, \dots, S_n kurios sujungtos nuosekliaus elementų jungimo būdu, taip kaip pavaizduota 1.13 paveikslėlyje. Laikomasi logikos, kad komponento S_i gedimo priežastis yra nepriklausoma nuo kitų komponentų įtakos ir kad bendras sistemos S funkcionavimas įmanomas tik tuomet, kai visi modelyje esami komponentai optimaliai funkcionuoja. Kitaip tariant, jei bent vienas iš nuosekliai sujungtų (nuo S_1 iki S_n) elementų suges – sistema S bus sugedusi.



1.13 pav. Sistemos modelis iš n nuosekliai sujungtų komponentų.

Tinklo sistemos pasiekiamumas iš nuosekliai jungtų komponentų randamas:

$$A_s = \prod_{i=1}^n A_i, \quad (1.9)$$

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

čia A_i – i -tojo elemento pasiekiamumas. Priešingas dydis pasiekiamumui – nepasiekiamumas, jis randamas:

$$U_s = 1 - A_s = \sum_{i=1}^n U_i, \quad (1.10)$$

Čia U_i – i -tojo elemento nepasiekiamumas.

Pažymėkime $F_i(t)$ kaip kumuliatyvinę pasiskirstymo funkciją (k. p. f.) iki laiko, kol komponentas S_i suges. Ieškosime $G_S(t)$ reikšmės – tai sistemos sugedimo laiko k. p. f. Pažymėkime T_i kaip laiką, iki kol suges i -toji posistemė, o T – laikas, kol suges sistema. Tuomet yra aišku, kad $T > t$ (sistema optimaliai funkcionuos laiko periodą t) galimas tik tuomet kai $T_i > t$ (visos posistemės optimaliai funkcionuos laiką t), t.y.,

$$T = \min_i \{T_i\} \quad (1.11)$$

ir

$$P(T > t) = P(T_1 > t, T_2 > t, \dots, T_n > t). \quad (1.12)$$

Tačiau, reikia paminėti, jog 1.7 nelygybė parašyta vadovaujantis hipoteze, kad $T_i > t$ laikomi abipusiškai nepriklausomais. Vadinasi,

$$P(T > t) = \prod_{i=1}^n P(T_i > t) = \prod_{i=1}^n (1 - F_i(t)). \quad (1.13)$$

Taigi, $G_S(t)$, sistemos gedimo laiko k. p. f. galime užrašyti kaip:

$$G_S(t) = 1 - P(T > t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i(t)). \quad (1.14)$$

Sistemos patikimumas laiko intervalu $(0, t]$ apibūdinamas kaip tikimybė, kad sistema optimaliai funkcionuos laiką t ir žymimas $R_S(t) = P(T > t)$. Pagal tai galima suskaičiuoti kiekvieno sistemoje esamo elemento patikimumą $R_i(t) = P(T_i > t)$. Vadinasi 1.8 formulė gali būti pateikta tokia išraiška:

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t). \quad (1.15)$$

Jei visų sistemą sudarančių posistemių laiko iki gedimo $F(t)$ k. p. f. reikšmės vienodos, tuomet $G_S(t)$ paskaičiuojamas pagal

$$G_S(t) = 1 - [1 - F(t)]^n \quad (1.16)$$

ir

$$R_S(t) = [1 - F(t)]^n. \quad (1.17)$$

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Tarkime, kad S_i komponento veiksnio laiko pasiskirstymas išreiškiamas per vidutinį laiką tarp sutrikimų $\vartheta_i = 1/\lambda_i$. Tuomet

$$F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}, \quad (1.170)$$

pasinaudojant 1.9 formule sistemos gedimo laiko k. p. f. išreiškiama:

$$G_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i(t)) = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}. \quad (1.18)$$

Taigi, sistemos veiksnio trukmė gali būti išreikšta skaičiuojant vidutines komponentų ϑ reikšmes.

$$\Theta_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \theta_i^{-1}}. \quad (1.19)$$

Sistemos sutrikimų dažnis randamas:

$$\Lambda_s = \frac{1}{\Theta_s} = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (1.20)$$

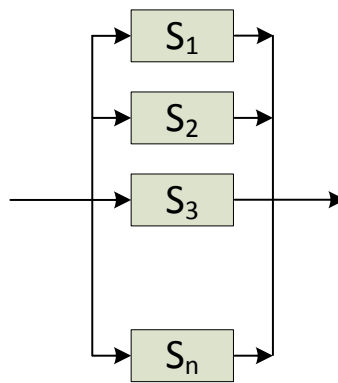
Sistemos patikimumas suskaičiuojamas:

$$R_s(t) = \frac{1}{\Theta_s} = e^{-\Lambda_s t}. \quad (1.21)$$

1.5.2. Sistemos iš lygiagrečiai sujungtų komponentų

Komponentų, apjungtų lygiagrečiai, visuma vadinama rezervuota sistema. Tai toks sistemos modelio mazgų sujungimas, kuriame bent du elementai yra sujungti lygiagrečiai ir jie visi turi sugesti, kad iššauktų paslaugos teikimo gedimą. VoIP paslaugos teikimo modelio rezervuotas komponentų jungimo metodas yra pranašesnis, lyginant su nuosekliu komponentų jungimo metodu, pasiekiamumo ir kitų kokybinių parametrų atžvilgiu.

Sakykime, kad sistemos modelis S sudarytas iš n posistemių S_1, S_2, \dots, S_n , kurios išdėstytos paraleliai jas dubliuojant, taip kaip pavaizduota 1.14 paveikslėlyje. Laikomasi prielaidos, kad komponentai S_j sugenda nepriklausomai nuo visų kitų komponentų įtakos ir kad bendras sistemos S funkcionavimas galimas tuomet, kai bent vienas modelyje esantis komponentas optimaliai funkcionuoja. Kitaip tariant, sistema S bus laikoma optimaliai funkcionuojanti tol, kol bent vienas jos komponentas S_j bus veikiantis.



1.14 pav. Sistemos modelis iš n paraleliai sujungtų komponentų.

Sistemos pasiekiamumas iš lygiagrečiai jungtų komponentų paskaičiuojamas:

$$A_p = 1 - U_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i), \quad (1.22)$$

čia U_p – lygiagrečios sistemos nepasiekiamumas, A_i – i -tojo elemento pasiekiamumas.

$F_i(t)$ laikykime k. p. f. iki laiko kol komponentas S_j suges. Ieškosime $G_p(t)$ reikšmės – tai sistemos sugedimo laiko k. p. f. Pažymėkime T_j kaip laiką iki kol suges S_j posistemė, o T – laikas kol suges sistema S . Tuomet aišku, kad

$$T = \max_j \{T_j\} \quad (1.23)$$

Taigi, dėl posistemų nepriklausomybės,

$$G_p(t) = P\{T \leq t\} = \prod_{j=1}^n P\{T_j \leq t\} = \prod_{j=1}^n F_j(t). \quad (1.24)$$

Sistemos patikimumas laiko intervale $(0, t]$ gali būti suformuluotas tokia formule:

$$R_p(t) = 1 - G_p(t) = 1 - \prod_{j=1}^n F_j(t). \quad (1.25)$$

Jeigu nagrinėjamos sistemos visos posistemės turi vienodą laiko, kol suges $F(t)$ k. p. f. reikšmę, tuomet

$$G_p(t) = F^n(t) \quad (1.26)$$

ir

$$R_p(t) = 1 - F^n(t). \quad (1.27)$$

Vidutinis laikas iki sistemos gedimo (dar žymimas MTTF) randamas:

$$ET = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n}\right). \quad (1.28)$$

Vidutinis laikas tarp gedimų rezervuotai sistemai randamas:

$$\theta_p = \frac{1}{\Lambda_p} = \sum_{i=1}^n \theta_i - \frac{1}{\sum_{i=1}^n \theta_i^{-1}}, \quad (1.29)$$

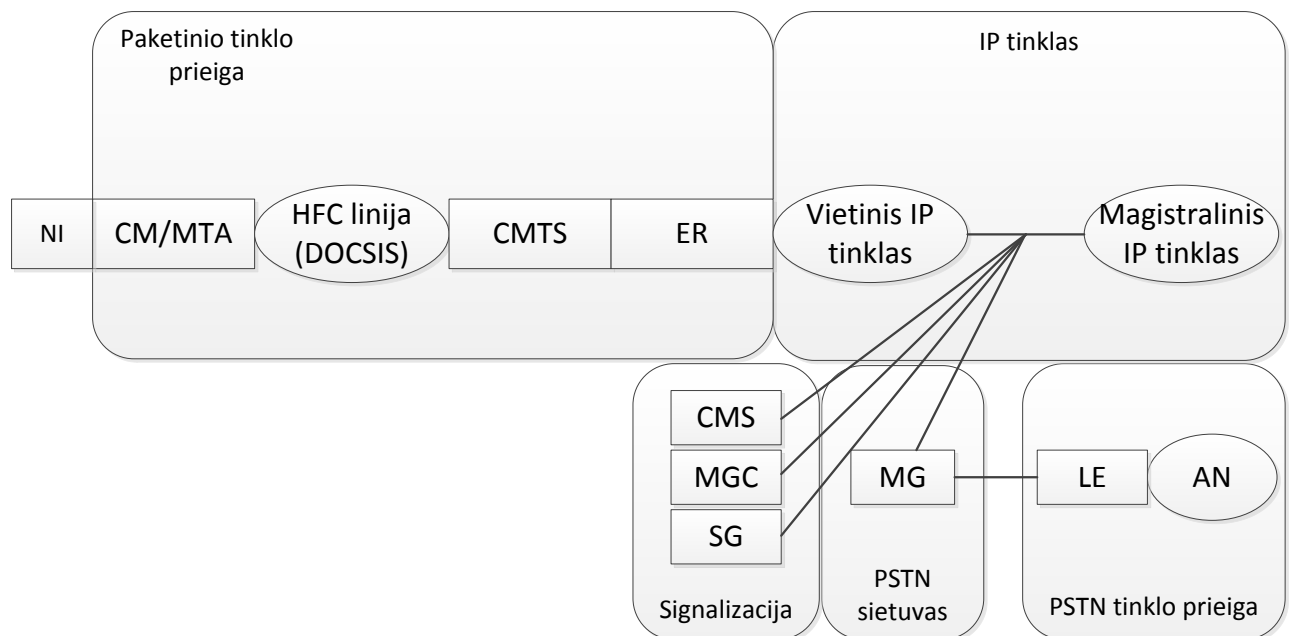
Λ_p – rezervuotos sistemos gedimų dažnio tikimybė.

2. Baziniai VoIP paslaugos vartotojas-vartotojas pasiekiamumo modeliai

Paketingo perdavimo tinklo vartotojas-vartotojas pasiekiamumo modelis parengtas pagal klasikinį PSTN tinklo vartotojas-vartotojas pasiekiamumo modelį. Šiais modeliais siekta apibendrinti balso perdavimo paslaugą skirtingomis terpėmis ir įvertinti pasiekiamumo lygį. Bus aptarti esminiai tinklo mazgai, bei kiti elementai, kuriuose ir dėl kurių gali kilti gedimai.

2.1. VoIP paslaugos pasiekiamumo paketiniame tinkle bazinis modelis

Šiuo modeliu siekiama apibrėžti paketingo tinklo svarbiausius elementus teikiant balso perdavimo paslaugas. Priskiriant tikimybinus rodiklius atskiriems tinklo mazgams galima formuluoti išvadą. Vartotojas – vartotojas skambučio scenarijaus atveju sulygintas patikimumas tarp ekvivalenčiai atliekamų skambučių PSTN ir paketiniame tinkle. Reikėtų paminėti tai, kad tinklo įrangos gamintojai projektuoja agregatų patikimumo lygį patys, o paketingo tinklo administratoriai nėra įtraukti į įrangos projektavimo klausimus [8].



2.1 pav. Paketinio tinklo bazinė schema [8]

- Kabelinis modemas/terpės terminalo adapteris

Kabelinis modemas (CM) yra tinklo elementas, kurį apibūdina DOCSIS standartas (angl. Data Over Cable Service Interface Specification). CM, tai moduliatorius/demoduliatorius, paprastai

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

esantis kliento patalpose, jis užtikrina duomenų perdavimą per kabelinį tinklą, naudojant DOCSIS protokolą. Paketinio perdavimo tinkluose kabelinio modemo pagrindinis vaidmuo yra valdyti duomenų srautą ir suteikti tokias paslaugas kaip srautų klasifikavimas, srautų formavimas ir abonentų prioritetas aptarnavimas.

Terpės terminalo adapteris (MTA) gali būti integruotas į modemą arba būti atskiras elementas. MTA atlieka balso kodekų funkcijas ir taip pat yra atsakingas už sąsają tarp įprastų analoginių telefonų ir DOCSIS paketinio tinklo.

- Hibridinis skaidulinių ir bendraašių kabelių tinklas

Paketinio tipo tinklų duomenų srautas perduodamas per hibridines skaidulinių ir bendraašių kabelių (HFC) linijas ir komutacines spintas. HFC komutacinė spinta yra dvikryptė, bendro srauto sistema, kurią sudaro kabelinis modemas (CM), kabelinio modemo baigties sistema (CMTS) ir DOCSIS MAC bei fiziniai adresai.

Prastovos dėl maitinimo sistemų, aprūpinančių aktyvius tinklo elementus, nėra vertinamos.

- Kabelinio modemo baigties sistema

CMTS - kabelinio modemo baigties sistema suteikia duomenų srauto ryšį tarp modemų. Atkarpoje tarp modemų yra hibridinė skaidulinių ir bendraašių kabelių komutacinė spinta. Duomenų srautai perduodami naudojant DOCSIS protokolą. CMTS taip pat suteikia galimybę ryšiui su IP tinklais. Kabelinio modemo baigties sistema įprastai būna paskirstymo centre.

- Kraštinis maršrutizatorius

Daroma prielaida, kad kiekviena kabelinio modemo baigties sistema turi turėti maršrutizavimo galimybę tarp IP tinklo ir paties savęs (CMTS). Tačiau yra aišku, kad ne kiekvienoje kabelinio modemo baigties sistemoje bus integruotas funkcionalus maršrutizatorius.

- Bendras IP tinklas

Bendras IP tinklas (angl. Managed IP), tai tinklas, kuriuo perduodami informacijos paketai. Jis yra suskaidytas į dvi funkcines dalis: vietinį IP ir stuburinį IP.

- Vietinis IP

Vietinis IP tinklas apima visus reikalingus paketinio tinklo elementus/serverius. Pastarieji serveriai, atsižvelgiant į architektūros sistemą, yra grupuojami į dvi kategorijas: valdymo sistemų palaikymo biurus (angl. OSS back office) arba medijos serverius. Šiuo metu dauguma serverių nėra pirmosios būtinybės techniniame aptarnavime. Serveriai reikalingi atlikti savo paskirtis, tokias kaip atstatyti sistemą po žlugimo arba įvertinti operacijų požiūrį. Kitaip tariant, DHCP (angl. Dynamic

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Host Configuration Protocol) ir TFTP (angl. Trivial File Transfer Protocol) reikalingi ne tik priversti naujus kabelinius modemus prisijungti prie tinklo, bet ir priversti juos vėl funkcionaliai veikti po tinklo gedimo. Vietinis IP taip pat apima aktyvius tinklo elementus: maršrutizatorius, komutatorius ir šakotuvus, bei juos apjungiančią įrangą. Vietiniame tinkle esantys serveriai valdo šiuos protokolus, atlieka kodavimus/dekodavimus ir kitus veiksmus. Juos galima sugrupuoti pagal paskirtį: TFTP, RKS (angl. Record Keeping Server), DHCP, ToD (angl. Time of Day), DNS (angl. Domain Name Server), medijos serveriai (pvz. pranešimų serveris, konferencijos serveris).

- Magistralinis IP

Magistralinis IP tinklas aprėpia plačią teritoriją ir sujungia paketinio tinklo domenų.

- Tinklo signalizacija

Signalizacija tai komponentas, kurio darbas sujungti abonentus, prižiūrėti skambutį ir galiausiai nutraukti pokalbį. Į tinklo signalizaciją įeina šie komponentai: CMS, MGC, SG.

- Skambučių valdymo serveris

CMS – skambučių valdymo serveris (angl. Call Management Server) yra dažnai painiojamas su skambučio agentu CA (angl. Call Agent), ypatingai naudojant MGCP (Media Gateway Control Protocol) protokolą. Paketiniuose tinkluose CA nurodo CMS kontrolinį komponentą, kuris yra atsakingas už signalizavimo mechanizmą.

- Terpės tinklų sietuvo valdiklis

MGC kontroliuoja ryšio būseną, kuomet abonentai sujungti, bei prižiūri PSTN sietuvo bendrą elgseną. MGC paskirtis panaši į skambučių valdymo serverio (CMS) paskirtį, tačiau skirtumas tas, kad MGC taip pat geba valdyti PSTN SS7 tinklą.

- Signalizavimo tinklų sietuvas

Signalizavimo sietuvas SG (angl. Signaling Gateway) palaiko sąveiką tarp paketinio ir PSTN SS7 signalizavimo serverių.

- PSTN tinklų sietuvas

PSTN sietuvas laikomas labai svarbiu elementu. Jo paskirtis palaikyti pastovų ryšį tarp PSTN ir paketinio tinklo abonentų iš kart po to, kai signalizavimo serveris sujungia vartotojus.

- Terpės tinklų sietuvas

Medijos sietuvas (MG) išardo srauto maršrutus ir perkoduoja mediją tarp grandinėmis komutuojamo PSTN tinklo ir paketais komutuojamo IP tinklo.

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

- PSTN tinklas

PSTN yra grandinių komutavimo principu paremtas tinklas, eksploatuojamas esamo paslaugos teikėjo, ar kitos telekomunikacijų įmonės.

- Centrinis Ofisas

Centrinis ofisas (CO), dar vadinamas vietine komutacine stotimi LE (angl. Local Exchange) atlieka tokio tipo funkcijas, kaip tarp miestinių ir vietinių skambučių kanalų sudarymas tarp abonentų.

- Tinklo prieiga

AN tai PSTN tinklo prieigos atkarpa tarp vietinės komutacinės stoties ir vartotojo namų tinklo. AN gali būti tik pasyvi vario vija, arba vija su optinių pluoštų.

2.2. VoIP paslaugos pasiekiamumo optiniame tinkle bazinis modelis

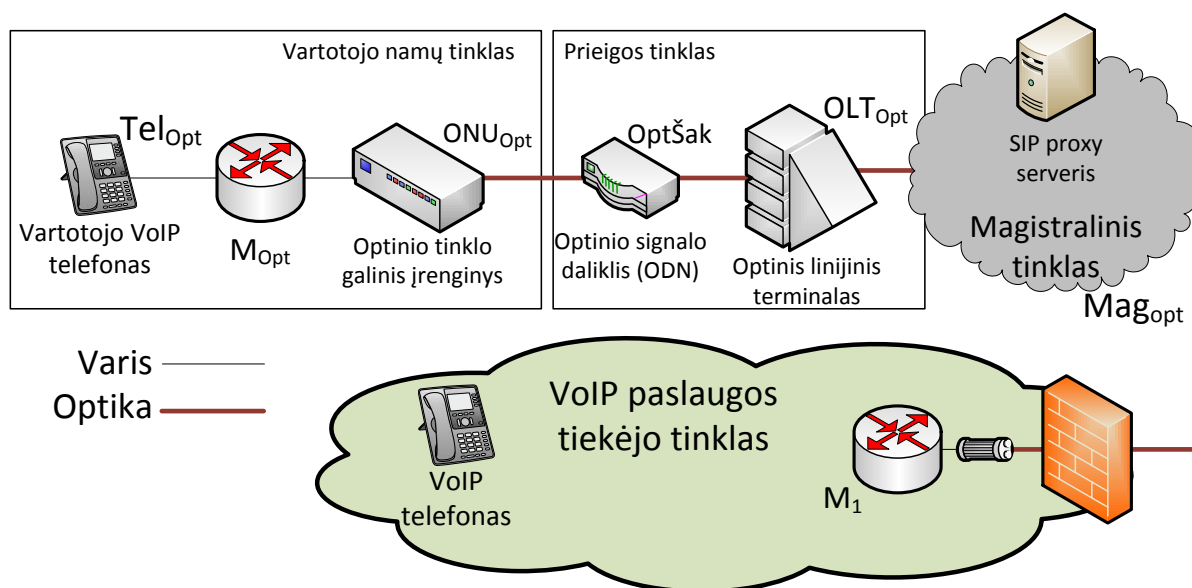
Šviesolaidinis prieigos tinklas yra skirstomas į aktyvų ir pasyvų, priklausomai nuo tinklo architektūroje naudojamų įrenginių norint perduoti optinį signalą. AON (angl. Active Optical Network) signalas perduodamas taškas-taškas metodu. Tinklą sudaro tokie komponentai kaip multiplekseriai, maršrutizatoriai ar komutatoriai, o signalas jame yra nukreipiamas konkrečiam galiniam įrenginiui. PON (angl. Passive Optical Network) signalas perduodamas taškas-daug taškų metodu. Tinkle vietoje maršrutizavimo įrenginių naudojami optiniai šakotuvai kurie vieną bendrą signalą gali paskirstyti 16, 32 arba 64 skaiduloms [20]. Buvo pasirinkta tirti pasyvios optinės prieigos tinklą, dėl skiriamo dėmesio vystant šią technologiją ir dėl plataus masto PON panaudojimo Lietuvoje. PON privalumai lyginant su AON [20]:

- Pigesnė eksploatavimo įranga – multipleksavimui naudojami nebrangūs pasyvūs optiniai šakotuvai;
- Užtikrinamas ilgesnis perdavimo atstumas tarp tiekėjo pagrindinio tinklo ir kliento;
- Mažesnis optinių linijų kiekis – tarp OLT ir ODN reikalinga tik viena optinė gija;
- Dinaminis juostos paskirstymas;
- Didesnė srauto pralaida dėl optinės gijos skverbti arčiau vartotojo (priklauso nuo paskutinės mylios optinio prieigos tinklo architektūros)
- Žemesnis sudėtingumo lygis eksploatuojant ir plečiant tinklą.

PON architektūros tinkle optinis signalas perduodamas iš OLT - optinės linijos terminalo (angl. Optical Line Terminal) į netoliese vartotojo esančią komutacinę stotį. Vietinėje komutacinėje

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

stotyje, prieš tai minėtais optiniais šakotuvais, srautas yra nukreipiamas kiekvienam optinio tinklo elementui ONU (angl. Optical Network Unit), arba dar kitaip vadinamam optinio tinklo terminalui ONT (angl. Optical Network Terminal). ONU terminas naudojamas IEEE organizacijos, o ONT – ITU-T. Bazinė VoIP paslaugos pasiekiamumo per PON prieigos tinklą schema pavaizduota X pav. Pagal paskutinės mylios optinio tinklo architektūra PON skirstomas į FTTH (angl. Fiber to the *x*). Tai bendras terminas naudojamas apibrėžti optinio prieigos tinklo architektūra. Baziniame modelyje (2.2 pav.) pavaizduoto VoIP paslaugos vartotojo ir tiekėjo optinės tinklo prieigos architektūra yra FTTH (angl. Fiber to the home). Nuo aktyvinės įrangos interneto tiekėjo stotyje klojami magistraliniai (576, 288, 192, 144 skaidulų talpos) kabeliai iki kvartalo pradžios. Šviesolaidinių kabelių movų pagalba magistralinių kabelių skaidulos paskirstomos į mažesnės apimties (96, 48, 24 skaidulų talpos) skirstomuosius kabelius. Vartotojas dažniausiai pajungiamas 2 skaidulų talpos kabeliu. FTTH architektūroje optinė skaidula nutiesta iki vartotojo patalpų, kur optinis-elektrinis signalo keitiklis konvertuoja optine skaidula priimtą signalą į skaitmeninį ir toliau persiunčia variniais UTP kabeliais. Signalas transformuojamas priešingai, kuomet srautas per signalo keitiklį yra perduodamas į optinį prieigos tinklą iš vidinio tinklo [20].



2.2 pav. Optinis tinklas

ONU suteikia optines sąsajas tarp vartotojų ir OLT ir yra ne kas kitas, kaip terpės keitiklis. Jis įrengtas vartotojo namuose, arba visiškai netoli jų. Daugiabučiuose ONU paprastai įrengtas laiptinėje, tame pačiame aukšte, kur aptarnaujamas vartotojas.

Optinis paskirstymo tinklas (ODN) – optinio prieigos tinklo segmentas, kuriame įrengti vienas ar keli pasyvūs optiniai skirstytuvai, dar vadinami movomis. Jie sujungia OLT su ONU. Esminė šio elemento funkcija yra išskirstyti gaunamo srauto signalą iš vienos optinės skaidulos į

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

keltas optines skaidulas ir suformuoti siunčiamų srautų signalus iš kelių optinių skaidulų į vieną optinę skaidulą. Optinis skirstytuvas yra nesudėtingas prietaisas, funkcionuojantis be papildomo elektros šaltinio. Ilgiausias atstumas kuriuo ODN atlieką paskirstymą yra 20 km.

Optinės linijos terminalas (OLT) įrengtas interneto tiekėjo centriniame ofise. OLT paskirtis sujungti vietinį tinklą su ar magistraliniu tinklu. OLT yra daugiafunkcinis įrenginys atliekantis ir maršrutizatoriaus, ir komutatoriaus funkcijas. Be to, šis įrenginys kontroliuoja optinio tinklo srautą, pralaidumo lygį, prisijungimus prie prieigos tinklo, saugumą ir valdymo konfigūracijas atsižvelgiant į vartotojo naudojamą paslaugos tipą.

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizę atliksiu naudodamas TDM GPON technologijos FTTH architektūros šviesolaidinės prieigos tinklo modelį. Perduodamų šviesos signalų bangų ilgiai yra 1,490 nm (duomenų ir balso srautui) žeminkrypčiam srautui ir 1,310 nm – aukštinkrypčiui srautui. Perduodant signalą vienmode skaidula signalo slopinimas FTTH architektūroje tesiekia 0.2-0.6 dB/km, išgaunamas didesnis nei 30,000 GHz dažnio juostos plotis. Perdavimo sparta GPON tinklu siekia 2.5 GBps. Pasitelkiant GFP (angl. Generic Framing Procedure) protokolu paremtus GPON tinklus paketai IP tinkle komutuojami originaliais protokolų formatais - nereikalingos protokolų transformacijos. GPON tinklas standartizuotas pagal ITU-T G.984.1 – G984.5 rekomendacijas [21].

Reikėtų paminėti kad, didesnes perspektyvas plėtojimui turi WDM-PON šviesolaidžio technologija, dėl išgaunamos aukštesnės perdavimo spartos ir galimybės keliems operatoriams dalintis viena skaidula. Pasitelkiant WDM, kuomet šviesos spindulys multipleksuojamas skirtingais bangos ilgiais ir vienu metu perduodamas skaidula, keli operatoriai gali dalintis viena fizine skaidula. Šios technologijos aprašymas pateikiamas ITU-T G.652 rekomendacijoje. Pasitelkiant sutankintą WDM (DWDM) multipleksavimo technologiją galima perduoti 100 Gigabitų Ethernet signalą (ODU4), t.y., galima pasiekti iki 1 Tbit/s perdavimo spartą.

3. Tiriamas VoIP tinklas

Tinklo ar paslaugos pasiekiamumo užtikrinimas reiškia, kad vartotojas sutartu metu gali įprastai pasinaudoti pilnaverte VoIP telefonijos paslauga. Šiame moksliniame darbe bus ištirti šie VoIP paslaugos pasiekiamumą apibūdinantys kriterijai:

- θ – vidutinis laikas tarp sutrikimų VoIP paslaugą užtikrinantiems elementams ir jų loginėms funkcijoms.
- λ – gedimų dažnio koeficientas VoIP paslaugą užtikrinantiems elementams ir jų loginėms funkcijoms.

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

- θ – vidutinis laikas tarp sutrikimų vartotojas-vartotojas VoIP paslaugos pasiekiamumo modeliui.
- λ – gedimų dažnio koeficientas vartotojas-vartotojas VoIP paslaugos pasiekiamumo modeliui.
- U – VoIP tinklo nepasiekiamumas.
- $R(t)$ – patikimumo procentinė reikšmė pasirinktu laiko intervalu. Atliktuose skaičiavimuose gedimo tikimybė paskaičiuota mėnesio laiko intervalui (30 d.).
- $G(t)$ – gedimo tikimybės reikšmė pasirinktu laiko intervalu. Atliktuose skaičiavimuose gedimo tikimybė paskaičiuota mėnesio laiko intervalui (30 d.).

Skaičiavimai atliekami esant vertinamoms dvejopoms VoIP sesijos būsenoms: signalizavimo stadijai ir balso perdavimo stadijai.

Toliau bus pateikta išsami VoIP paslaugos pasiekiamumo parametrų analizė suprojektuotam VoIP paslaugos teikimo modeliui. Sakykime, kad įmonė „Skambučių centras“, teikianti klientų aptarnavimo paslaugas telefonu pasitelkiant VoIP technologiją, perka IP telefonijos paslaugas iš „VoIP technologijos tiekėjas“ įmonės. Kitaip sakant, viena įmonė specializuojasi klientų aptarnavime, o kita, VoIP technologijos panaudojime. Galimas variantas, kad IP telefonijos technologiją įsidedgtų ir valdytų pats „Skambučių centras“, tačiau tokiam projektui reikia nemenkų pradinių investicijų, išmanymo ir laiko. Dėl to modeliuojant VoIP paslaugos teikimą, tinklas išskirtas į dvi dedamąsias: IP telefonijos tiekėjo tinklą ir aptarnavimo paslaugas telefonu siūlančios skambučių centro (toliau naudojama SC) įmonės tinklą. Pirmoje dalyje bus išanalizuotas pasirinktas klientų aptarnavimo telefonu, pasitelkiant VoIP technologiją, paslaugos tiekimo WAN (angl. Wide Area Network) tinklas. Sekančiuose skyriuose bus modeliuojami ir analizuojami skirtingų tipų SC VoIP paslaugos pasiekiamumo modeliai. Analizei parinkti šie prieigos tinklai:

- PSTN;
- Optinio perdavimo prieigos tinklas;

Pasirinkimą lėmė skirtingos tinkluose naudojamos perdavimo terpės ir perdavimo technologijos bei skirtingas tinklų pasiekiamumo lygis. Taigi, esminis uždavinys projekcinėje dalyje – susidaryti vartotojas-vartotojas SC VoIP paslaugos pasiekiamumo modelius ir juos išanalizuoti. Įvertinti kritinius taškus ir, jei yra galimybė, juos modernizuoti taip, kad paslaugos pasiekiamumo rodikliai taptų palankesni reiklų vartotojų keliamiems reikalavimams.

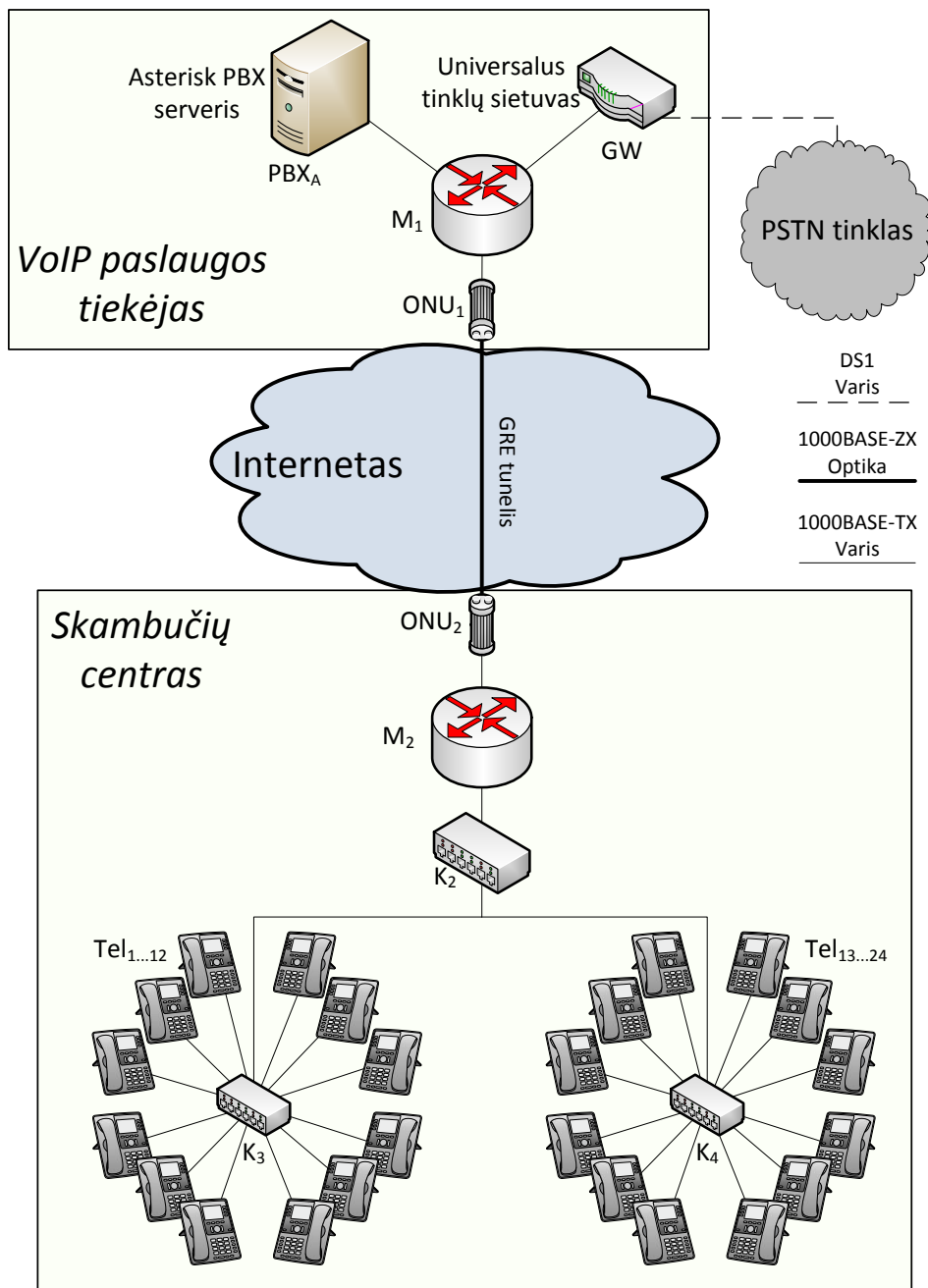
Visų VoIP paslaugos teikime dalyvaujančių elementų fizinio OSI lygmens *MTBF* ir gedimo dažnio reikšmės parinktos pagal įrangos dokumentacijoje, arba moksliniuose darbuose ir publikacijose pateikiamomis reikšmėmis. Protokolinių gedimų tikimybės (2-as ir aukštesni OSI

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

lygmenys) teoriškai apskaičiuotos remiantis mokslinėmis publikacijomis [17, 18, 19, 22]. Vidutinio laiko iki gedimo pašalinimo (*MTTR*) reikšmės parinktos remiantis [8 ir 18] literatūra.

3.1. VoIP paslaugos teikimo WAN tinklas

Tiriamasis VoIP paslaugos teikimo tinklas susideda iš šių tinklo segmentų: skambučių centro (toliau SC) ofiso VLAN, įsikūrusio Kaune ir VoIP telefonijos tiekėjo tinklo, esančio Vilniaus mieste. Šiame skyriuje išnagrinėsiu SC ir VoIP telefonijos tiekėjo WAN tinklo architektūrą, VoIP paslaugos pasiekiamumą užtikrinančių dedamųjų charakteristikas. VoIP paslaugos pasiekiamumą įtakojančių funkcinį elementų charakteristikos pateikiamos pagal OSI lygmenis. Atlikus VoIP tinklo segmentų analizę bus galima nustatyti, kurie taškai turi didžiausia tikimybę sukelti VoIP paslaugos pasiekiamumo sutrikimus. Tokius elementus reikėtų rezervuoti, ar kaip kitaip padidinti jų pasiekiamumo rodiklį. Platusis tinklas (WAN), kurį sudaro SC ir VoIP telefonijos tiekėjo tinklai pavaizduotas 3.1 pav., čia matome, kad IP srautas patenka per maršrutizatorius M_1 ir M_2 , o skambučiai iš PSTN ir judriojo ryšio tinklų – per universalųjį tinklų sietuvą. Iš sietuvo skambutis yra nukreipiamas į virtualią telefoninę stotį – Asterisk PBX, kurioje, inicijuojamas ir užtikrinamas signalizavimo, kodavimo/dekodavimo ir kitų funkcijų teisingas atlikimas. VoIP paslaugos pasiekiamumo kontekste SC privalo užtikrinti nepertraukiamą ir greitą atsakymą į klientų skambučius. Greitam ir kokybiškam klientų aptarnavimui telefonu užtikrinti įrengti 24 galiniai įrenginiai – VoIP telefonai.



3.1 pav. VoIP paslaugos teikimo WAN

Kaip galima matyti pateiktoje tinklo schemoje, VoIP paslaugos teikimo WAN tinklą sudaro per virtualų tunelį sujungti du tinklai – VoIP telefonijos tiekėjo tinklas ir skambučių centro tinklai. 3.1.1. poskyryje pateikta išsami skambučių centro VLAN tinklo analizė, o 3.1.2. poskyryje - VoIP telefonijos tiekėjo tinklo analizė.

3.1.1. Skambučių centro tinklas

Skambučių centro tinklo įrenginiai sujungti variniais vytos poros UTP 5-os kategorijos kabeliais pasitelkiant Gigabit Ethernet technologijos 1000BASE-T, taip pat žinomą kaip IEEE

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

802.3ab standartą. Skambučių centro tinklo architektūra sukonfigūruota žvaigždinės topologijos principu. Iš viso 24 vienetai Mitel 5312 IP telefonų, kurie yra sujungti į dvejus D-Link DGS-1024D komutatorius - po 12 telefonų į komutatorių. Iš šio taško, per vietinę komutacinę spintą, abu D-Link DGS-1024D komutatoriai prijungti prie Cisco SF302-08 valdomo komutatoriaus, pastarasis yra prijungtas prie maršrutizavimo įrenginio Cisco ASR 901-6CZ-F-D. Paskutinis prietaisas esantis skambučių centro tinklo ribose yra optinis keitiklis D-Link DMC-920T, kuris transformuoja perduodamo signalo formą. Skambučių centro tinklas, pasitelkiant GRE protokolą, (angl. Generic Routing Encapsulation) per virtualų tunelį sujungtas su pagrindiniu tinklu. Žemiau pateiktoje 3.1 lentelėje nurodytos skambučių centro tinklo prietaisų specifikacijos.

3.1 lentelė. Skambučių centro tinklo įrangos detalizuotas sąrašas.

Žymėjimas schemoje	Įrenginys, vnt	Gamintojas, modelis	Specifikacijos
Tel _{1...24}	VoIP telefonai, 24	MITEL 5312	Procesorius: TNETV1055 (MIPS) - 125 MHz; RAM: 16 MB; Balso perdavimas: RTP per UDP; Signalizavimas: TCP, SIP.
K ₃ , K ₄	Komutatoriai, 2	D-Link DGS- 1024D	Prievadai: 24 1000BASE-T Gigabit Ethernet; QoS: CoS (802.1p), 4 prioretizavimo lygiai ir kt.; Buferio talpa: 512 KB per prievadą.
K ₂	Komutatorius, 1	Cisco SF302-08	Programuojamas; Prievadai: 8 Ethernet 100/1000, 2 combo mini-GBIC; Buferio talpa: 8 Mb; QoS: paketų eiliškumas pagal DSCP, CoS (802.1p), 4 prioretizavimo lygiai.
M ₂	Maršrutizatorius, 1	Cisco ASR 901- 12C-FT-D	Programuojamas; Prievadai: 4 100/1000 RJ-45 Gigabit Ethernet, 16 T1/E1; Buferio talpa: 8 Mb; QoS: paketų eiliškumas pagal DSCP, CoS (802.1p), HQoS ir kt.
ONU _{SC}	Optinis keitiklis, 1	D-Link DMC-920T	Prievadai: 100/1000BASE-TX ir 1000BASE-FX Single Fiber FX (SC connector); Persiuntimo lygis: max 148800 pps.

Įrenginių specifikacija pagal OSI lygmenis pateikta 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. SC tinklo dedamųjų charakteristika pagal OSI.

Komponentas/ OSI	Tel _{1...24}	K _{3, K₄}	K ₂	M ₂	ONU ₂
7. Taikymo					
6. Pateikimo					
5. Sesijos	SIP (SDP)				
4. Transporto	UDP, RTP				
3. Tinklinis	IP		IP	IP	
2. Kanalinis	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet
1. Fizinis	Aparatinis patikimumas, maitinimo šaltinis, kitos fizinės grėsmės	Aparatinis patikimumas, maitinimo šaltinis, kitos fizinės grėsmės	Aparatinis patikimumas, maitinimo šaltinis, kitos fizinės grėsmės	Aparatinis patikimumas, maitinimo šaltinis, kitos fizinės grėsmės	Aparatinis patikimumas, maitinimo šaltinis, kitos fizinės grėsmės, CMI.

Lentelėje surašyti protokolai ir fizinio lygmens veiksniai, sudarantys VoIP paslaugos pasiekiamumo visumą. Sugedus vienam iš jų – VoIP paslauga gali tapti nepasiekiamo. 3.3 lentelėje pateikiamos SC tinklo elementų VoIP paslaugos pasiekiamo charakteristikos.

3.3 lentelė. SC elementų VoIP paslaugos pasiekiamo charakteristikos.

Komponentas	OSI lygmuo	MTBF, h	Gedimo dažnis λ , $\frac{1}{h} \times 10^{-6}$	MTTR, h	Pasiekiamumas (A)	Nepasiekiamumas (U)
Tel _{1...24}	5	140000	7,1	0,5	0,999975	0,000025
	4	46667	21,4			
	3	28000	35,7			
	2	70000	14,3			
	1	402960	2,5			
	Signalizavimo stadijoje:	12338	81,1			
	Balso perdavimo stadijoje:	13530	73,9			
K ₃ , K ₄	2	70000	14,3	2	0,999968	0,000032
	1	784286	1,3			
	Bendras:	64264	15,6			
K ₂	3	28000	35,7	2	0,99987	0,00013
	2	70000	14,3			
	1	69825	14,3			
	bendras:	15547	64,3			
M ₂	3	28000	35,7	4	0,99978	0,00022
	2	70000	14,3			
	1	378310	2,6			
	bendras:	18996	52,6			
ONU ₂	2	70000	14,3	4	0,99967	0,00033
	1	14900	67,1			
	bendras:	12285	81,4			

MTTR reikšmės parinktos atsižvelgiant į tai, kurioje tinklo vietoje įranga yra eksploatuojama. Pavyzdžiui, maršrutizatoriai ir optiniai keitikliai yra nuomojami – taigi už juos atsakingi specialistai, neesantys įrangos eksploatavimo patalpose. Atsakingi asmenys gavę informaciją apie gedimą turi suplanuoti operatyvų sugedusio įrenginio pataisymą ar pakeitimą nauju. Pasiekiamumas buvo skaičiuojamas naudojantis Marcus-Stern formule (1.5). Gedimo dažnis skaičiuotas pagal 1.4 formulę.

3.1.2. VoIP telefonijos tiekėjo tinklas

Telefonijos tiekėjo arba pagrindinis tinklas yra atsakingas už VoIP protokolų funkcionalumą, sąveiką su kitais protokolais, paketų maršrutizavimą, duomenų saugojimą ir pateikimą, kokybės kontrolę ir kitas funkcijas. Architektūriškai tinklo komponentai sujungti pagal tankią (angl. mesh) topologiją. Tinklo įrenginiai sujungti UTP kabeliais, naudojant 1000BASE-TX

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

standartą. Cisco ASR 901-12C-FT-D – kraštinis maršrutizatorius, per kurį patenka IP srautas iš skambučių centro ir interneto. Į šį maršrutizavimo įrenginį yra sujungti pagrindiniai VoIP funkcionalumą užtikrinantys elementai: serveris ir tinklų sietuvas. HP ProLiant DL580 G5 serveryje įrašyta CentOS operacinė sistema, kurioje įdiegtas Asterisk 13 programinės įrangos paketas. VoIP paslaugos signalizavimas paremtas SIP protokolo standartu. Skambučius iš PSTN ir judriojo ryšio tinklų pirmiausia apdoroja universalus tinklų sietuvas Cisco AS5350XM. Žemiau pateiktoje 3.4 lentelėje nurodytos skambučių centro tinklo prietaisų specifikacijos. Visos *MTBF* reikšmės yra aprašytos įrangos dokumentacijose arba viešai publikuojamos įrangos gamintojų, arba įrangos perpardavinėtojų interneto svetainėse.

3.4 lentelė. Pagrindinio tinklo įrangos specifikacijos.

Žymėjimas schemoje	Įrenginys	Gamintojas, modelis	Specifikacijos
PBX _A	PBX Asterisk serveris	HP ProLiant DL580 G5	Procesoriai: 2 Intel Xeon E7440 (16M Cache, 2.40 GHz, 1066 MHz FSB); Operatyvioji atmintis: 8 GB PC2-5300 Fully Buffered DIMMs (DDR2-667); HDD: 3 HP 300GB 6G SAS 10K SFF Hot Plug; Tinklo kontrolieriai: 2 integruoti NC373i multifunkciniai Gigabit tinklo adapteriai; Pagrindinė plokštė: Intel 7300.
GW	Universalus tinklų sietuvas sietuvas	Cisco AS5350XM Universal Gateway	Procesorius: 750-MHz RISC; Prievadai: 2 10/100/1000BASE-T Gigabit Ethernet, 8-Mbps Serial, T1/E1 DS-1 trunk palaikančios kortos, CT3 trunk palaikančios kortos; Skambučių talpa: 550 DID, 550 naudojant TCL IVR, 480 balso pašto žinučių; QoS.
M ₁	Maršruti- zatorius	Cisco ASR 901-12C-FT- D	Programuojamas; Prievadai: 4 100/1000 RJ-45 Gigabit Ethernet, 16 T1/E1; Buferio talpa: 8 Mb; QoS: paketų eiliškumas pagal DSCP, CoS (802.1p), HQoS ir kt.
ONU ₁	Optinis keitiklis	D-Link DMC- F30SC	Prievadai: 100/1000BASE-TX ir 1000BASE-FX Single Fiber FX (SC connector); Persiuntimo lygis: max 148800 pps.

Telefonijos tiekėjo tinklo elementų specifikacija pagal OSI lygmenis pateikta 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Pagrindinio tinklo dedamųjų charakteristika pagal OSI.

Komponentas/ OSI	PBX _A	GW	M ₁	ONU ₁
7. Taikymo				
6. Pateikimo	Kodekų transformacijos			
5. Sesijos	SIP (SDP)			
4. Transporto	UDP, RTP			
3. Tinklinis	IP	adresacijos transformacija	IP	
2. Kanalinis	Ethernet	Ethernet↔TDM	TDM (Ethernet)	TDM (Ethernet)
1. Fizinis	Aparatinis patikimumas, maitinimo šaltinis, kitos fizinės grėsmės.	Aparatinis patikimumas, maitinimo šaltinis, kitos fizinės grėsmės.	Aparatinis patikimumas, maitinimo šaltinis, kitos fizinės grėsmės.	Aparatinis patikimumas, maitinimo šaltinio gedimas, kitos fizinės grėsmės, CMI.

3.6 lentelėje pateikiamos Telefonijos tiekėjo tinklo elementų VoIP paslaugos pasiekiamo charakteristikos.

3.6 lentelė. Telefonijos tiekėjo tinklo elementų VoIP paslaugos pasiekiamo charakteristikos.

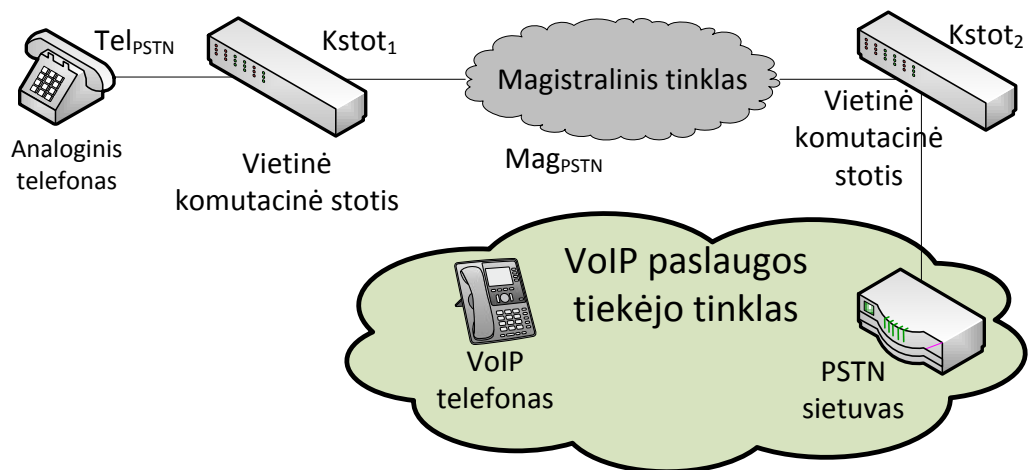
Komponentas	OSI lygmuo	MTBF, h	Gedimo dažnis λ , $\frac{1}{h} \times 10^{-6}$	MTTR, h	Pasiekiamumas (A)	Nepasiekiamumas (U)
PBX _A	6	140000	7,1	4	0,99965	0,00035
	5	140000	7,1			
	4	46667	21,4			
	3	28000	35,7			
	2	70000	14,3			
	1	120000	8,3			
	Bendras:	11507	86,9			
GW	3	28000	35,7	4	0,99970	0,00030
	2	70000	14,3			
	1	16500	60,6			
	Bendras signalizavimo metu:	9041	110,6			
	Bendras balso perdavimo metu:	13353	74,9			
M ₁	3	28000	35,7	2	0,99989	0,00011
	2	70000	14,3			
	1	378310	2,6			
	Bendras:	18996	52,6			
ONU ₁	2	70000	14,3	2	0,99967	0,00033
	1	482583	2,1			
	Bendras:	61133	16,4			

Lentelėje paskaičiuotos reikšmės panaudojant 1.4, 1.5, 1.6 ir 1.24 formules.

3.2. PSTN prieigos tinklas

Tarkime, kad SC siūloma klientų aptarnavimo telefonu paslauga sumanė pasinaudoti vartotojas, besinaudojantis PSTN fiksuoto ryšio telefonu. Pasitelkiant bazinę sujungimo schemą (3.2 pav.) bus aiškinama kaip vyksta klientų aptarnavimo telefonu paslauga, kokia tikimybė, kad ši paslauga bus suteikta.

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė



3.2 pav. PSTN - VoIP skambutis

Tarkime, kad skambutis – tarp miestinis ir magistralinio tinklo atstumas 100 km. PSTN tinkle naudojama SS7 standarto signalizacija. Naudojamų protokolų rinkinys pateikiamas 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. PSTN vartotojo tinklo dalies dedamųjų charakteristika pagal OSI.

Komponentas/ OSI	Tel _A	Kstot ₁ , Kstot ₂		Mag _{PSTN}
7. Taikymo			ISUP	
6. Pateikimo		Kodekai		
5. Sesijos				
4. Transporto		SCCP		
3. Tinklinis		MTP 3		
2. Kanalinis		MTP 2		
1. Fizinis	TDM (E1), aparatinis gedimas, kabelio/kištuko nusidėvėjimas, kitos fizinės grėsmės.	TDM (E1), MTP 1, aparatinis gedimas, maitinimo šaltinio gedimas, kitos fizinės grėsmės.		Kabelio pažeidimas, kitos fizinės grėsmės.

3.8 lentelėje nurodytos vartotojo tinklo dalies dedamųjų VoIP paslaugos pasiekiamumo charakteristikos.

3.8 lentelė. Vartotojo tinklo dalies dedamųjų VoIP paslaugos pasiekiamumo charakteristikos.

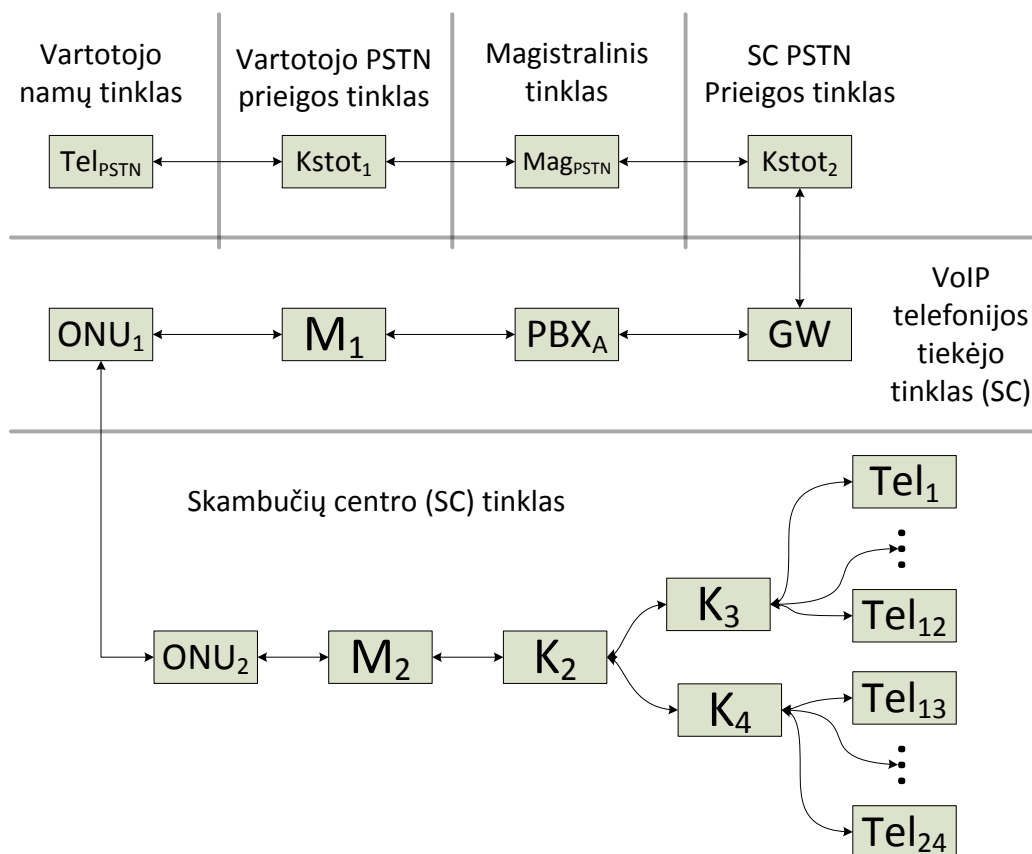
Komponentas	OSI lygmuo	MTBF, h	Gedimo dažnis λ , $\frac{1}{h} \times 10^{-6}$	MTTR, h	Pasiekiamumas (A)	Nepasiekiamumas (U)
Tel _{PSTN}	1	750000	1,3	4	0,99999	0,00001
Kstot ₁ , Kstot ₂	5	380000	2,6	6	0,99986	0,00014
	4	174000	5,7			
	3	140000	7,1			
	2	235000	4,3			
	1	260000	3,8			
	Bendras balso perdavimo metu:	130000	7,7			
	Bendras signalizavimo metu:	42332	23,6			
Mag _{PSTN}	1	87600	11,4	24	0,99973	0,00027

Lentelėje paskaičiuotos reikšmės panaudojant 1.1, 1.5 ir 1.24 formules.

Sekančiuose skyriuose analizuojamas SC VoIP paslaugos pasiekiamumas signalizavimo ir balso perdavimo stadijose.

3.2.1. SC VoIP paslaugos patikimumas signalizavimo metu

3.3 pav. pateiktoje vartotojas-vartotojas sujungimo schemoje nurodytas nuoseklus jungimo kelias nuo PSTN vartotojo iki SC vartotojo signalizavimo stadijoje.



3.3 pav. PSTN – SC vartotojų blokinė VoIP paslaugos pasiekiamumo schema signalizavimo stadijoje

Naudojantis 1.19 formule apskaičiuojamas nuosekliai jungtų elementų, o pagal 1.29 – rezervuotų elementų vidutinis laikas tarp sutrikimų. Tiriama VoIP paslaugos pasiekiamumo sistema išskaidoma į tris dedamąsias: viršutinė dalis – PSTN, vidurinė – VoIP telefonijos tiekėjo (TT) ir apatinė – SC dalis (3.3 pav.). Gautos tokios reikšmės trims tiriamos struktūros fragmentams:

$$\theta_{PSTN} = 12956 \text{ val.}; \quad \theta_{TT} = 3929 \text{ val.}; \quad \theta_{SC} = 4843 \text{ val.}$$

Visos sistemos vidutinis laikas tarp sutrikimų randamas:

$$\Theta_{PSTN} = (\theta_{PSTN}^{-1} + \theta_{TT}^{-1} + \theta_{SC}^{-1})^{-1} = 1858 \text{ val.} \quad (3.1)$$

Pagal 1.20 ir 1.29 formules suskaičiavus elementų gedimų dažnį gautos tokios reikšmės trims tinklo fragmentams:

$$\lambda_{PSTN} = 77.19 \cdot 10^{-6}; \quad \lambda_{TT} = 254.50 \cdot 10^{-6}; \quad \lambda_{SC} = 206.48 \cdot 10^{-6}.$$

Sistemos gedimų dažnis:

$$\Lambda_{PSTN} = \frac{1}{\Theta_{PSTN}} = 538.17 \cdot 10^{-6}. \quad (3.2)$$

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Pagal formulę 1.18 paskaičiavus tikimybę, kad sistema suges 30-ies dienų intervale pateikiamos gautos reikšmės trims analizuojamos struktūros fragmentams:

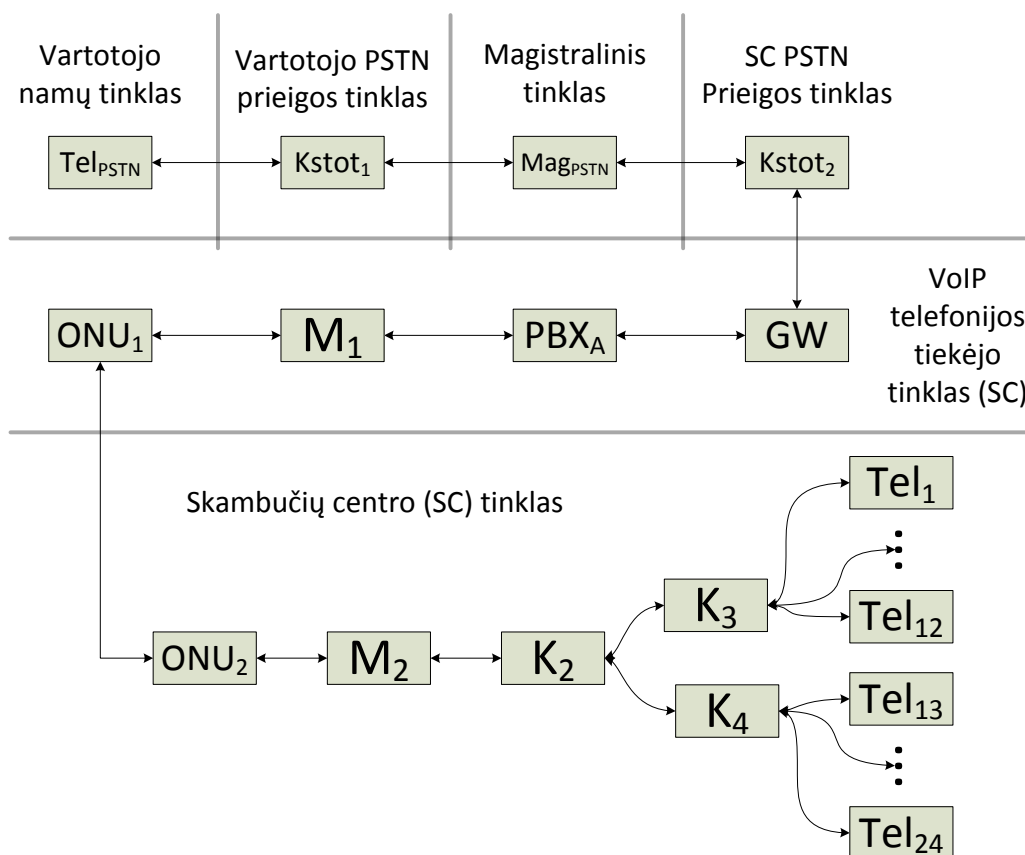
$$G_{PSTN_{var}}(t) = 0.0541; \quad G_{TT}(t) = 0.167; \quad G_{SC}(t) = 0.138.$$

Tikimybė, kad analizuojama sistema suges 30-ies dienų intervale:

$$G_{PSTN}(t) = 1 - e^{-\Lambda_{PSTN} \cdot 720} = 0.323 \quad (3.3)$$

3.2.2. SC VoIP paslaugos patikimumas balso perdavimo metu

3.4 pav. pateiktoje vartotojas-vartotojas sujungimo schemoje nurodytas nuoseklus jungimo kelias nuo PSTN vartotojo iki SC vartotojo balso perdavimo stadijoje. Analizuojama VoIP paslaugos pasiekiamumo sistema išskaidoma į tris dedamąsias: viršutinė dalis – PSTN, vidurinė – VoIP telefonijos tiekėjo (TT) ir apatinė – SC dalis.



3.4 pav. PSTN – SC vartotojų blokinė VoIP paslaugos pasiekiamumo schema balso perdavimo stadijoje

Pasitelkiant 1.19 ir 1.29 formules apskaičiuojamas vidutinis laikas tarp sutrikimų trims tinklo fragmentams:

$$\theta_{PSTN} = 16325 \text{ val.}; \quad \theta_{TT} = 4571 \text{ val.}; \quad \theta_{SC} = 4780 \text{ val.}$$

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Bendras visos analizuojamos sistemos vidutinis laikas tarp sutrikimų randamas:

$$\Theta_{PSTN} = (\theta_{PSTN}^{-1} + \theta_{TT}^{-1} + \theta_{SC}^{-1})^{-1} = 2044 \text{ val.} \quad (3.4)$$

Pagal 1.20 ir 1.29 formules suskaičiuavus elementų gedimų dažnį gautos tokios reikšmės trims tinklo fragmentams:

$$\lambda_{PSTN} = 61.26^{-6}; \quad \lambda_{TT} = 218.78^{-6}; \quad \lambda_{SC} = 209.22^{-6}.$$

Sistemos gedimų dažnis:

$$\Lambda_{PSTN} = \frac{1}{\Theta_{PSTN}} = 489.26 \cdot 10^{-6}. \quad (3.5)$$

Pagal formulę 1.18 paskaičiuavus tikimybę, kad sistema suges 30-ies dienų intervale pateikiamos gautos reikšmės trims analizuojamos struktūros fragmentams:

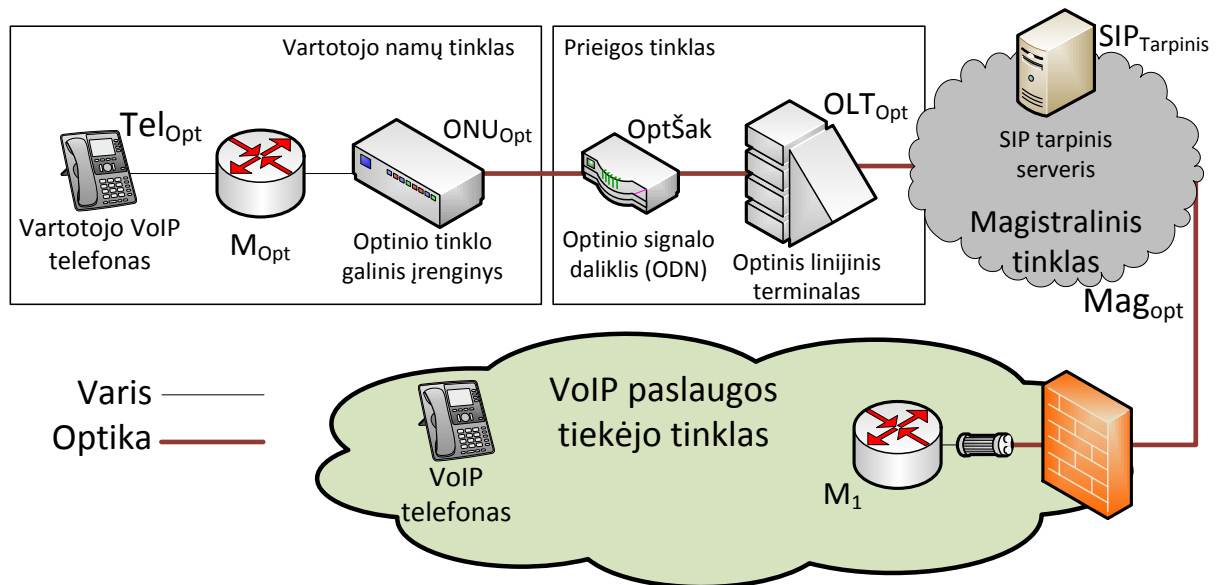
$$G_{PSTN_{var}}(t) = 0.0431; \quad G_{TT}(t) = 0.146; \quad G_{SC}(t) = 0.14.$$

Tikimybė, kad sistema suges 30-ies dienų intervale paskaičiuojama remiantis formule 1.18:

$$G_{PSTN}(t) = 1 - e^{-\Lambda_{PSTN} \cdot 720} = 0.297. \quad (3.6)$$

3.3. Optinės prieigos tinklas

Vartotojo skambutis į skambučių centrą per optinės prieigos tinklą pavaizduotas 3.5 pav. Nagrinėjamas FTTH architektūros GPON optinės prieigos tinklo modelis. Vartotojui iš Tel_{Opt} IP telefono atliekant skambutį, SIP protokolo pagalba jis yra sujungiamas su SIP tarpiniu serveriu. Savo ruožtu SIP tarpinis serveris nukreipia gautus pranešimus iš Tel_{Opt} į vartotojo telefonijos tiekėjo IP-PBX ir kitus, užtikrinančius VoIP telefonijos funkcijas, įrenginius. Gavęs atsakymą, kad Tel_{Opt} vartotojas turi privilegijas naudotis VoIP paslauga, SIP tarpinis serveris persiunčia pranešimą į skambučių centrą. Bazinė tokio vartotojas-vartotojas sujungimo tinklo schema pateikta 3.5 pav.



3.5 pav. Skambutis per GPON prieigos tinklą

Kaip matoma prieš tai pateiktoje tinklo schemeje, sujungimas tarp VoIP vartotojų vykdomas tik paketinio perdavimo tinkle. VoIP paslaugos pasiekiamumui įtaką turintys tinklo mazgai jungiami kelių tipų kabeliais – variniais ir optiniais. Toliau pateikiamoje 3.9 lentelėje pažymėti visi vartotojo (Tel_{Opt}) tinklo dalyje esantys elementai. Lentelėje pažymėtos elemento funkcijos pagal OSI lygmenis. Jei ties lygmeniu nieko nepažymėta, vadinasi elementas neatlieka jokių funkcijų susijusių su VoIP. Visos analizuojamos dedamosios suteikia VoIP paslaugos pasiekiamumo galimybę vartotojams. Sugedus vienai iš dedamųjų – paslauga tampa nepasiekama iki momento, kol atstatomos sugedusios funkcijos.

3.9 lentelė. Vartotojo (Tel_{Opt}) tinklo dalies dedamosios ir naudojami protokolai įtakoiantys VoIP paslaugos pasiekiamumą

Komponentas/ OSI	Tel_{Opt}	M_{Opt}	ONU_{Opt}	OptŠak	OLT_{Opt}	Mag_{Opt}	$SIP_{Tarpinis}$
7. Taikymo							
6. Atvaizdavimo							Kodekai
5. Sesijos	SIP						SIP
4. Transporto	UDP, RTP						UDP, RTP
3. Tinklinis	IP	IP					IP
2. Kanalinis	Ethernet	Ethernet	Ethernet		Ethernet		Ethernet
1. Fizinis	Aparatinis gedimas, maitinimo šaltinio gedimas, kitos fizinės grėsmės		Aparatinis gedimas, maitinimo šaltinio gedimas, kitos fizinės grėsmės, CMI.	Aparatinis gedimas, maitinimo šaltinio gedimas, kitos fizinės grėsmės.	Aparatinis gedimas, maitinimo šaltinio gedimas, kitos fizinės grėsmės, CMI.	Kabelio pažeidimas, kitos fizinės grėsmės.	Aparatinis gedimas, maitinimo šaltinio gedimas, kitos fizinės grėsmės.

Lentelėje pažymėti tik tie protokolai, kurie įtakoja VoIP paslaugos pasiekiamumą tiriamam tinklo modeliui. Sekančiuose skyriuose pateikiami matematiniai skambučių centro VoIP paslaugos pasiekiamumo modeliai remiantis 3.9 lentelės duomenimis.

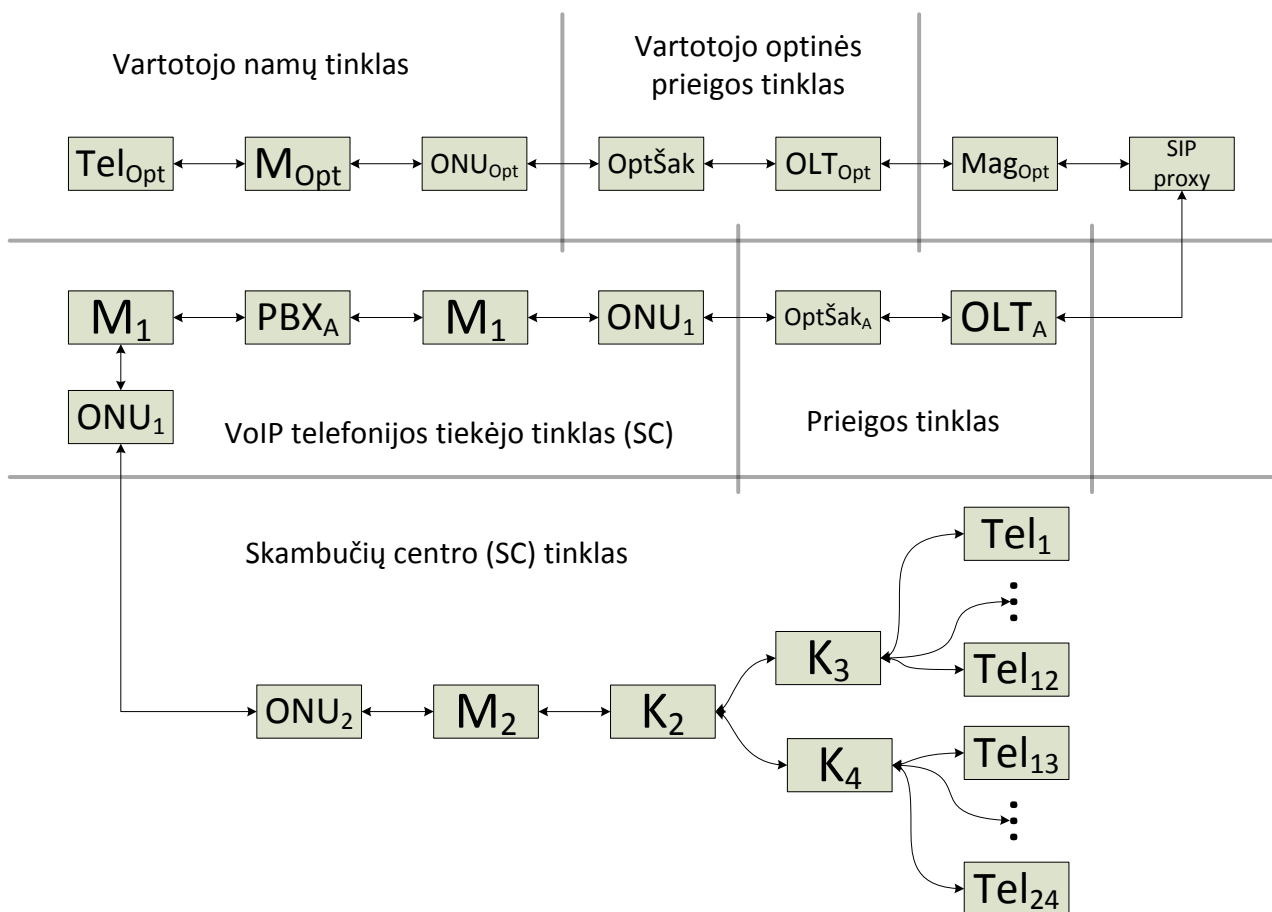
3.3.1. SC VoIP paslaugos patikimumas signalizavimo metu

3.10 lentelėje pateikiamos vartotojo (Tel_{Opt}) tinklo dalies elementų SC VoIP paslaugos pasiekiamumo charakteristikos VoIP sesijos sudarymo metu.

3.10 lentelė. Elementų VoIP paslaugos pasiekiamumo charakteristikos signalizavimo stadijoje.

Komponentas	OSI lygmuo	MTBF, h	Gedimo dažnis λ , $\frac{1}{h} \times 10^{-6}$	MTTR, h	Pasiekiamumas (A)	Nepasiekiamumas (U)
Tel _{opt}	5	140000	7,14	3	0,99976	0,00024
	4	46667	21,4			
	3	28000	35,7			
	2	70000	14,3			
	1	587796	1,70			
	Bendras:	12458	80,3			
M _{opt}	3	28000	35,7	3	0,99984	0,00016
	2	70000	14,3			
	1	350000	2,86			
	Bendras:	18919	52,9			
ONU _{opt}	2	70000	14,3	12	0,99966	0,00034
	1	69825	14,3			
	Bendras:	34956	28,6			
OptŠak	1	83000000	0,0120	12	1	1,4E-07
OLT _{opt}	2	70000	14,3	4	0,99967	0,00033
	1	14900	67,1			
	Bendras:	12285	81,4			
Mag _{opt}	1	50000	20,0	14	0,99992	0,00008
SIP _{Tarpinis}	6	140000	7,14	4	0,99953	0,00047
	5	140000	7,14			
	4	46667	21,4			
	3	18480	54,1			
	2	46620	21,5			
	1	80000	12,5			
	Bendras:	8574	116,6			

Lentelėje paskaičiuotos reikšmės panaudojant 1.4, 1.5, 1.6 ir 1.24 formules. 3.6 pav. pateiktoje vartotojas-vartotojas sujungimo schemeje nurodytas nuoseklus jungimo kelias nuo Optinės prieigos vartotojo iki SC vartotojo signalizavimo stadijoje.



3.6 pav. Optinės prieigos– SC vartotojų blokinė VoIP paslaugos pasiekiamumo schema signalizavimo stadijoje

Tiriama VoIP paslaugos pasiekiamumo sistema išskaidoma į tris dedamąsias: viršutinė dalis – Optinės prieigos vartotojo (O), vidurinė – VoIP telefonijos tiekėjo (TT) ir apatinė – SC dalis (3.6 pav.). Gautas tokios reikšmės trims tiriamos struktūros fragmentams:

Naudojantis 1.19 formule apskaičiuojamas nuosekliai jungtų elementų, o pagal 1.29 – rezervuotų elementų vidutinis laikas tarp sutrikimų:

$$\theta_O = 2633 \text{ val.}; \quad \theta_{TT} = 3265 \text{ val.}; \quad \theta_{SC} = 4773 \text{ val.}$$

Bendras sistemos vidutinis laikas tarp sutrikimų:

$$\Theta_0 = (\theta_O^{-1} + \theta_{TT}^{-1} + \theta_{SC}^{-1})^{-1} = 1117 \text{ val.} \quad (3.7)$$

Pagal 1.20 ir 1.29 formules suskaičiuavus elementų gedimų dažnis gautos tokios reikšmės trims analizuojamo modelio fragmentams:

$$\lambda_O = 379.78^{-6}; \quad \lambda_{TT} = 306.32^{-6}; \quad \lambda_{SC} = 209.52^{-6}.$$

Analizuojamos sistemos gedimų dažnis:

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

$$\Lambda_0 = \frac{1}{\theta_0} = 895.62 \cdot 10^{-6}. \quad (3.8)$$

Pagal formules 1.14 ir 1.24 paskaičiavus tikimybę, kad sistema suges 30-ies dienų intervale pateikiamos gautos reikšmės trims analizuojamos struktūros fragmentams:

$$G_{O_{var}}(t) = 0.239; \quad G_{TT}(t) = 0.198; \quad G_{SC}(t) = 0.14.$$

Tikimybė, kad analizuojamas sistemos modelis suges per mėnesį:

$$G_0(t) = 1 - e^{-\Lambda_{PSTN} \cdot 720} = 0.475. \quad (3.9)$$

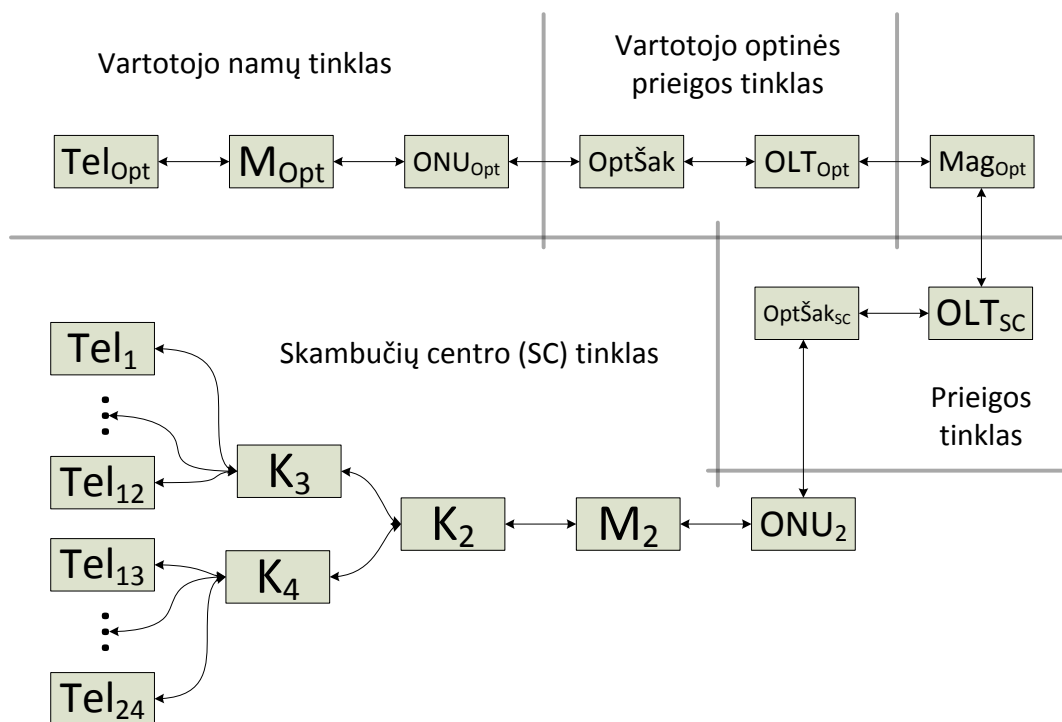
3.3.1. SC VoIP paslaugos patikimumas balso perdavimo metu

3.11 lentelėje pateikiamos vartotojo (Tel_{Opt}) tinklo dalies elementų SC VoIP paslaugos pasiekiamumo charakteristikos VoIP balso perdavimo metu.

3.11 lentelė. Elementų VoIP paslaugos pasiekiamumo charakteristikos signalizavimo stadijoje..

Komponentas	OSI lygmuo	MTBF, h	Gedimo dažnis λ , $\frac{1}{h} \times 10^{-6}$	MTTR, h	Pasiekiamumas (A)	Nepasiekiamumas (U)
Tel_{Opt}	4	46667	21,4	3	0,99978	0,00022
	3	28000	35,7			
	2	70000	14,3			
	1	587796	1,70			
	Bendras:	13674	73,1			
M_{Opt}	3	28000	35,7	3	0,99984	0,00016
	2	70000	14,3			
	1	350000	2,86			
	Bendras:	18919	52,9			
ONU_{Opt}	2	70000	14,3	12	0,99966	0,00034
	1	69825	14,3			
	bendras:	34956	28,6			
OptŠak	1	83000000	0,0120	12	0,99999986	0,00000014
OLT_{Opt}	2	70000	14,3	4	0,99967	0,00033
	1	14900	67,1			
	bendras:	12285	81,4			
Mag_{Opt}	1	50000	20,0	14	0,99972	0,00028

3.7 pav. pateiktoje vartotojas-vartotojas sujungimo schemoje detalizuotas elementų jungimo kelias nuo Optinės prieigos vartotojo iki SC vartotojo balso perdavimo stadijoje.



3.7 pav. Optinės prieigos – SC vartotojų blokinė VoIP paslaugos pasiekiamumo schema balso perdavimo stadijoje

Naudojantis 1.19 formule apskaičiuojamas nuosekliai jungtų elementų, o pagal 1.29 – rezervuotų elementų vidutinis laikas tarp sutrikimų. Tiriama VoIP paslaugos pasiekiamumo sistema išskaidoma į dvi dedamąsias: viršutinė dalis – Optinės prieigos vartotojo (O), apatinė – SC dalis (3.7 pav.). Gautos tokios tiriamos struktūros VoIP paslaugos pasiekiamumo reikšmės:

Vidutinis laikas tarp sutrikimų paskaičiuojamas pasitelkus 1.19 formulę nuosekliai jungtiems elementams, o pagal 1.29 – rezervuotiems elementams.

$$\theta_o = 3906 \text{ val.}; \quad \theta_{SC} = 3441 \text{ val.}$$

Bendras sistemos vidutinis laikas tarp sutrikimų:

$$\Theta_o = (\theta_o^{-1} + \theta_{SC}^{-1})^{-1} = 1829 \text{ val.} \quad (3.10)$$

Pagal 3.8 formulę suskaičiavę nuosekliai jungtų elementų gedimų dažnį gauname tokias reikšmes dviems tinklo fragmentams:

$$\lambda_o = 256.01 \cdot 10^{-6}; \quad \lambda_{SC} = 290.62 \cdot 10^{-6}.$$

Tiriamos sistemos gedimų dažnis:

$$\Lambda_o = \frac{1}{\Theta_o} = 546.63 \cdot 10^{-6}. \quad (3.11)$$

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Pagal formules 1.14 ir 1.24 paskaičiavus tikimybę, kad sistema suges 30-ies dienų intervale pateikiamos gautos reikšmės dviems analizuojamos struktūros fragmentams:

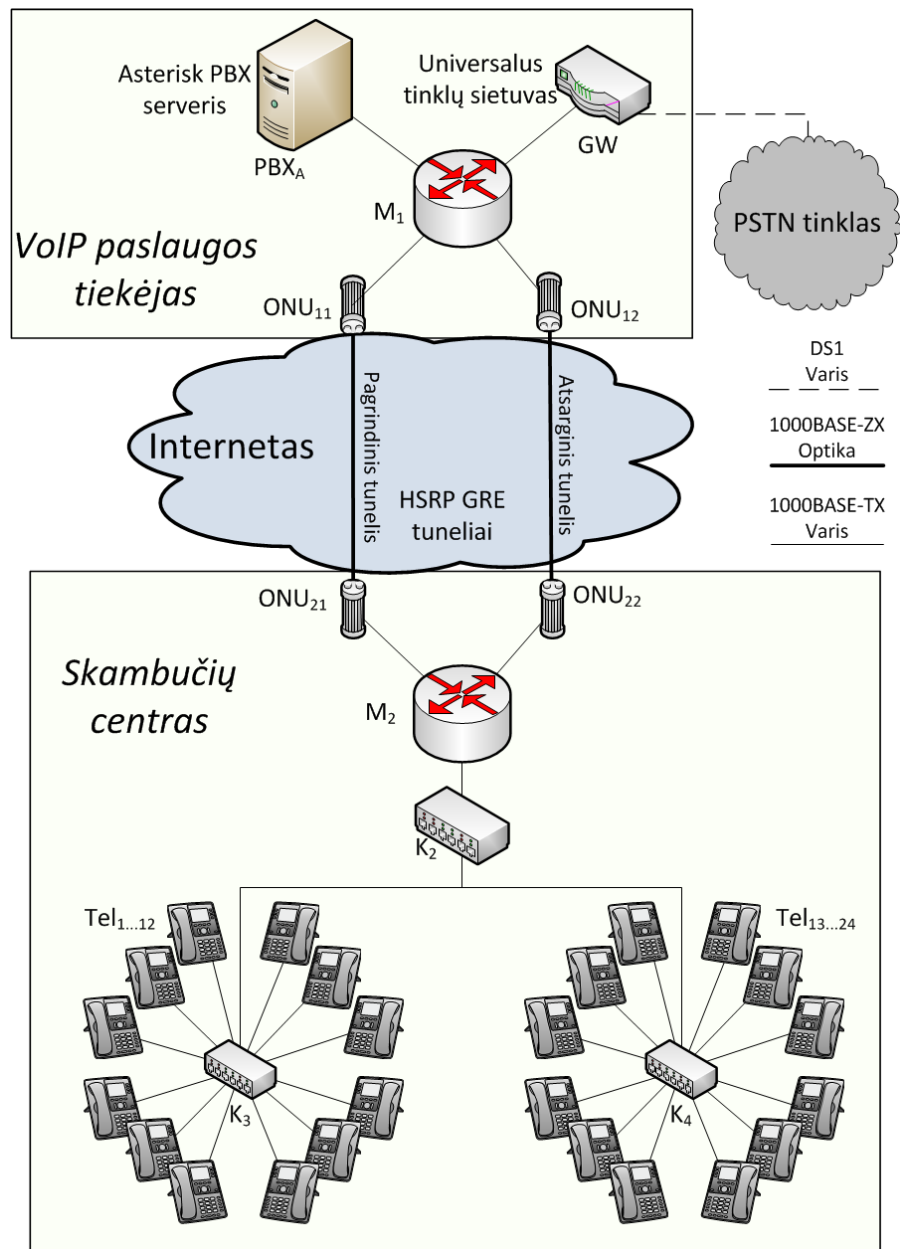
$$G_{O_{var}}(t) = 0.156; \quad G_{SC}(t) = 0.189.$$

Tikimybė, kad optinės prieigos – SC vartotojų VoIP paslaugos pasiekiamumo balso perdavimo metu sistemos modelis suges per 30d.:

$$G_O(t) = 1 - e^{-\Lambda_{PSTN} \cdot 720} = 0.325 \quad (3.12)$$

3.4. Modernizuotas SC VoIP paslaugos pasiekiamumo tinklas

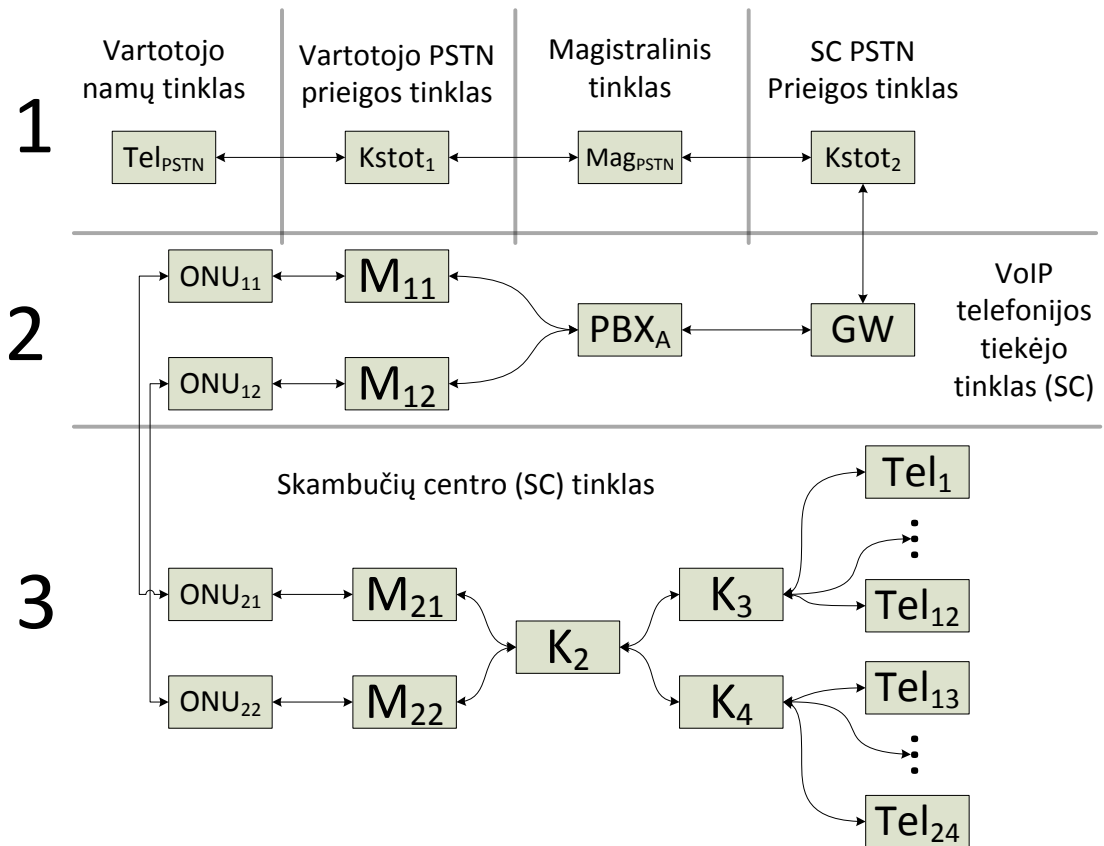
SC ir VoIP telefonijos tiekėjo tinklai buvo modernizuoti rezervuojant kraštinius maršrutizatorius, per kuriuos pasiekiamas viešasis IP tinklas. Šie Cisco ASR 901-6CZ-F-D maršrutizatoriai palaiko HSRP (angl. Hot Standby Router Protocol), tai reiškia, kad pasitelkiant ši paketų komutavimo protokolą, srauto apkrova automatiškai nukreipiama per rezervuotą įrenginį, kada pirminis įrenginys sugenda. Rezervuoti maršrutizatoriai per virtualų tunelį jungia SC vidinį tinklą su VoIP pagrindiniu tinklu, panaudojant GRE protokolą (angl. Generic Routing Encapsulation). Sudaryti du virtualūs tuneliai: vienas pagrindinis, kitas atsarginis - rezervuotas. Kaip buvo minėta, HSRP protokolo pagalba ryšys tarp jungiamų tinklų ir ryšys su internetu yra ženkliai patikimesnis. Modernizuotas VoIP paslaugos teikimo tinklas pavaizduotas 3.8 pav.



3.8 pav. Modernizuotas VoIP paslaugos teikimo WAN

3.4.1. Modernizuoto SC VoIP paslaugos pasiekiamumas PSTN tinklu

PSTN vartotojo ir modernizuoto SC vartotojo VoIP paslaugos pasiekiamumo modelis signalizacijos metu pavaizduotas 3.9 pav.



3.9 pav. PSTN-SC vartotojų blokinė elementų sujungimo schema signalizavimo stadijoje

Tiriama VoIP paslaugos pasiekiamumo sistema išskaidoma į tris dedamąsias: viršutinė dalis – PSTN, vidurinė – VoIP telefonijos tiekėjo (TT) ir apatinė – SC dalis (3.3 pav.). Gautas tokios reikšmės trims tiriamos struktūros fragmentams:

Vidutinis laikas tarp gedimų randamas pagal 1.19 formulę nuosekliai jungtiems komponentams, pagal 1.29 – rezervuotiems.

$$\theta_{PSTN} = 12956 \text{ val.}; \quad \theta_{TT} = 3911 \text{ val.}; \quad \theta_{SC} = 7495 \text{ val.}$$

Bendras visos sujungimo sistemos vidutinis laikas tarp sutrikimų:

$$\Theta_{PSTN} = (\theta_{PSTN}^{-1} + \theta_{TT}^{-1} + \theta_{SC}^{-1})^{-1} = 2144 \text{ val.} \quad (3.13)$$

Gedimų dažnis išreikštas panaudojant 1.20 ir 1.29 formules.

$$\lambda_{PSTN} = 77.19^{-6}; \quad \lambda_{TT} = 255.71^{-6}; \quad \lambda_{SC} = 133.43^{-6}.$$

Bendras visos sujungimo sistemos gedimų dažnis:

$$\Lambda_{PSTN} = \frac{1}{\Theta_{PSTN}} = 466.33 \times 10^{-6} \quad (3.14)$$

Tikimybė, kad analizuojamas sujungimo segmentas suges per 30 dienų, paskaičiuojamas pagal 1.18 ir 1.24 formules.

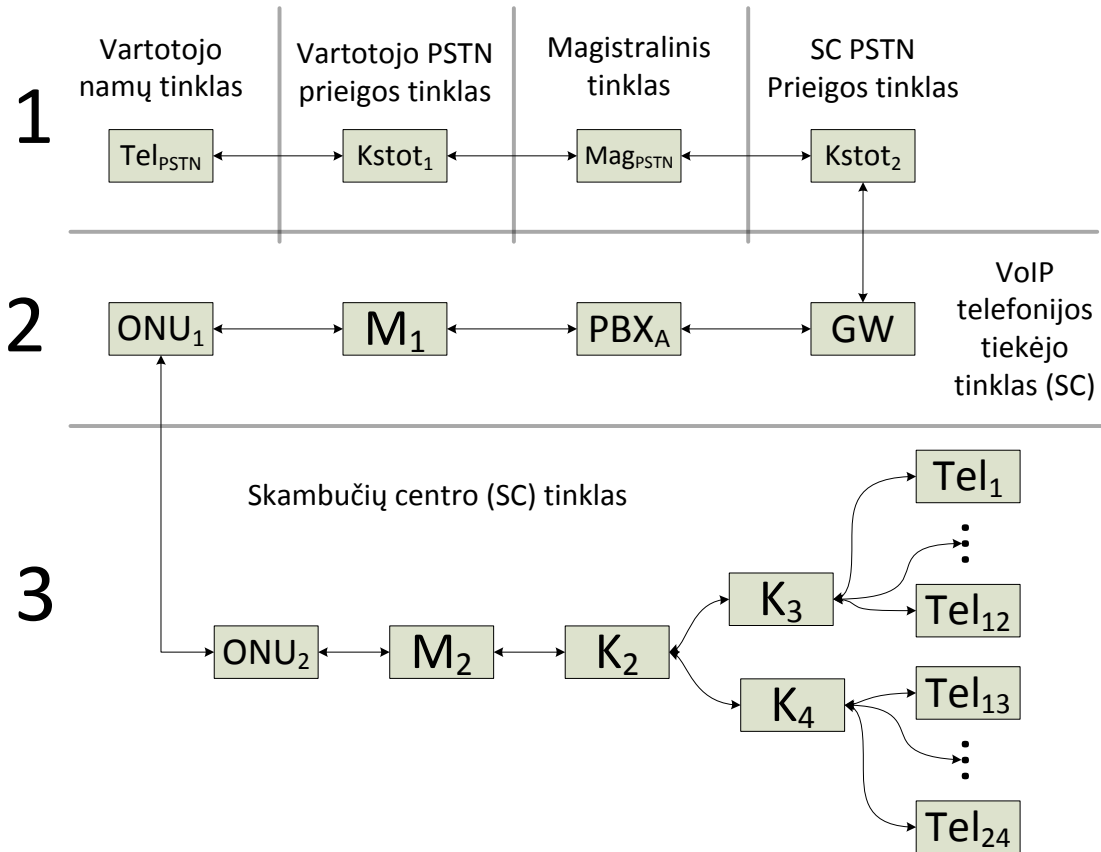
VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

$$G_{PSTN_{var}}(t) = 0.0541; \quad G_{TT}(t) = 0.1682; \quad G_{SC}(t) = 0.0916.$$

Taigi, tikimybė, kad nagrinėjama VoIP paslaugos pasiekiamumo struktūra suges 30-ies dienų laikotarpyje yra:

$$G_{PSTN}(t) = 1 - e^{-\Lambda_{PSTN} \cdot 720} = 0.285 \quad (3.15)$$

PSTN vartotojo ir modernizuoto SC vartotojo VoIP paslaugos pasiekiamumo modelis balso perdavimo metu pavaizduotas 3.10 pav.



3.10 pav. PSTN-SC vartotojų blokinė elementų sujungimo schema balso perdavimo stadijoje

Skaičiuojame pasiekiamumo reikšmes trimis segmentams 3.10 pav. pateiktoje struktūroje, o paskui ir visai PSTN-SC vartotojų sujungimo struktūrai. Vidutinis laikas tarp gedimų randamas pagal 1.19 formulę nuosekliai jungtiems komponentams, pagal 1.29 – rezervuotiems.

$$\theta_{PSTN} = 22063 \text{ val.}; \quad \theta_{TT} = 4546 \text{ val.}; \quad \theta_{SC} = 7495 \text{ val.}$$

Bendras visos sujungimo sistemos vidutinis laikas tarp sutrikimų:

$$\Theta_{PSTN} = (\theta_{PSTN}^{-1} + \theta_{TT}^{-1} + \theta_{SC}^{-1})^{-1} = 2508 \text{ val.} \quad (3.16)$$

Gedimų dažnis išreikštas panaudojant 1.20 ir 1.29 formules.

$$\lambda_{PSTN} = 45.33^{-6}; \quad \lambda_{TT} = 220.00^{-6}; \quad \lambda_{SC} = 133.43^{-6}.$$

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Bendras visos sujungimo sistemos gedimų dažnis:

$$\Lambda_{PSTN} = \frac{1}{\theta_{PSTN}} = 398.75 \cdot 10^{-6}. \quad (3.17)$$

Tikimybė, kad analizuojamas sujungimo segmentas suges per 30 dienų, paskaičiuojamas pagal 1.18 ir 1.24 formules.

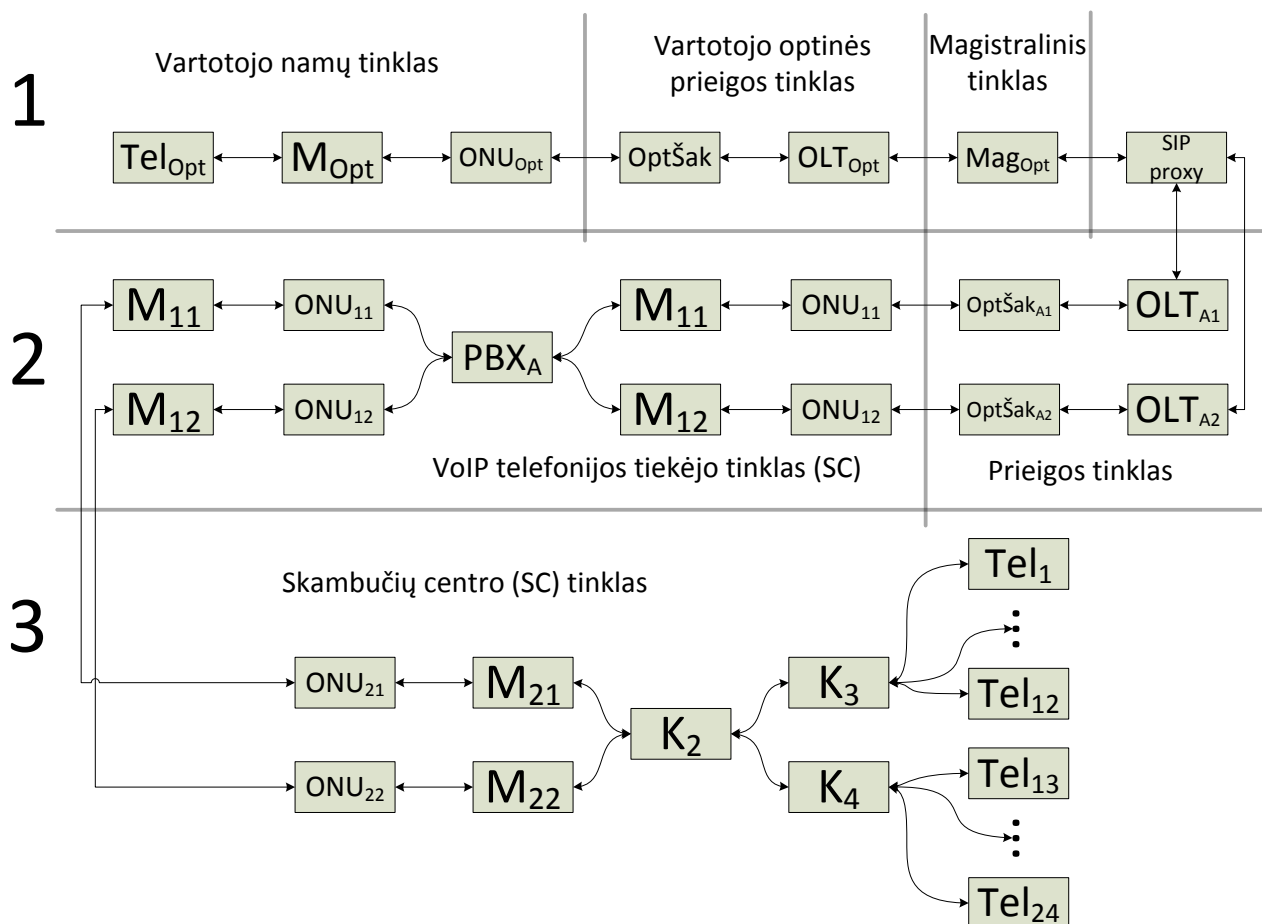
$$G_{PSTN_{var}}(t) = 0.0321; \quad G_{TT}(t) = 0.1465; \quad G_{SC}(t) = 0.0916.$$

Taigi, tikimybė, kad nagrinėjama VoIP paslaugos pasiekiamumo struktūra suges per 30 dienų laikotarpį yra:

$$G_{PSTN}(t) = 1 - e^{-\Lambda_{PSTN} \cdot 720} = 0.25 \quad (3.18)$$

3.4.2. Modernizuoto SC VoIP paslaugos pasiekiamumas Optiniu tinklu

Optinės prieigos tinklo vartotojo ir modernizuoto SC tinklo vartotojo VoIP paslaugos pasiekiamumo modelis signalizacijos metu pavaizduotas 3.11 pav.



3.11 pav. Optinio tinklo-SC vartotojų blokinė elementų sujungimo schema signalizavimo stadijoje

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

Skaičiuojame pasiekiamumo reikšmes trims perdavimo kelio segmentams, o paskui ir visai Optinio-SC vartotojų sujungimo struktūrai. 1 segmentas atitinka optinio tinklo vartotojo (Tel_{Opt}) tinklo dalį, 2 – telefonijos tiekėjo (SC), 3-iame segmente - SC tinklo dalis.

Vidutinis laikas tarp gedimų randamas pagal 1.19 formulę nuosekliai jungtiems komponentams, pagal 1.29 – rezervuotiems.

$$\theta_O = 2633 \text{ val.}; \quad \theta_{TT} = 5086 \text{ val.}; \quad \theta_{SC} = 7018 \text{ val.}$$

Bendras visos sujungimo sistemos vidutinis laikas tarp sutrikimų:

$$\Theta_O = (\theta_O^{-1} + \theta_{TT}^{-1} + \theta_{SC}^{-1})^{-1} = 1391 \text{ val.} \quad (3.19)$$

Gedimų dažnis išreikštas panaudojant 1.20 ir 1.29 formules.

$$\lambda_O = 379.78^{-6}; \quad \lambda_{TT} = 196.61^{-6}; \quad \lambda_{SC} = 142.50^{-6}.$$

Bendras visos sujungimo sistemos gedimų dažnis:

$$\Lambda_O = \frac{1}{\theta_O} = 718.89 \cdot 10^{-6}. \quad (3.20)$$

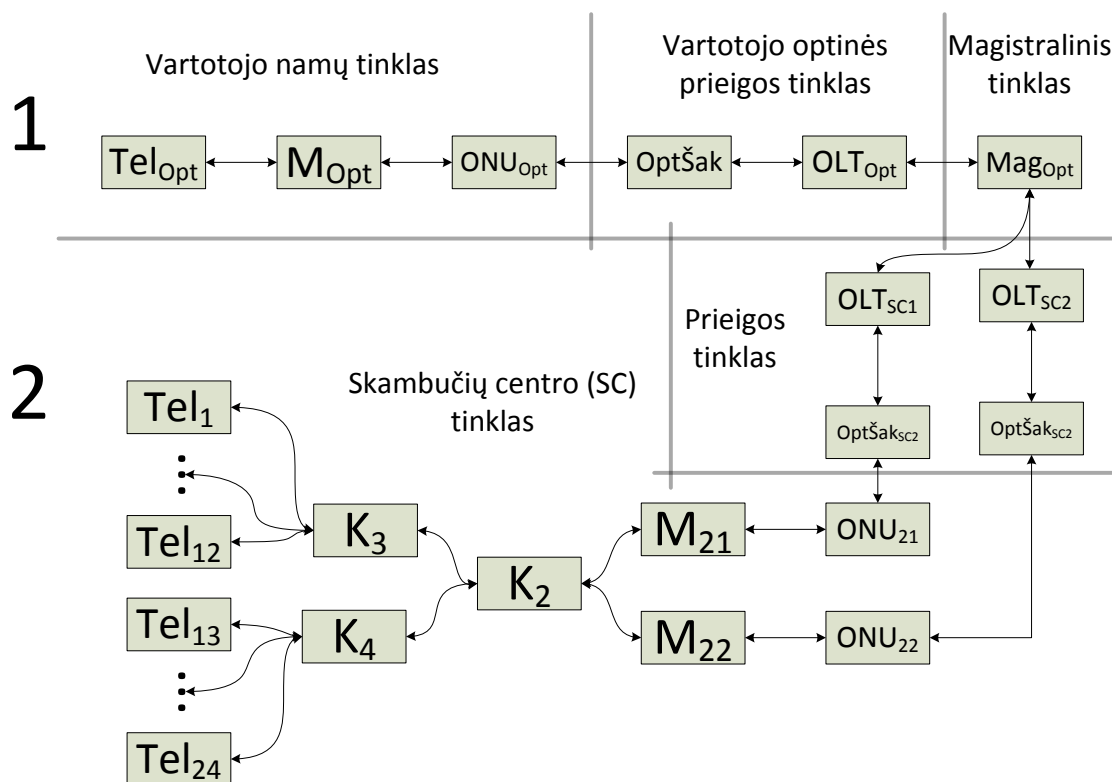
Tikimybė, kad analizuojamas sujungimo segmentas suges per 30 dienų, paskaičiuojamas pagal 1.18 ir 1.24 formules.

$$G_{O_{var}}(t) = 0.2392; \quad G_{TT}(t) = 0.132; \quad G_{SC}(t) = 0.0916.$$

Taigi, tikimybė, kad nagrinėjama VoIP paslaugos pasiekiamumo struktūra suges 30-ies dienų laikotarpyje yra:

$$G_O(t) = 1 - e^{-\Lambda_{PSTN} \cdot 720} = 0.404 \quad (3.21)$$

Optinės prieigos tinklo vartotojo ir modernizuoto SC tinklo vartotojo VoIP paslaugos pasiekiamumo modelis balso perdavimo metu pavaizduotas 3.12 pav.



3.12 pav. Optinio tinklo-SC vartotojų VoIP paslaugos pasiekiamumo schema balso perdavimo stadijoje

Skaičiuojamos pasiekiamumo reikšmės dviems perdavimo kelio segmentams, o paskui ir visai Optinio-SC vartotojų sujungimo struktūrai. 1-as segmentas atitinka optinio tinklo vartotojo (Tel_{Opt}) dalį, 2-as – telefonijos tiekėjo (SC) dalį.

Vidutinis laikas tarp gedimų randamas pagal 1.19 formulę nuosekliai jungtiems komponentams, pagal 1.29 – rezervuotiems.

$$\theta_o = 3906 \text{ val.}; \quad \theta_{sc} = 6535 \text{ val.}$$

Bendras visos sujungimo sistemos vidutinis laikas tarp sutrikimų:

$$\Theta_o = (\theta_o^{-1} + \theta_{sc}^{-1})^{-1} = 2445 \text{ val.} \quad (3.22)$$

Gedimų dažnis išreikštas panaudojant 1.20 ir 1.29 formules.

$$\lambda_o = 256.01 \cdot 10^{-6}; \quad \lambda_{sc} = 153.01 \cdot 10^{-6}.$$

Bendras visos sujungimo sistemos gedimų dažnis:

$$\Lambda_o = \frac{1}{\Theta_o} = 409.02 \cdot 10^{-6}. \quad (3.23)$$

Tikimybė, kad analizuojamas sujungimo segmentas suges per 30 dienų, paskaičiuojamas pagal 1.18 ir 1.24 formules.

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

$$G_{O_{var}}(t) = 0.168; \quad G_{SC}(t) = 0.104.$$

Taigi, tikimybė, kad nagrinėjama VoIP paslaugos pasiekiamumo struktūra suges 30-ies dienų laikotarpyje yra:

$$G_O(t) = 1 - e^{-\Lambda_{PSTN} \cdot 720} = 0.255 \quad (3.24)$$

3.5. Rezultatai

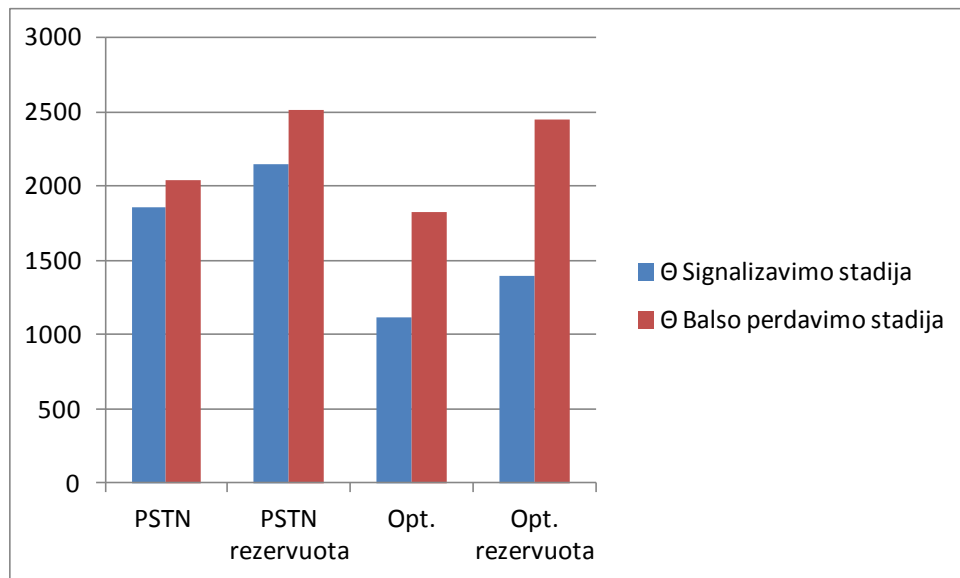
Atlikta PSTN ir optinės prieigos vartotojų VoIP paslaugos pasiekiamumo funkcinių struktūrų analizė signalizavimo ir balso perdavimo stadijose, gauti rezultatai pateikiami 3.12 lentelėje.

3.12 lentelė. VoIP paslaugos modelių pasiekiamumas

Reikšmė	θ, h		$\Lambda, \frac{1}{h} \times 10^{-6}$		$G(t), h$	
	Signalizavimo	Balso perdavimo	Signalizavimo	Balso perdavimo	Signalizavimo	Balso perdavimo
PSTN	1858	2044	538,17	489,26	0,323	0,297
PSTN rezervuota	2144	2508	466,33	398,75	0,285	0,250
Optinio t.	1117	1829	895,62	546,63	0,475	0,325
Optinio t. rezervuota	1391	2445	718,89	409,02	0,404	0,255

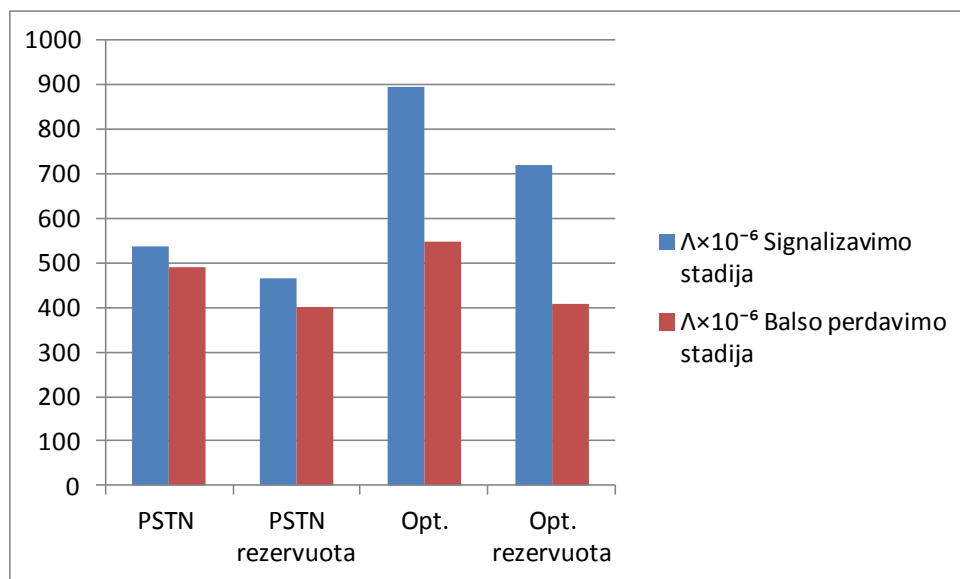
Matyti, kad rezervavus maršrutizavimo įrenginius VoIP telefonijos tiekėjo ir SC tinkluose, pasiekiamumo lygis padidėja. Tai atspindi 3.12 lentelėje pateikiami vidutinio laiko tarp sutrikimų (θ), gedimų dažnio (Λ) ir gedimo tikimybės 30 d. intervale ($G(t)$) reikšmės.

3.13 diagramoje pateikiami rezultatai parodo tikėtiną laiko intervalą, per kurį VoIP paslaugos pasiekiamumo modelis funkcionuos be sutrikimų. Pateiktoje diagramoje pastebėtina, kad rezervavus sistemos komponentus vidutinis laikas tarp sutrikimų balso perdavimo stadijoje *PSTN* ir Optinės prieigos vartotojams beveik susilygina. Rezervuoto *PSTN* modelio *MTBF* – 2508 val., kas yra 104 d. ir 12 val., o rezervuoto optinio tinklo modelio *MTBF* – 2445, kas yra 101 d. ir 21 val. Galima teigti, kad 2 d. ir 15 val. Skirtumas praktiškai reikšmingos įtakos nedaro, kadangi *MTBF* skirtumas tarp VoIP paslaugos pasiekiamumo modelių - mažiau nei trys procentai.



3.13 pav. Vidutinis laikas tarp VoIP paslaugos pasiekiamumo modelio sutrikimų

Iš 3.14 diagramos matyti, kad didžiausias gedimų dažnis yra nerezervuotame optinės prieigos VoIP pasiekiamumo modelyje - 895,62 . Rezervavus šią sistemą gedimų dažnio reikšmė sumažėja penktadaliu - 718,89 .

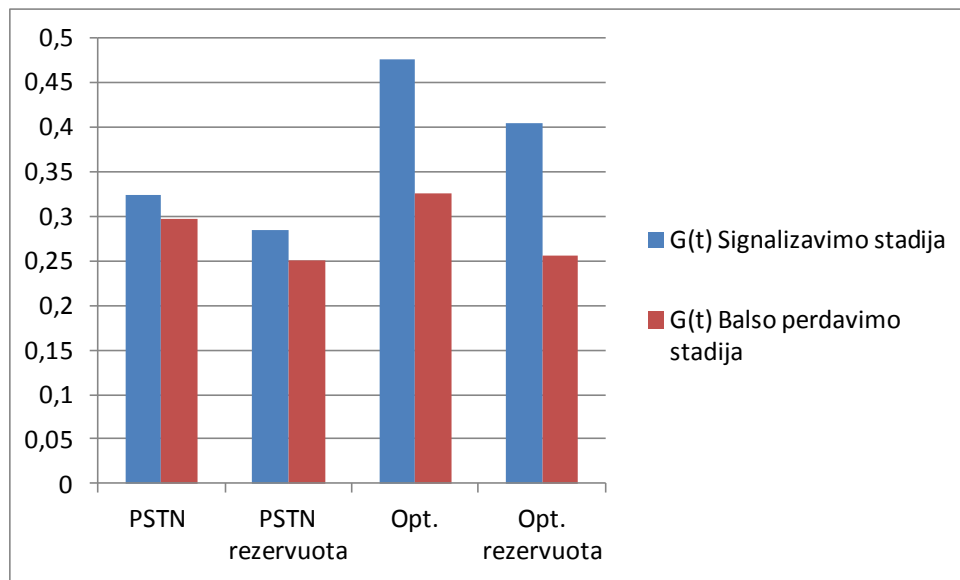


3.14 pav. VoIP paslaugos pasiekiamumo modelio gedimų dažnis

Tikimybė, kad VoIP paslaugos pasiekiamumo modelis suges 30 d. laikotarpyje, pavaizduota 3.15 diagramoje. Remiantis gautais rezultatų duomenimis galima teigti, kad PSTN ir optinės prieigos modeliai, su rezervuotais komponentais, beveik susilygina, VoIP paslaugos pasiekiamumo atžvilgiu. PSTN – SC vartotojų sujungimo modelio su rezervuotais komponentais gedimo tikimybė 30 d. intervale – 0.250, o optinės prieigos – SC vartotojų sujungimo modelio su rezervuotais

VoIP paslaugos pasiekiamumo analizė

komponentais gedimo tikimybė – 0.255. Rezervavus perdavimo kelio komponentus, skirtumas tarp analizuotų prieigų skiriasi tik puse procento.



3.15 pav. VoIP paslaugos pasiekiamumo modelio sutrikimo tikimybė 30 d. intervale

3.13 lentelėje pateikiamas santykinis SC VoIP paslaugos pasiekiamumo padidėjimas rezervavus komponentus tiriamuose modeliuose.

3.13 lentelė. Santykinis VoIP paslaugos pasiekiamumo parametrų pakitimas rezervavus komponentus

Reikšmė	<i>A</i>		<i>G(t)</i>	
	Signalizavimo	Balso perdavimo	Signalizavimo	Balso perdavimo
PSTN rezervuota	15%	23%	13%	19%
Opt. rezervuota	25%	34%	18%	27%

Komponentų rezervavimas, kaip ir buvo galima manyti, daugiausiai įtakojo optinės prieigos tinklo vartotojo – SC vartotojo VoIP paslaugos pasiekiamumo modelį. Tačiau reikia paminėti, kad buvo rezervuoti tik du maršrutizavimo įrenginiai, jungiantys SC ir VoIP telefonijos tiekėjo tinklus, o paslaugos pasiekiamumą charakterizuojančių elementų pokytis svarus.

Išvados

1. Išanalizuotas IP-PBX Asterisk programinės įrangos paketas, jo integracija kartu su SIP protokolu. Atlikta VoIP telefonijos teikimo funkcinės architektūros analizė naudojant Asterisk IP-PBX serverį, SIP signalizavimo pagrindu.
2. Atlikta išsami VoIP paslaugos pasiekiamumą charakterizuojančių reikšmių analizė. Apibrėžtos reikšmės, kuriomis optimalu įvertinti VoIP paslaugos pasiekiamumo modelį sudarytą iš stacionarios būsenos komponentų.
3. Sudarytas skambučių centro (SC), teikiančio paslaugas pasitelkiant VoIP technologiją, tinklo modelis. Išsiaiškinta VoIP telefonijos paslaugai teikti reikalinga įranga, jos techniniai reikalavimai, eksploatavimo variantai, naudojami protokolai tiek VoIP technologijoje, tiek paketų maršrutizavime.
4. Atliktus SC VoIP paslaugos pasiekiamumo PSTN ir optinės prieigos tinklais analizę ir remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad rezervavus tinklo komponentus, SC VoIP paslaugos pasiekiamumas yra padidinamas. Optinės prieigos vartotojo atžvilgiu gedimų dažnis SC VoIP paslaugos pasiekiamumo modeliui santykinai sumažėjo 25 % (nuo $896 \cdot 10^{-6}$ iki $719 \cdot 10^{-6}$) signalizavimo stadijoje ir 34 % (nuo $546 \cdot 10^{-6}$ iki $409 \cdot 10^{-6}$) balso perdavimo stadijoje. Analizuojamo modelio gedimo tikimybė 30 d. intervale sumažinta 8 % (nuo 0.48 iki 0.40) signalizavimo stadijoje ir 7 % (nuo 0.33 iki 0.26) balso perdavimo stadijoje. PSTN prieigos vartotojo atžvilgiu gedimų dažnis SC VoIP paslaugos pasiekiamumo modeliui santykinai sumažėjo 15 % (nuo $538 \cdot 10^{-6}$ iki $466 \cdot 10^{-6}$) signalizavimo stadijoje ir 23 % (nuo $489 \cdot 10^{-6}$ iki $399 \cdot 10^{-6}$) balso perdavimo stadijoje. Tiriamo modelio gedimo tikimybė 30 d. intervale sumažinta 3 % (nuo 0.32 iki 0.29) signalizavimo stadijoje ir 5 % (nuo 0.30 iki 0.25) balso perdavimo stadijoje.

Literatūros sąrašas

1. AHSON, Syed A., Mohammad ILYAS. *VoIP HANDBOOK. Applications, Technologies, Reliability, and Security*. JAV, 2009. ISBN 13: 978-1-4200-7020-0.
2. RINDZEVIČIUS, R., P. TERVYDIS. *Balso perdavimo interneto tinklu charakteristikų tyrimas. Elektronika ir elektrotechnika*. 2003, 47(5), p. 22-26.
3. ITU-T Study Group 13. *ITU-T Recommendation I.380. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters*. 1999.
4. JOHANSON, Carolyn R., ir kt. *VoIP Reliability: A Service Provider's Perspective. IEEE Communications Magazine*. 2004, p. 48-54.
5. ROSENBERG, J., ir kt. *SIP: Session Initiation Protocol. RFC: 3261*. 2002. [žiūrėta 2015 m. gegužės 1 d.]. Prieiga per internetą: <http://tools.ietf.org/html/rfc3261>
6. *The Essential Guide to VoIP Implementation and Management*. John Q. Walker, Jeffrey T. Hicks. 2002.
7. ROESCH, William J. *Using a new bathtub curve to correlate quality and reliability. Microelectronics Reliability*. JAV, 2012, 52, p. 2864-2869
8. Cable Labs. *VoIP Availability and Reliability Model for the PacketCable™ Architecture*. 2000.
9. EPSTEIN, Benjamin, Ishay Weissman. *Mathematical models for systems reliability*. 2008. ISBN 13: 978-1-4200-8082-7.
10. *Asterisk Project*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 m. gegužės 1 d.]. Prieiga per internetą: <https://wiki.asterisk.org/wiki/spacedirectory/view.action>
11. GRIGALIŪNAS, Albinas. *SIP signalinių pranešimų, naudojančių Asterisk serverį, saugumo užtikrinimo tyrimas*. Kaunas, 2010. žiūrėta 2015 m. gegužės 1 d.]. Prieiga per internetą: <http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:2078100/datastreams/MAIN/content>
12. PALADE, Ioan. *A New Approach in Using RAPTOR to Evaluate Reliability and Availability for VoIP systems. IEEE*. 2012, p. 217-220.
13. *Reliability and availability basics*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 m. gegužės 1 d.]. Prieiga per internetą: http://www.eventhelix.com/realtimemantra/ Faulthandling/reliability_availability_basics.htm
14. RAUSAND, Martin. *System Reliability Theory. Models, Statistical Methods, and Applications. Second Edition*. Prancūzija, 2004. ISBN 0-471-47133-X.
15. IEEE Computer Society. *IEEE Standard for Management Information Base (MIB) Definitions for Ethernet. IEEE Std 802.3.1*. JAV, 2011. ISBN 978-0-7381-6700-8.
16. IEEE Part 11: *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std 802.11™-2012*. JAV, 2012. ISBN 978-0-7381-7211-8 STD97218.
17. MACKINNON, P., T. ROBBINS, K. SCOTT. *Availability Modelling of POTS on a Hybrid/Fibre Coax Network*. Australija, 1995.
18. ITU-T. *Passive optical network protection considerations. ITU-T G-series Recommendations – Supplement 51*. 2012.

19. HUDYMA, Robert, Deborah I. Fels. *Causes of Failure in IT Telecommunications Networks* Torontas.
20. Abonentinės prieigos tinklai [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 05 01]. Prieiga per internetą: http://www.msl.ktu.lt/KTA/Mokymo%20medziaga/Nets_5.pdf
21. MAHMOUD M. *Design and Implementation of a Fiber to the Home FTTH Access Network based on GPON*. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 92 – No.6. Bagdadas, 2014.
22. MARATHE, Mod. *Today's Perspective of Network Reliability*. Part of IEEE Reliability Society 2008 Annual Technology Report. 2008.
23. ROHANI, Hoda, Azad Kamali ROOSTA. *Calculating Total System Availability*. Information Services Organization. Amsterdam, 2014.