



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Mobiliojo ryšio kanalų apjungimas gyvosioms videotransliacijoms

Baigiamasis magistro darbas

Mindaugas Antanavičius

Projekto autorius

Lekt. Linas Ablonskis

Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Mobiliojo ryšio kanalų apjungimas gyvosioms videotransliacijoms

Baigiamasis magistro projektas

Informacinių sistemų inžinerija (6211BX009)

Mindaugas Antanavičius

Projekto autorius

Lekt. Linas Ablonskis

Vadovas

Doc. Lina Čėponienė

Recenzentė

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Mindaugas Antanavičius

Mobiliojo ryšio kanalų apjungimas gyvosioms videotransliacijoms

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Mindaugas Antanavičius

Patvirtinta elektroniniu būdu

Antanavičius Mindaugas. Mobiliojo ryšio kanalų apjungimas gyvosioms videotransliacijoms. Magistro projektas, vadovas Lektorius Linas Ablonskis; Kauno technologijos universitetas, Informatikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Informacinių sistemų inžinerija, Informatikos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: mobilusis ryšys, videotransliacijos, ryšio kanalų apjungimas.

Kaunas, 2022. 83 p.

Santrauka

Žmonių noras dalintis viskuo ką veikia, patiria ir pamato, socialiniuose tinkluose ar kitose vaizdo stebėjimo platformose, yra neatskiriama šių laikų gyvenimo dalis. Mobilieji duomenys yra vienas populiariausių būdų, savo išmaniajame įrenginyje, turėti internetą. Tačiau, perduoti gyvas videotransliacijas, didele raiška, nepalankiomis sąlygomis, gali būti didelis iššūkis.

Šio darbo tikslas - pasiekti gyvosioms videotransliacijoms pakankamą mobiliojo ryšio spartą, taikant ryšio kanalų spartos didinimo metodus.

Darbe išanalizuoti esami spartos didinimo metodai ir jų veikimo principai. Nustatyta, kaip metodus galima derinti tarpusavyje. Buvo analizuota ir pasirinkta aparatinė įranga. Metodų panaudojimui nuspręsta sukurti demonstracinę sistemą. Ši sistema naudoja RUTX11 maršrutizatorių, prie kurio prijungti trys CAT6 kategoriją turintys LTE moduliai. Tam, kad būtų galima sukurti sistemą, buvo specifiukuota demonstracinės sistemos funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai.

Demonstracinę sistemą sudaro kalibravimo ir videotransliacijos posistemės. Kadangi pastarosios posistemės funkciniai ir nefunkciniai reikalavimus atitinka daugelis vaizdo stebėjimo ir transliavimo platformų, buvo pasirinkta naudoti „YouTube“ platformą. Prieš sistemos projektavimą, buvo paruoštas formalizuotas sprendimo ir dalykinės srities aprašas. Realizuota kalibravimo / testavimo posistemė, naudoja 5 spartos didinimo metodus, kad pasiektų geriausių mobiliųjų duomenų greitaveiką, kuri reikalinga gyvosioms videotransliacijoms. Realizacijos metu buvo detalizuotas pritaikymo modelis, pateikta ir aprašyta kalibravimo posistemės architektūra. Paruošti sekų diagramų modeliai, komponentų ir diegimo diagramos. Eksperimentų metu gauti rezultatai išanalizuoti ir pateiktos projekto išvados.

Antanavičius Mindaugas. Mobiliojo ryšio kanalų apjungimas gyvosioms videotransliacijoms. Master's Final Degree Project, supervisor lekt. Linas Ablonskis; Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Information systems engineering, Computing.

Keywords: mobile connection, live streaming, network, bonding.

Kaunas, 2022. 83.

Summary

These days people's desire to share everything they experience and see on social networks or other video surveillance platforms is an integral part of life. Mobile data is one of the most popular ways to have an internet connection on your smart devices. However, streaming live video in high definition in adverse conditions can be a big challenge.

The aim of this work is to achieve ample mobile communication speed for live video broadcasting by applying methods of increasing the speed of communication channels.

The paper analyzes the existing methods of increasing the speed and the principles of their operation. It has been established how the methods can be combined with each other. Hardware was analyzed and selected. It was decided to create a demonstration system for the use of the methods. This system uses a RUTX11 router to which three CAT6 category LTE modules are connected.

To create the system, the functional and non-functional requirements of the demonstration system were specified. The demonstration system consists of the calibration and video streaming subsystems. Because many video surveillance and streaming platforms meet the functional and non-functional requirements of the video streaming subsystem, the YouTube platform was chosen. Before designing the system, a formalized description of the solution and subject area was prepared. Implemented calibration / testing subsystem, uses 5 speed boost methods to achieve the best mobile data speed required for live video streaming. During the implementation, the application model was detailed, and the architecture of the calibration subsystem was presented and described. Sequence diagram models, components and installation diagrams are prepared. The results obtained during the experiments were analyzed and the conclusions of the project were presented.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Probleminės srities analizė.....	15
1.1. Analizės tikslas.....	16
1.2. Tyrimo objektas, sritis ir problema	16
1.3. Esamų problemos sprendimo metodų analizė (Lietuvos ir tarptautiniu mastu)	16
1.3.1. Paslaugų kokybės „QoS“ valdymo metodas	16
1.3.2. Mobilaus tinklo optimizavimo „MO“ metodas	17
1.3.3. Nešėjų sumavimo „CA“ metodas	20
1.3.4. Sujungimo „BO“ metodas	21
1.3.5. Apkrovos paskirstymo „LB“ metodas.....	22
1.4. Videotransliacijos analizė.....	22
1.4.1. TCP protokolas.....	23
1.4.2. UDP protokolas	23
1.4.3. RTP protokolas.....	23
1.4.4. DASH protokolas	23
1.5. Aparatinės įrangos analizė.....	23
1.5.1. Maršrutizatorių analizė.....	23
1.5.2. LTE modulių analizė	24
1.5.3. Specifinės įrangos analizė	24
1.6. Analizės apibendrinimas ir išvados	25
2. Sprendimo reikalavimų specifikacija ir projektas, formalus aprašas.....	26
2.1. Funkcinių reikalavimų specifikacija.....	26
2.1.1. Spartos kalibravimo posistemė.....	26
2.1.2. Videotransliacijos posistemė	39
2.2. Nefuncinių reikalavimų specifikacija.....	40
2.2.1. Kalibravimo posistemės nefuncinių reikalavimų specifikacija.....	40
2.2.2. Videotransliacijos posistemės nefuncinių reikalavimų specifikacija.....	40
2.3. Dalykinės srities modelis.....	40
2.4. Naudotojų sąsajos modelis	43
2.4.1. Sąsajos eskizai	43
2.5. Formalizuotas sprendimo aprašas.....	44
2.6. Reikalavimų apibendrinimas ir išvados.....	49
3. Demonstracinė videotransliacijos sistemos eksperimentinės realizacijos projektas.....	50
3.1. Sistemos loginė architektūra.....	50
3.2. Kalibravimo posistemės sekų diagramos	50
3.3. Realizacijos modelis	57
4. Sprendimo realizacija ir testavimas.....	60
4.1. Kalibravimo posistemė	60
4.1.1. Kalibravimo posistemės realizacija.....	60
4.1.2. Sisteminės dalies realizacijos aprašymas	60

4.1.3.	Naudotojo sąsajos dalies realizacijos aprašymas	60
4.1.4.	Kalibravimo posistemės funkcinį reikalavimų testavimas	61
4.1.5.	Kalibravimo posistemės nefunkcinį reikalavimų testavimas	63
4.1.6.	Testavimo apibendrinimas ir išvados	64
4.2.	Videotransliacijos posistemės testavimas.....	64
4.2.1.	Videotransliacijos posistemės funkcinį reikalavimų testavimas	64
4.2.2.	Videotransliacijos posistemės nefunkcinį reikalavimų testavimas	65
4.2.3.	Testavimo apibendrinimas ir išvados	66
4.3.	Bendrieji realizacijos ir testavimo apibendrinimai ir išvados	66
5.	Mobiliojo ryšio kanalų apjungimo metodų tyrimas ir eksperimentinė dalis.....	67
5.1.	Paprasto mobiliojo ryšio greitaveikos tyrimas palyginimui	67
5.1.1.	Pasiruošimas eksperimentui	67
5.1.2.	Eksperimento eiga ir rezultatai	67
5.2.	Mobilaus tinklo optimizavimo „MO“ (angl. <i>Mobile Optimization</i>) metodas	68
5.2.1.	Pasiruošimas eksperimentui	69
5.2.2.	Eksperimento eiga ir rezultatai	69
5.2.3.	Eksperimento apibendrinimas ir išvados.....	70
5.3.	Nešėjų sumavimo „CA“ (angl. <i>Carrier Aggregation</i>) metodas	70
5.3.1.	Pasiruošimas eksperimentui	71
5.3.2.	Eksperimento eiga ir rezultatai	71
5.3.3.	Eksperimento apibendrinimas ir išvados.....	72
5.4.	Apkrovos paskirstymo „LB“ (angl. <i>Load Balancing</i>) metodas.....	72
5.4.1.	Pasiruošimas eksperimentui	73
5.4.2.	Eksperimento eiga ir rezultatai	73
5.4.3.	Eksperimento apibendrinimas ir išvados.....	74
5.5.	Paslaugų kokybės valdymo „QOS“ (angl. <i>Quality Of Service</i>) metodas	74
5.5.1.	Pasiruošimas eksperimentui	75
5.5.2.	Eksperimento eiga ir rezultatai	75
5.5.3.	Eksperimento apibendrinimas ir išvados.....	76
5.6.	Sumavimo „BO“ (angl. <i>Bonding</i>) metodas	76
5.6.1.	Pasiruošimas eksperimentui	76
5.6.2.	Eksperimento eiga ir rezultatai	76
5.6.3.	Eksperimento apibendrinimas ir išvados.....	78
5.7.	Pilno sprendimo taikymas	78
5.7.1.	Pasiruošimas eksperimentui	79
5.7.2.	Eksperimento eiga ir rezultatai	79
5.7.3.	Eksperimento apibendrinimas ir išvados.....	80
5.8.	Eksperimentų apibendrinimas ir išvados.....	80
	Rezultatų apibendrinimas ir išvados	82
	Literatūros sąrašas	83
	Priedai.....	84
1	Priedas. Kalibravimo posistemės sekų diagramos.....	84

Lentelių sąrašas

1-1 lentelė. Lietuvos operatorių aktyvių bazinių stočių ir celių suvestinė	17
1-2 lentelė. Video raiškos ir srauto sunaudojimo priklausomybės	22
1-3 lentelė. Skirtingų maršrutizatorių palyginimo lentelė.....	24
1-4 lentelė. LTE technologijų specifikacija	24
1-5 lentelė. LTE modulių specifikacijos	24
2-1 lentelė. PA 1 „Prisijungti prie maršrutizatoriaus“	27
2-2 lentelė. PA 2 „Atsijungti nuo maršrutizatoriaus“	28
2-3 lentelė. PA 3 „Kalibruoti automatiškai“	29
2-4 lentelė. PA 4 „Peržiūrėti testų rezultatus“	30
2-5 lentelė. PA 5 „Inicijuoti „LB“ kalibravimą“	31
2-6 lentelė. PA 6 „Inicijuoti „CA“ kalibravimą“	32
2-7 lentelė. PA 7 „Inicijuoti „QOS“ kalibravimą“	33
2-8 lentelė. PA 8 „Inicijuoti „BO“ kalibravimą“	34
2-9 lentelė. PA 9 „Inicijuoti „MO“ kalibravimą“	35
2-10 lentelė. PA 10 „Kalibruoti „BO“ metodu“	36
2-11 lentelė. PA 11 „Kalibruoti „QOS“ metodu“	36
2-12 lentelė. PA 12 „Kalibruoti „LB“ metodu“	37
2-13 lentelė. PA 13 „Kalibruoti „CA“ metodu“	38
2-14 lentelė. PA 14 „Kalibruoti „MO“ metodu“	39
4-1 lentelė. PA 1 „Prisijungti prie maršrutizatoriaus“ testavimas.....	61
4-2 lentelė. PA 2 „Atsijungti nuo maršrutizatoriaus“ testavimas	61
4-3 lentelė. PA 3 „Kalibruoti automatiškai“ testavimas	61
4-4 lentelė. PA 4 „Peržiūrėti testų rezultatus“ testavimas	61
4-5 lentelė. PA 5 „Inicijuoti „LB“ kalibravimą“ testavimas.....	61
4-6 lentelė. PA 6 „Inicijuoti „CA“ kalibravimą“ testavimas	62
4-7 lentelė. PA 7 „Inicijuoti „QOS“ kalibravimą“ testavimas	62
4-8 lentelė. PA 8 „Inicijuoti „BO“ kalibravimą“ testavimas	62
4-9 lentelė. PA 9 „Inicijuoti „MO“ kalibravimą“ testavimas	62
4-10 lentelė. PA 10 „Kalibruoti „BO“ metodu“ testavimas.....	62
4-11 lentelė. PA 11 „Kalibruoti „QOS“ metodu“ testavimas	62
4-12 lentelė. PA 12 „Kalibruoti „LB“ metodu“ testavimas	62
4-13 lentelė. PA 13 „Kalibruoti „CA“ metodu“ testavimas.....	63
4-14 lentelė. PA 14 „Kalibruoti „MO“ metodu“ testavimas.....	63
4-15 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 1 testavimas.....	63
4-16 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 2 testavimas.....	63
4-17 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 3 testavimas.....	63
4-18 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 4 testavimas.....	64
4-19 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 5 testavimas.....	64
4-20 lentelė. Kalibravimo posistemės reikalavimų testavimo suvestinė	64
4-21 lentelė. PA 15 „Žiūrėti transliaciją“ testavimas.....	64
4-22 lentelė. PA 16 „Generuoti nuorodą“ testavimas	64
4-23 lentelė. PA 17 „Valdyti transliaciją“ testavimas.....	65
4-24 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr.1 testavimas.....	65
4-25 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 2 testavimas.....	65

4-26 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 3 testavimas.....	65
4-27 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 4 testavimas.....	65
4-28 lentelė. Videotransliacijos posistemės reikalavimų testavimo suvestinė	66

Paveikslų sąrašas

1.1 pav.	MIMO technologijos veikimo principas	15
1.2 pav.	Paslaugų kokybės „QoS“ metodo veikimo principas [1].	16
1.3 pav.	Paslaugų kokybės „QoS“ metodo veikimo principas, mobiliajame tinkle[3].	17
1.4 pav.	UAB "Bitė Lietuva" mobiliojo ryšio aprėpties zonos 2020 m birželio 1 dieną	18
1.5 pav.	AB "Telia Lietuva" mobiliojo ryšio aprėpties zonos 2020 m birželio 1 dieną	19
1.6 pav.	UAB "Tele2" mobiliojo ryšio aprėpties zonos 2020 m birželio 1 dieną.....	20
1.7 pav.	LTE-A technologijos greičių priklausomybė nuo dažnių juostos pločio[5].	21
1.8 pav.	Sujungimo metodo principas.....	21
1.9 pav.	Apkrovos paskirstymo LB metodo principas.....	22
2.1 pav.	Spartos kalibravimo posistemės panaudojimo atvejai.....	26
2.2 pav.	Prisijungimo prie maršrutizatoriaus veiklos diagrama.....	27
2.3 pav.	Atsijungti nuo maršrutizatoriaus veiklos diagrama.....	28
2.4 pav.	Kalibruoti automatiškai veiklos diagrama.....	29
2.5 pav.	Peržiūrėti testų rezultatus veiklos diagrama.....	30
2.6 pav.	Inicijuoti „LB“ kalibravimą veiklos diagrama	31
2.7 pav.	Inicijuoti „CA“ kalibravimą veiklos diagrama.....	32
2.8 pav.	Inicijuoti „QOS“ kalibravimą veiklos diagrama	33
2.9 pav.	Inicijuoti „BO“ kalibravimą veiklos diagrama.....	34
2.10 pav.	Inicijuoti „MO“ kalibravimą veiklos diagrama.....	35
2.11 pav.	Kalibruoti „BO“ metodu veiklos diagrama	36
2.12 pav.	Kalibruoti „QOS“ metodu veiklos diagrama.....	36
2.13 pav.	Kalibruoti „LB“ metodu veiklos diagrama	37
2.14 pav.	Kalibruoti „CA“ metodu veiklos diagrama	38
2.15 pav.	Kalibruoti „MO“ metodu veiklos diagrama	39
2.16 pav.	Videotransliacijos posistemės panaudojimo atvejai.....	40
2.17 pav.	Informacinės sistemos esybių klasių diagrama	42
2.18 pav.	Kalibravimo aplikacijos naudotojo sąsajos modelis Nr. 1	43
2.19 pav.	Kalibravimo aplikacijos naudotojo sąsajos modelis Nr. 2	43
2.20 pav.	Automatinio kalibravimo veiklos diagrama	44
2.21 pav.	Mobilaus tinklo optimizavimo „MO“ metodo konfigūravimo veiklos diagrama	45
2.22 pav.	Nešėjų sumavimo „CA“ metodo konfigūravimo veiklos diagrama.....	46
2.23 pav.	Apkrovos paskirstymo „LB“ metodo konfigūravimo veiklos diagrama.....	47
2.24 pav.	Paslaugų kokybės valdymo „QOS“ metodo konfigūravimo veiklos diagrama	48
2.25 pav.	Sumavimo metodo „BO“ konfigūravimo veiklos diagrama	48
3.1 pav.	Kalibravimo posistemės loginė architektūra	50
3.2 pav.	PA 03 "Paleisti automatinį konfigūravimą" sekų diagrama	51
3.3 pav.	PA 10 „Kalibruoti „BO“ metodu“ sekų diagrama	52
3.4 pav.	PA 11 „Kalibruoti „QOS“ metodu“ sekų diagrama	53
3.5 pav.	PA 12 „Kalibruoti „LB“ metodu“ sekų diagrama.....	54
3.6 pav.	PA 13 „Kalibruoti „CA“ metodu“ sekų diagrama	55
3.7 pav.	PA 14 „Kalibruoti „MO“ metodu“ sekų diagrama	56
3.8 pav.	Kalibravimo posistemės komponentų diagrama	58
3.9 pav.	Videotransliacijos informacinės sistemos diegimo diagrama	59
5.1 pav.	Paruošti aparatinę įrangą veiklos diagrama.....	67

5.2 pav.	Automatinės LTE modulio konfigūracijos greitaveikos testavimas	68
5.3 pav.	Mobiliaus tinklo optimizavimo „MO“ metodo kalibravimo veiklos diagrama.....	69
5.4 pav.	Kalibravimo "MO" testo rezultatai.....	70
5.5 pav.	Nešėjų sumavimo „CA“ metodo kalibravimo veiklos diagrama	71
5.6 pav.	Kalibravimo "CA" testo rezultatai	72
5.7 pav.	Apkrovos paskirstymo „LB“ metodo kalibravimo veiklos diagrama	73
5.8 pav.	Kalibravimo "LB" testo rezultatai	74
5.9 pav.	Paslaugų kokybės valdymo „QOS“ metodo kalibravimo veiklos diagrama.....	75
5.10 pav.	Kalibravimo "QOS" testo rezultatai	75
5.11 pav.	Sumavimo metodo „BO“ kalibravimo veiklos diagrama.....	76
5.12 pav.	Pirmo LTE modemo Kalibravimo "CA" testo rezultatai	77
5.13 pav.	Antro LTE modemo Kalibravimo "CA" testo rezultatai.....	77
5.14 pav.	Trečio LTE modemo Kalibravimo "CA" testo rezultatai.....	77
5.15 pav.	Kalibravimo "BO" testo rezultatai	78
5.16 pav.	Automatinio kalibravimo veiklos diagrama.....	79
5.17 pav.	Mobiliųjų duomenų greitaveikos testas naudojant BO metodą	80
5.18 pav.	Mobiliųjų duomenų greitaveikos testas naudojant LB metodą.....	80
5.19 pav.	PA 01 "Prisijungti prie maršrutizatoriaus" sekų diagrama.....	84
5.20 pav.	PA 02 "Atsijungti nuo maršrutizatoriaus" sekų diagrama.....	84
5.21 pav.	PA 04 " Peržiūrėti testo rezultatus" sekų diagrama.....	85
5.22 pav.	PA 05 „Inicijuoti „LB kalibravimą“ sekų diagrama	85
5.23 pav.	PA 06 „Inicijuoti „CA“ kalibravimą“ sekų diagrama.....	86
5.24 pav.	PA 07 „Inicijuoti „QOS“ kalibravimą“ sekų diagrama.....	86
5.25 pav.	PA 08 „Inicijuoti „BO“ kalibravimą“ sekų diagrama.....	87
5.26 pav.	PA 9 „Inicijuoti „MO“ kalibravimą“ sekų diagrama	87
5.27 pav.	PA 10 „Kalibruoti „BO“ metodu“ sekų diagrama	88

Santrumpų ir terminų sąrašas

- LTE – (angl. *Long Term Evolution*) – mobiliojo ryšio technologija.
- EPS – (angl. *Evolved Packet System*).
- IP protokolas – taisyklių visuma, apibrėžianti duomenų mainų būdą tarp dviejų kompiuterinių sistemų.
- OFDMA – (angl. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) – mobiliojo ryšio technologija.
- MIMO – (angl. *Multiple-input and multiple-output*).
- MHz – Mega hercas - išvestinis SI sistemos dažnio matavimo vienetas.
- QoS – (angl. *Quality of Service*) – paslaugų kokybės valdymas.
- UMTS – (angl. *Universal Mobile Telecommunications System*) – mobiliojo ryšio technologija.
- 3GPP – (angl. *3rd Generation Partnership Project*) – mobiliojo ryšio standartų rinkinys.
- CA – (angl. *Carrier aggregation*) – nešėjų sumavimas, mobiliojo ryšio technologija.
- LTE-A – (angl. *LTE – Advanced*) – mobiliojo ryšio technologija.
- CAT6 – ryšio standartas nusakantis spartą.
- ISP – (angl. *Internet Service Provider*) – interneto šaltiniai.
- VPN – (angl. *Virtual Private Network*) – privatus virtualus tinklas.
- LB – (angl. *Load balancing*) – apkrovos paskirstymas.
- Maršrutizatorius – (angl. *Router*) specifinis terminas, reiškiantis tinklo įrenginį, persiunčiantį duomenis tarp kompiuterių tinklų.
- FPS – Kadrai per sekundę (angl. *frames per second*) matavimo vienetas, nurodantis kiek kadru parodome per vieną sekundę.
- Kbps – Kilobitai per sekundę, duomenų siuntimo greičio matavimo vienetas.
- Mbps – Megabitai per sekundę, duomenų siuntimo greičio matavimo vienetas.
- Wi-Fi (angl. *Wireless Fidelity*) – belaidžio ryšio technologija.

Įvadas

Šiame darbe apžvelgiamos LTE (angl. *Long Term Evolution*) tinklo savybės, mobiliųjų duomenų spartos padidinimas, analizuojami spartos didinimo metodai. Ši savybė labai svarbi naudotojams, kurie nori perduoti gyvas videotransliacijas didele raiška, nepalankiomis sąlygomis. Realizuojami ir pritaikomi spartos didinimo metodai, išbandoma ar verta ir kokiomis sąlygomis juos galima naudoti. Suprojektuojama ir realizuojam vaizdo transliacijos informacinė sistema. Atliekami eksperimentai su realizuotu prototipu, apibendrinamas projekto darbas ir nustatomos išvados.

Darbo problematika ir aktualumas

Didėjantis populiarumas transliuoti kasdienę veiklą, socialiniuose tinkluose ar kitose vaizdo žiūrėjimo platformose, kartais yra didelis išbandymas. Ypač tada, kai transliacija vyksta ne idealiomis sąlygomis, ten kur nėra greitos ir stabilios interneto prieigos. Tiesioginės transliacijos, perduodamos telefonu nuo jūros kranto, ežero ar iš miško glūdumos, naudojant mobiliuosius duomenis irgi kartais kelia problemų, dėl prasto ryšio stiprumo, per mažos duomenų spartos ar per daug apkrauto tinklo. Šiame darbe sprendžiama problema yra gyvosios videotransliacijos galimai nepakankamas mobiliojo ryšio greitis.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Tyrimo tikslas. Pasiiekti gyvosios videotransliacijos pakankamą mobiliojo ryšio spartą, taikant ryšio kanalų spartos didinimo metodus.

Tyrimo pagrindimas

Padidinus mobiliųjų duomenų spartą nepalankiomis sąlygomis, bus galima transliuoti gyvasias videotransliacijas geresne raiška. Sukūrus metodologiją, kuri leistų maršrutizatoriui automatiškai pasirinkti geriausią konfigūraciją mobiliems duomenims padidinti, pagal numatytus spartos didinimo metodus, atsižvelgiant į gautus rezultatus, leis lanksčiau išnaudoti mobiliųjų duomenų teikiamą naudą, bet kokiomis sąlygomis.

Tyrimo uždaviniai:

1. išanalizuoti stacionariojo ir mobiliojo ryšio kanalų spartos didinimo metodus;
2. išanalizuoti gyvųjų videotransliacijų reikalavimu ryšio kanalų parametrus;
3. išanalizuoti mobiliojo ryšio aparatinę įrangą;
4. sukurti metodą mobiliojo ryšio kanalų spartos didinimui, apjungiant pasirinktus ryšio kanalų spartos didinimų metodus;
5. suprojektuoti, realizuoti ir ištestuoti demonstracinės videotransliacijos sistemos prototipą;
6. išbandyti sukurtą mobiliojo ryšio kanalų spartos didinimo metodą eksperimentiškai;
7. apibendrinti gautus rezultatus ir padaryti išvadas.

Darbo rezultatai ir jų svarba

Mobiliųjų duomenų spartos padidėjimas leidžia naudotojams transliuoti gyvasias videotransliacijas didesne raiška, nepalankiomis sąlygomis. Spartos didinimo metodų konfigūravimas ir testavimas užima daug laiko ir kruopštaus darbo, todėl sukurta nauja metodika padės sutaupyti laiko, ir ją bus galima universaliai naudoti bet kokioje vietovėje.

Darbo struktūra

Projektą sudaro šešios pagrindinės dalys:

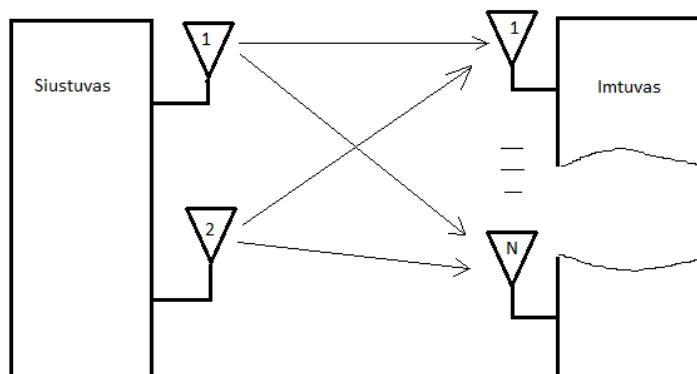
- 1) analizės dalis, joje nagrinėjami dabartiniai sprendimai, aptariamos dabar sprendžiamos problemos. Analizuojami metodai, ir kaip jų konfigūracija veikia spartos didinimą;
- 2) projektavimo dalis, kurioje nurodomi informacinės sistemos reikalavimai ir specifikacija. Aprašomos ir detalizuojamos reikalingos sistemos posistemės, parengiamas formalus aprašas;
- 3) realizacijos projektas. Aprašomas detalus informacinės sistemos projektas. Pateikiamos loginės architektūros ir sekų diagramos;
- 4) realizacija ir testavimas. Šioje dalyje pateikiamas suprojektuotos informacinės sistemos realizacijos aprašymas, testavimo eiga ir pateikiami rezultatai;
- 5) spartos didinimo metodų veikimo eksperimentinė dalis. Detalizuotas pritaikymo modelis. Aprašoma metodų testavimo eiga ir pateikiami gauti rezultatai. Padaromos išvados aprašant, kokiomis sąlygomis tinkamas naudoti atitinkamas metodus;
- 6) rezultatų apibendrinimas ir išvados.

1. Probleminės srities analizė

Šiame skyriuje analizuojama LTE tinklo specifika, gyvosioms videotransliacijoms keliami reikalavimai. Analizuojami mobiliųjų tinklų spartos padidinimo metodai, kokia įranga jau realizuoti panašūs sprendimai.

LTE yra belaidės komunikacijos 4 kartos (4G) mobiliojo ryšio standartas, pasižymintis dideliu informacijos siuntimo greičiu. LTE yra EPS (angl. *Evolved Packet System*) dalis. EPS technologija yra paremta IP protokolu, todėl LTE technologija irgi yra visiškai juo paremta. Vietoje grandinių komutacijos, vykdoma paketų komutacija. Įrenginiui IP adresas yra priskiriamas iš karto, kai jis sėkmingai autorizuoja ir prisijungia prie operatoriaus bazinės stoties. IP adresas paleidžiamas tik tada, kai įrenginys atsijungia nuo bazinės stoties.

LTE technologija paremta OFDMA (angl. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), kas leidžia pasiekti didelius greičius ir didelį kanalo pralaidumą. OFDMA technologija išskaido signalą į kelias nepriklausomas dalis ir tik tada jį siunčia, taip padidindama tinklo efektyvumą ir duomenų siuntimo greitį. Šie išskaidyti signalai, prieš pasiekdami gavėją, vėl susijungia į vieną. Jeigu dalies duomenų įrenginys negauna, OFDMA technologija jį atkuria, neprarandant duomenų informacijos. LTE įrenginiai naudoja technologiją (iki 4x4). MIMO technologija turi ir naudoja daugiau nei vieną siųstuvą ir imtuvą. Naudojant šią technologiją, duomenis galima siųsti keliais kanalais, kas pagerina mobiliojo ryšio kokybę bei duomenų perdavimo spartą. Veikimo principas pateiktas **1.1 pav.**



1.1 pav. MIMO technologijos veikimo principas

LTE dažnių juostos pločio kanalai gali būti 1,4, 3, 5, 10, ir 20 MHz. Lietuvoje naudojami dažniai yra tokie:

- B1 (2100 MHz);
- B3 (1800 MHz);
- B7 (2600 MHz);
- B20 (800 MHz);
- B40 (2300 MHz).

1.1. Analizės tikslas

Nustatyti esamus mobiliųjų duomenų spartos padidinimo metodus, sprendimus, technologijas. Nustatyti kriterijus, reikalingus aparatinei įrangai.

1.2. Tyrimo objektas, sritis ir problema

Tyrimo objektas. Mobiliojo ryšio įrenginių spartos pagerinimas.

Tyrimo sritis. Mobilus ryšio tinklas, mobiliųjų duomenų spartos didinimas.

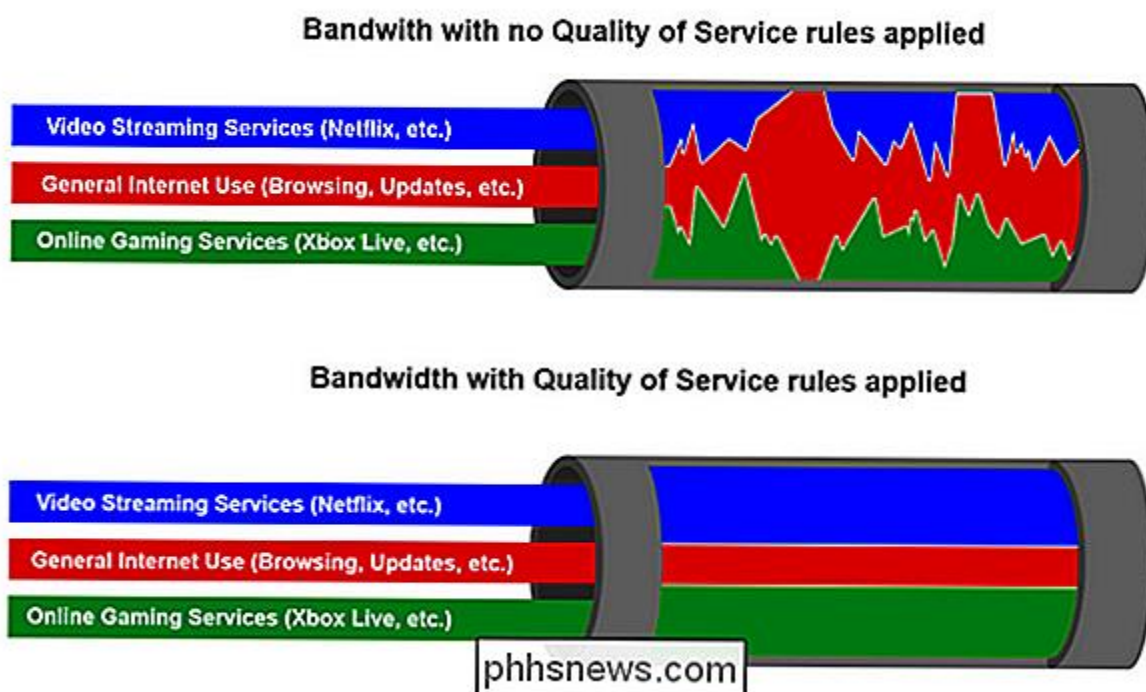
Tyrimo problema. Šiame darbe sprendžiama problema yra gyvosioms videotransliacijoms galimai nepakankamas mobiliojo ryšio greitis.

1.3. Esamų problemos sprendimo metodų analizė (Lietuvos ir tarptautiniu mastu)

LTE yra ketvirtosios kartos (4G) mobiliojo ryšio standartas. Nuo prieš tai buvusių mobiliojo ryšio standartų, jis išsiskiria tuo, kad yra visiškai paremtas IP protokolu – vietoj grandinių komutacijos, čia vykdoma paketų komutacija. Šiuo metu yra nemažai metodų kaip, padidinti mobiliųjų duomenų spartą.

1.3.1. Paslaugų kokybės „QoS“ valdymo metodas

Paslaugų kokybės „QoS“ (angl. *Quality of Service*) įrankis leidžia maršrutizatoriui padalinti tinklo pralaidumą tarp programų. Teisingai sukurtos „QoS“ taisyklės, paskirsto tinklo srautą taip, kad naudojamos programos neužimtų, vienu metu, viso tinklo pralaidumo ir galėtų dirbti lygiagrečiai su kitomis programomis. Pavyzdžiui: failo atsisiuntimas, videotransliacija ir naršymas socialiniame tinkle vienu metu. Paslaugų kokybės veikimo konceptas pateiktas **1.2 pav.**

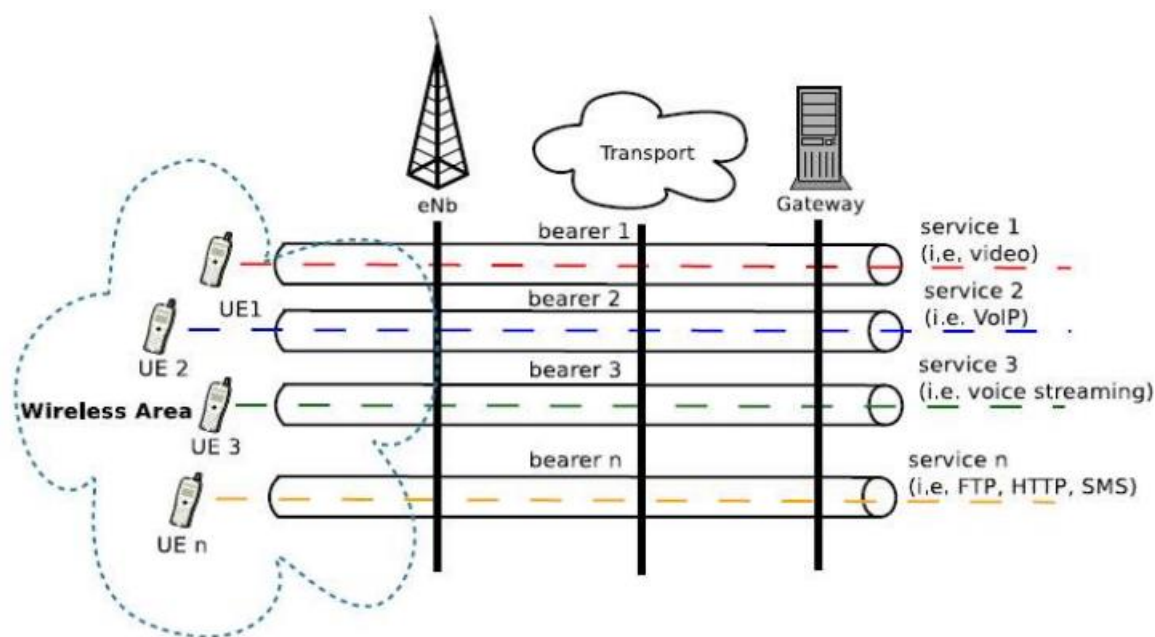


1.2 pav. Paslaugų kokybės „QoS“ metodo veikimo principas [1].

Pagal „3GPP specification for UMTS and LTE QoS concept and architecture“ [2], yra nustatytos 4 paslaugų, tarp kurių dalijamas tinklo pralaidumas, klasės:

- pokalbių klasė (angl. *Conversational*);
- transliavimo – srauto klasė (angl. *Streaming*);
- interaktyvi klasė (angl. *Interactive*);
- foninė klasė (angl. *Background*).

Pokalbių klasei yra priskiriami telefoniniai pokalbiai ir įvairūs konferencijų įrankiai. Transliavimo klasei priskiriamos paslaugos, kai transliuojamas vaizdas ir/arba garsas. Interaktyviai klasei yra priskiriamas naršymas tinklalapiuose ir socialiniuose tinkluose. Foninei klasei priskiriamos tokios paslaugos, kaip elektroninio pašto ir debesų aplikacijų veikimas. Mobiliajame tinkle paslaugų kokybės pagrindinis elementas vadinamas nešikliu (angl. *bearer*). Nešikliai identifikuoja paketų srautus, kurie keliauja iš serverio į mobilųjį įrenginį ir jiems pritaiko paslaugų kokybės „QoS“ taisykles (žr. **1.3 pav.**).



1.3 pav. Paslaugų kokybės „QoS“ metodo veikimo principas, mobiliajame tinkle[3].

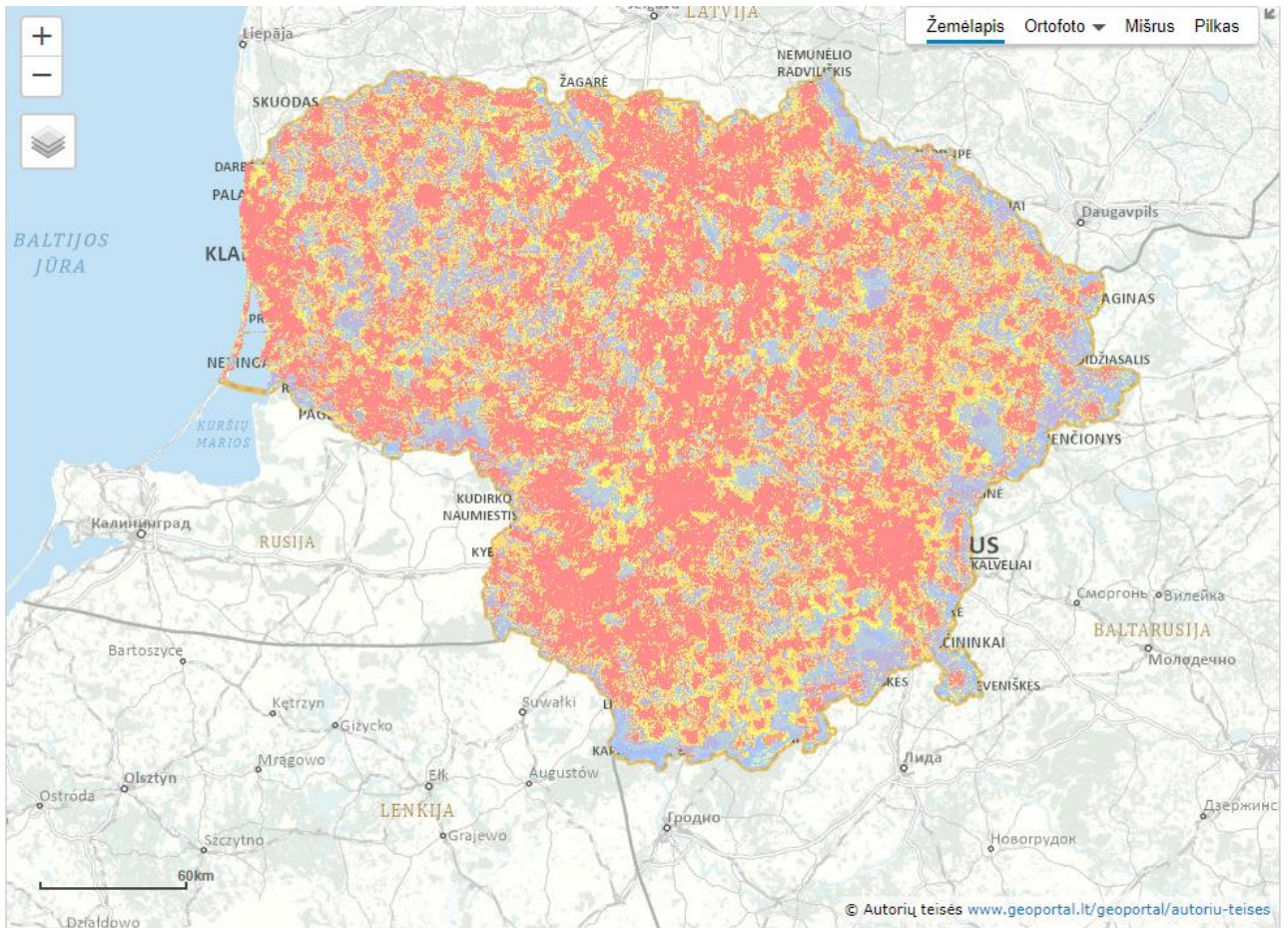
1.3.2. Mobilaus tinklo optimizavimo „MO“ metodas

Mobilaus ryšio kokybė ir sparta priklauso nuo to, kaip mobilusis įrenginys yra arti bazinės stoties bei kaip tuo metu yra apkrautas tinklas. Lietuvos Respublikos ryšių reguliavimo tarnyba pateikia trijų judriojo ryšio operatorių: UAB „Bitė Lietuva“ (žr. **1.4 pav.**), AB „Telia Lietuva“ (žr. **1.5 pav.**) ir UAB „Tele2“ (žr. **1.6 pav.**), mobiliojo ryšio tinklų tikėtinas aprėpties zonas. Taip pat 2020 metų, birželio 1 d. ši tarnyba atliko bazinių stočių ir celių skaičiavimus, kurie pateikiami **1-1 lentelėje**.

1-1 lentelė. Lietuvos operatorių aktyvių bazinių stočių ir celių suvestinė

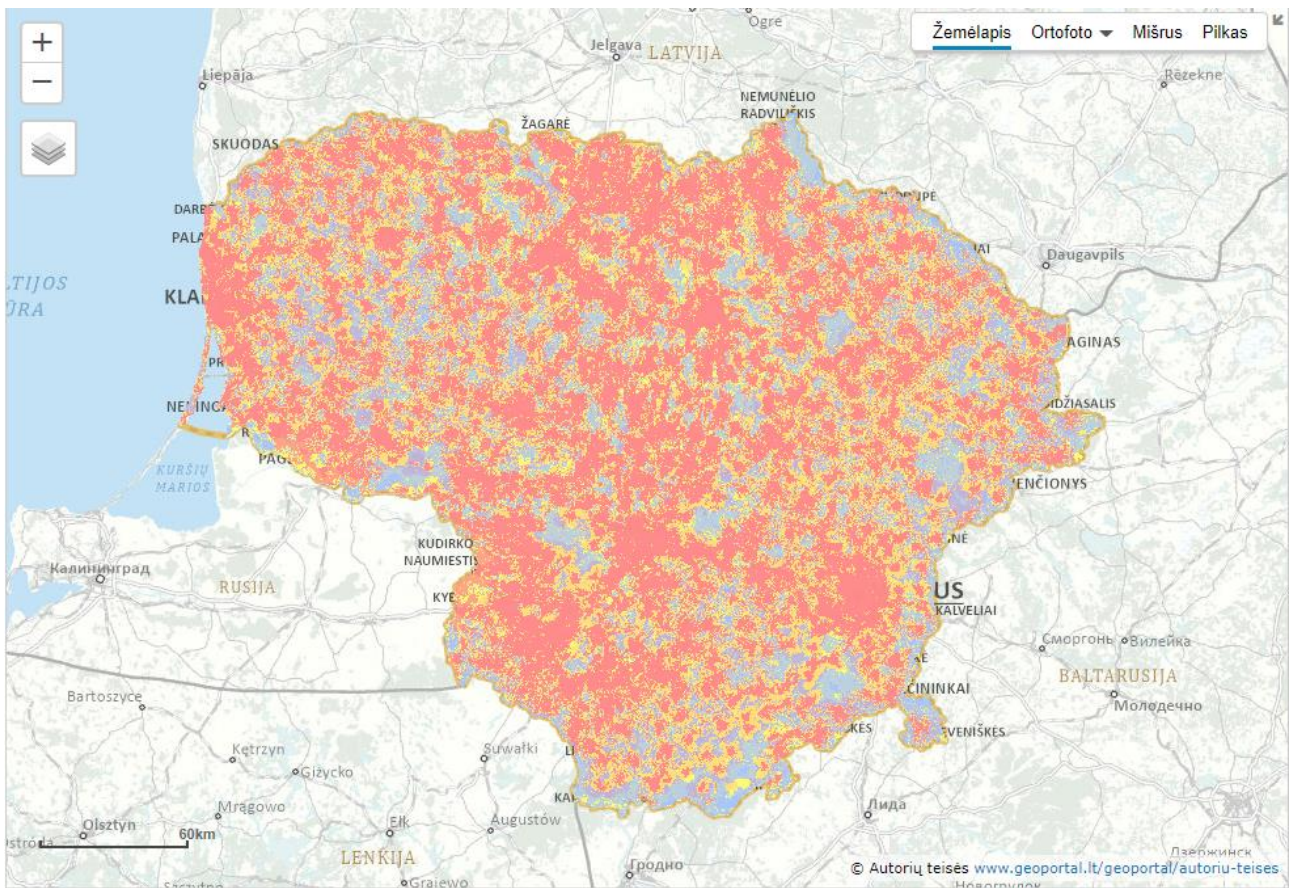
Operatorius	Technologija	Aktyvių celių skaičius	Stočių skaičius
Bitė Lietuva	GSM	3207	1053
	3G	3543	1138
	LTE	5672	1190
Telia Lietuva	GSM	3857	1418
	3G	6517	1426
	LTE	10493	1467
Tele2	GSM	3937	1303










	3G	5393	1309
	LTE	9974	1339



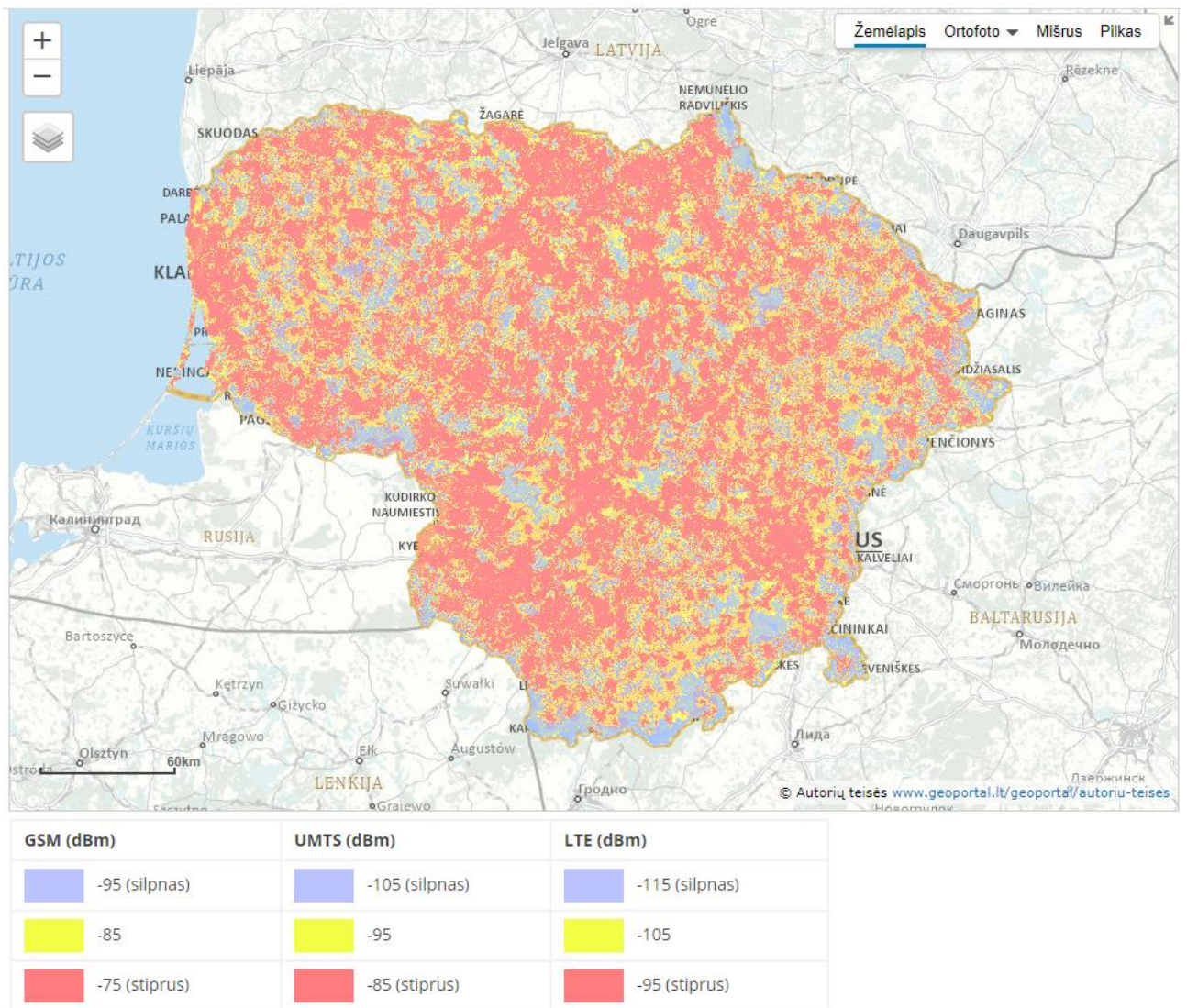
GSM (dBm)	UMTS (dBm)	LTE (dBm)
-95 (silpnas)	-105 (silpnas)	-115 (silpnas)
-85	-95	-105
-75 (stiprus)	-85 (stiprus)	-95 (stiprus)

1.4 pav. UAB "Bitė Lietuva" mobiliojo ryšio aprėpties zonos 2020 m birželio 1 dieną



GSM (dBm)	UMTS (dBm)	LTE (dBm)
 -95 (silpnas)	 -105 (silpnas)	 -115 (silpnas)
 -85	 -95	 -105
 -75 (stiprus)	 -85 (stiprus)	 -95 (stiprus)

1.5 pav. AB "Telia Lietuva" mobiliojo ryšio aprėpties zonos 2020 m birželio 1 dieną

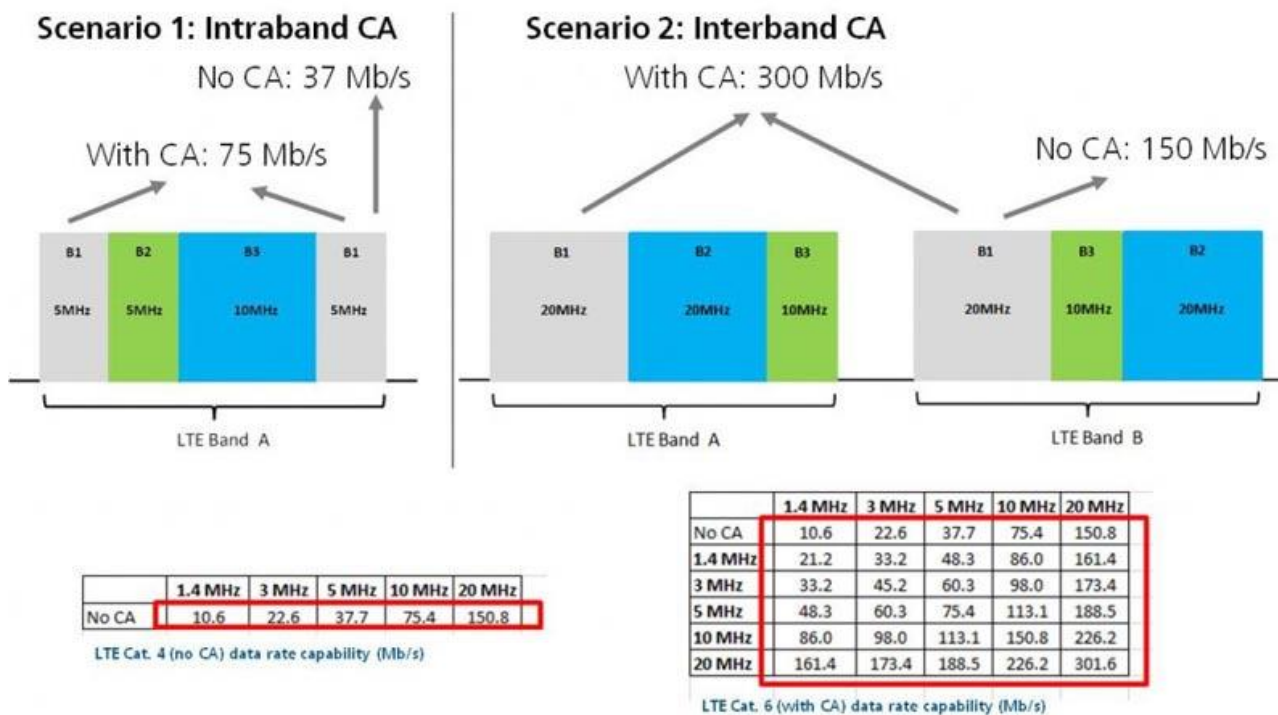


1.6 pav. UAB "Tele2" mobiliojo ryšio aprėpties zonos 2020 m birželio 1 dieną

Naudojant šį metodą, reikėtų išbandyti visus, vietovėje esančius, mobiliojo ryšio dažnius, tam, kad būtų galima rasti, kuris dažnis mažiausiai apkrautas ir pasiekia didžiausią spartą. Taip pat, reikėtų patikrinti aplink esančias bazines stotis ir rasti, kuri stotis yra mažiausiai apkrauta. Radus tokį dažnį ir bazinę stotį, prie jų reikėtų pririšti mobilųjį įrenginį, kad būtų efektyviausiai išnaudota greitis.

1.3.3. Nešėjų sumavimo „CA“ metodas

CA (angl. *Carrier aggregation*) yra viena iš tipinių LTE-A (angl. *Long Term Evolution Advanced*) technologijų, taikomų LTE 6 kategorijai. LTE-A technologija nuo LTE technologijos skiriasi tuo, kad palaiko daugiau vartotojų ir yra pagerintas ryšio padengimas. Nešėjų sumavimas atlieka esminį vaidmenį, kai mobilusis įrenginys veikia perpildytame tinkle. Prieinama dažnio juosta yra dalijama tarp daugelio įrenginių. Esant tokiai sąlygai, galimybė sujungti daugiau kanalų lemia aukštesnę duomenų perdavimo spartą įrenginiams, palaikantiems CA. Su operatoriaus agregavimu gali būti derinami skirtingi dažnių juostos pločiai, taip kad būtų užtikrintas didesnis našumas. Vienos 20MHz dažnių juostos teorinė sparta yra 150 Mbps. Naudojant LTE CAT6 standartą palaikančius įrenginius ir sujungus dvi 20 MHz dažnių juostas, teorinė sparta padidėja iki 300Mbps **1.7 pav.**

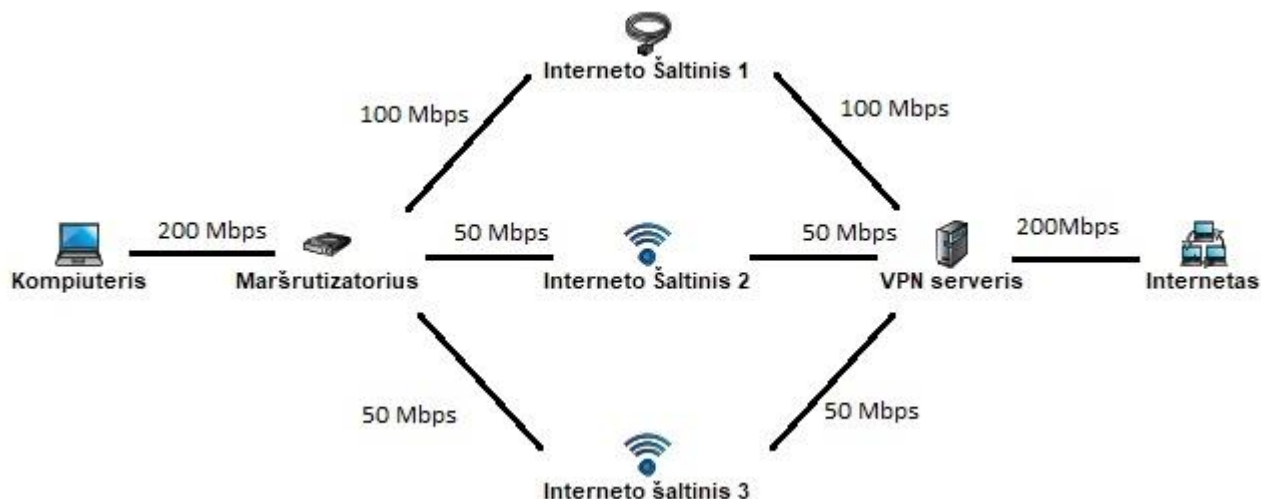


1.7 pav. LTE-A technologijos greičių priklausomybė nuo dažnių juostos pločio[5].

1.3.4. Sujungimo „BO“ metodas

Sujungimo (angl. *Bonding*) metodu laikomas procesas, kai du ar daugiau atskirų interneto šaltinių, ISP sujungiami į vieną privatų virtualaus tinklo VPN (angl. *Virtual Private Network*) serverį. Tokiu metodu sujungiamas tinklas, pasidaro kaip vienas interneto šaltinis, su didesne interneto sparta.

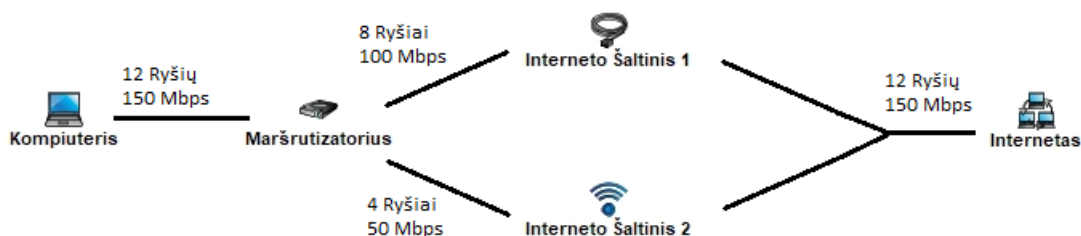
Tarkime, turint du mobiliųjų duomenų ryšius su vidutine ~50Mbps sparta, naudojant sujungimo metodą, gaunamas vienas interneto šaltinis su ~100Mbps sparta. Šis metodas yra aktualus tada, kai norima siųsti didelį failą ar transliuoti vaizdo įrašus. Sujungimo metodo principas pavaizduotas 1.8 pav.



1.8 pav. Sujungimo metodo principas

1.3.5. Apkrovos paskirstymo „LB“ metodas

Apkrovos paskirstymas LB (angl. *Load Balancing*) yra skirtas duomenų srauto paskirstymui tarp serverių. Šis metodas nurodo, kad pirmiausia jungiamasi prie mažiausiai apkrauto serverio, ir stengiamasi išlaikyti vienodą serverių apkrovimą tinkle. Šis metodas orientuotas į daug ryšių vienu metu turintį tinklą. Metodas aktualus tada, kai siunčiama daug nedidelės apimties failų, arba naršoma tinklalapiuose. Šiuo metodu didelio greičio pasiekti negalima, tačiau kiekvienam ryšiui yra suteikiama vienoda ir stabili sparta. Apkrovos paskirstymo principas pavaizduotas **1.9 pav.**



1.9 pav. Apkrovos paskirstymo LB metodo principas

1.4. Videotransliacijos analizė

Vaizdo įrašų transliacija ir vartojimo dinamika, šiuolaikiniame pasaulyje, sparčiai keičiasi. Neatsilikti nuo nuolat besikeičiančių vaizdo transliacijos standartų tampa sunkiu darbu, ne tik turinio savininkams, bet ir transliavimo bei transliacijos platintojams. Geros kokybės transliacijas apibrėžia įvairūs veiksniai, pvz., kodavimas, duomenų perdavimo/pristatymo technikos, kadrų dažnis per sekundę, glaudinimo procesai (angl. *compression*), duomenų vėlavimas, trikdymas, praradimas, tačiau vaizdo skiriamoji geba yra labiausiai dominuojantis parametras, nes atspindi vaizdo įrašo kadrų detales.

Rezoliucija arba kitaip, skiriamoji geba – rodomo vaizdo taškų skaičius, pikselis, tenkantis vienam ilgio vienetui. Kuo daugiau taškų yra paveiksle, kuo daugiau pikselių jis turi, tuo didesnė yra skiriamoji geba ir vaizdas yra kokybiškesnis. Skiriamąją gebą galima išreikšti kraštinių santykiu arba pločio ir aukščio vienetų sandauga, kur vienetas yra pikselis. Pastaruoju metu, vaizdo skiriamoji geba nurodoma sakant tik aukščio vienetus, pvz., 720p.

Interneto greitis gyvosioms videotransliacijoms priklauso nuo to, kokia raiška bus transliuojamas video. Didesnės raiškos transliacija, reikalauja didesnio duomenų perdavimo greičio, kurį turi pasiekti mobilusis įrenginys. Kaip interneto greitis priklauso nuo pasirinktos rezoliucijos parodyta **1-2 lentelėje**.

1-2 lentelė. Video raiškos ir srauto sunaudojimo priklausomybės

Eil. Nr.	Pavadinimas	Video raiška	Reikalingas srauto greitis
1	4K / 2160 @60fps	3840x2160p	20,000-51,000 Kbps
2	4K / 2160 @30fps	3840x2160p	13,000-34,000 Kbps
3	1440p @60fps	2560x1440	9,000-18,000 Kbps
4	1440p @30fps	2560x1440	6,000-13,000 Kbps
5	1080p @60fps	1920x1080	4,500-9,000 Kbps
6	1080p @30fps	1920x1080	3,000-6,000 Kbps
7	720p @60fps	1280x720	2,250-6,000 Kbps
8	720p @30fps	1280x720	1,500-4,000 Kbps
9	480p @30fps	854x480	500-2,000 Kbps
10	360p @30fps	640x360	400-1,000 Kbps

11	240p @30fps	426x240	300-700 Kbps
----	-------------	---------	--------------

Gyvosioms videotransliacijoms bus naudojama 4K / 2160 @30fps vaizdo kokybė. Transliuoti be trikdžių, tokia raiška, reikės stabilios 34 Mbps duomenų greitaiveikos. Užtikrinti gerą vaizdo perdavimo kokybę, reikia išsirinkti vaizdo transliavimo protokolą, kuris bus naudojamas tyrimo metu.

1.4.1. TCP protokolas

TCP protokolas palaiko tokias funkcijas, kaip tinklo srautų ir perkrovos kontrolę, klaidų kontrolę ir duomenų sutankinimą. Šis protokolas gali valdyti siunčiamų duomenų srautą, tam kad užtikrintų jog tinklas nebus perkrautas. Naudodamas srauto kontrolę, šis protokolas reguliuoja buferio pildymą, tam kad ateinantys paketai nebūtų prarasti, arba jų nereikėtų retransliuoti. Klaidų kontrolei, protokolas skaičiuoja ateinančių paketų kontrolinę sumą. Jeigu pakete aptinkama klaidų, paketas yra pašalinamas ir retransliuojamas iš naujo. Dėl tokių savybių TCP protokolas yra patikimas, tačiau dėl paketų retransliavimo atsiranda vėlavimas, kas gyvosioms videotransliacijoms yra netinkama.

1.4.2. UDP protokolas

UDP protokolas, kaip ir TCP protokolas, turi tokias funkcijas, kaip klaidų kontrolė ir duomenų sutankinimas. Taip pat šis protokolas palaiko „IP Multicast“ transliacijas. Priešingai nei TCP protokolas, UDP nevykdo retransliavimo, todėl gali būti, kad bus prarasta daug siunčiamų paketų. Tačiau naudojant šį protokolą, gyvosios videotransliacijos neturės vėlavimo.

1.4.3. RTP protokolas

UDP pagrindu pasiremtas, realaus laiko transporto protokolas (angl. *Real-Time Transport Protocol*) buvo sukurtas multimedijos duomenų perdavimui internetu. Šį protokolą papildė dar du valdymo RTCP ir transliavimo RTSP protokoliai.

RTP yra standartizuotas protokolas, skirtas realaus laiko duomenų transportavimui, pavyzdžiui: gyvosioms videotransliacijoms. RTCP protokolas yra atsakingas už perduodamų duomenų kontrolę. Tuo tarpu RTSP protokolas reguliuoja tinklo pralaidumą, užtikrina paslaugų kokybę.

1.4.4. DASH protokolas

DASH (angl. *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*) standartas apibrėžia, kaip išskaidyti vaizdo transliacijos turinį į daug dalių, kad jos galėtų būti perduodamos per HTTP, dabar labiausiai naudojamą protokolą, tokiu būdu, kad klientas žinotų apie prieinamus duomenis. Toks skaidymas leidžia klientui atkurti vaizdo transliaciją iš skirtingų duomenų dalelių, kurios yra iš skirtingų lokacijų, su skirtingomis duomenų perdavimo spartomis. Adaptyvaus transliavimo technologija leidžia reguliuoti vaizdo transliacijos kokybę, priklausomai nuo kliento tinklo pralaidumo parametrų ir įrenginio procesoriaus pajėgumų, todėl transliuojamas vaizdas visada yra geriausios, kokios tik gali būti, kokybės.

1.5. Aparatinės įrangos analizė

Tyrimo metu planuojama naudoti maršrutizatorių, LTE modulius ir skirtingų operatorių SIM korteles. Analizės metu išvardijami tyrimui aktualūs kriterijai, kurie reikalingi projekto įgyvendinimui.

1.5.1. Maršrutizatorių analizė

Maršrutizatorius naudojamas kaip vienas pagrindinių pagalbinių, kadangi bus bandoma, skirtingais metodais, apjungti mobiliuosius tinklus. Pagrindinės maršrutizatoriaus savybės, reikalingos šiam tyrimui:

- WiFi duomenų perdavimo sparta – mobilusis įrenginys, kuris filmuos transliaciją, prie maršrutizatoriaus turės būti prisijungęs belaidžiu ryšiu. Tam, kad numatyta transliacijos kokybė nesumažėtų, duomenų perdavimo greitis turėtų būti ne mažesnis nei 34Mbps.

- USB jungties palaikymas – maršrutizatoriai dažniausiai turi integruotą vieną LTE modulį arba visai jo neturi. Tyrimo metu bus apjungiami daugiau nei vienas mobiliųjų duomenų kanalas. Papildomi LTE moduliai bus jungiami per USB sąsają.
- Energijos suvartojimas – atliekant tyrimą realiomis sąlygomis, maršrutizatorius bus jungiamas prie baterijos. Maršrutizatorius, turintis didesnę įprasto režimo įtampų diapazoną, leis atlikti daugiau testų su skirtingomis baterijomis.

Skirtingų maršrutizatorių palyginimas pavaizduotas **1-3** lentelėje.

1-3 lentelė. Skirtingų maršrutizatorių palyginimo lentelė

Eil. Nr.	Pavadinimas	WiFi	USB	Energijos suvartojimas
1	Cisco RV340W	Wi-Fi 5 (802.11ac)	USB 2.0	12V
2	Teltonika RUTX11	Wi-Fi 5 (802.11ac)	USB 2.0	9-50V
3	MikroTik RB4011iGS+5HacQ2HnD-IN	Wi-Fi 5 (802.11ac)	Nėra	18-57 V

1.5.2. LTE modulių analizė

Šiuo metu Lietuvos operatoriai teikia 4 skirtingų LTE technologijų paslaugas: LTE, LTE-A, LTE NB ir LTE M1. Kiekviena LTE technologija yra unikali, jos paskirtis ir specifikacijos skiriasi. Detaliau specifiškuotos LTE technologijos aprašytos **1-4** lentelėje.

1-4 lentelė. LTE technologijų specifikacija

Technologijos pavadinimas	Kategorija	Teorinė parsuntimo sparta	Teorinė išsiuntimo sparta
LTE	CAT4	150 Mbps	50 Mbps
LTE-A	CAT6	300 Mbps	50 Mbps
LTE NB	CATNB1	375 Kbps	375 Kbps
LTE M1	CATM1	10 Mbps	5 Mbps

Tyrimui naudojami moduliai, priklausantys CAT4 ir CAT6 LTE kategorijoms, kadangi gyvosioms videotransliacijoms yra aktuali mobiliojo įrenginio išsiuntimo sparta. Kiekvienos kategorijos moduliai papildomai skirstomi į regionus. Dėl pasaulyje naudojamų skirtingų mobiliųjų ryšių dažnių, regionai dažniausiai skirstomi į žemynus: Pietų Amerika, Šiaurės Amerika, Europa, Afrika, Australija ir Azija. Tačiau būna ir universalių modulių, kurie palaiko bent kelis dažnius esančius kiekvienam žemyne. Tyrimo metu bus naudojami „Quectel“ gamintojo gaminami LTE moduliai, pritaikyti Europos rinkai. Naudojamų modulių specifikacijos pateikiamos **1-5** lentelėje.

1-5 lentelė. LTE modulių specifikacijos

Pavadinimas	Regionas	LTE dažniai	Teorinė sparta
Quectel EC25-EU	Europa	B1/B3/B7/B8/B20/B28A	150/50 Mbps
Quectel EG25-G	Globalus	B1/ B2/ B3/ B4/ B5/ B7/ B8/ B12/ B13/ B18/ B19/ B20/ B25/ B26/ B28	150/50 Mbps
Quectel EG06-E	Europa	B1/B3/B5/B7/B8/B20/B28/B32	300/50 Mbps

1.5.3. Specifinės įrangos analizė

Tyrimo metu, sudaryti idealias sąlygas mobiliajam tinklui ir išnaudoti visą potencialą beveik neįmanoma. Prie bazinės stoties prisijungusių vartotojų skaičius vis tiek yra didelis ir teorinį greitį pasiekti labai sudėtinga. Dėl šios priežasties, LTE mobiliajam tinklui užtikrinti idealias sąlygas,

naudojamas „Amarisoft“ gamintojo produktas. Tai - įvairiems mobiliųjų duomenų spartos testavimas skirta LTE bazinė stotis, kuri gali simuliuoti visas 4 LTE technologijas. Ši stotis, vienu metu, gali spinduliuoti tik vieną, pasirinktą dažnio juostą, pasirinktu 1.4, 3, 5, 10, 15 ar 20 MHz juostos pločiu. Taip pat palaiko vienos antenos ir MIMO 4x2 technologiją, bei turi kitų mobiliams tinklams skirtų funkcijų.

1.6. Analizės apibendrinimas ir išvados

- Išanalizuoti pagrindiniai metodai, kaip galima padidinti mobiliųjų duomenų spartą. Analizės metu pasirodęs geriausias metodas, padidinti mobiliųjų duomenų spartą, gyvosioms videotransliacijoms yra sujungimo metodas.
- Gyvosioms videotransliacijoms nustatyti minimalūs duomenų spartos reikalavimai. 4K @30fps transliacijai reikalingas minimalus 34Mbps duomenų srautas.
- Išskirtos pagrindinės, tyrimui reikalingos, maršrutizatoriaus savybės. Atlikus panašių įrenginių analizę, pasirinktas UAB „Teltonika“ gaminamas RUTX11 maršrutizatorius.
- Detalizuotos LTE modulių savybės ir specifikacijos, ištirtos šalies operatorių teikiamos paslaugos. Tyrimui bus naudojami, CAT6 „Quectel“ įmonės gaminami, LTE moduliai.

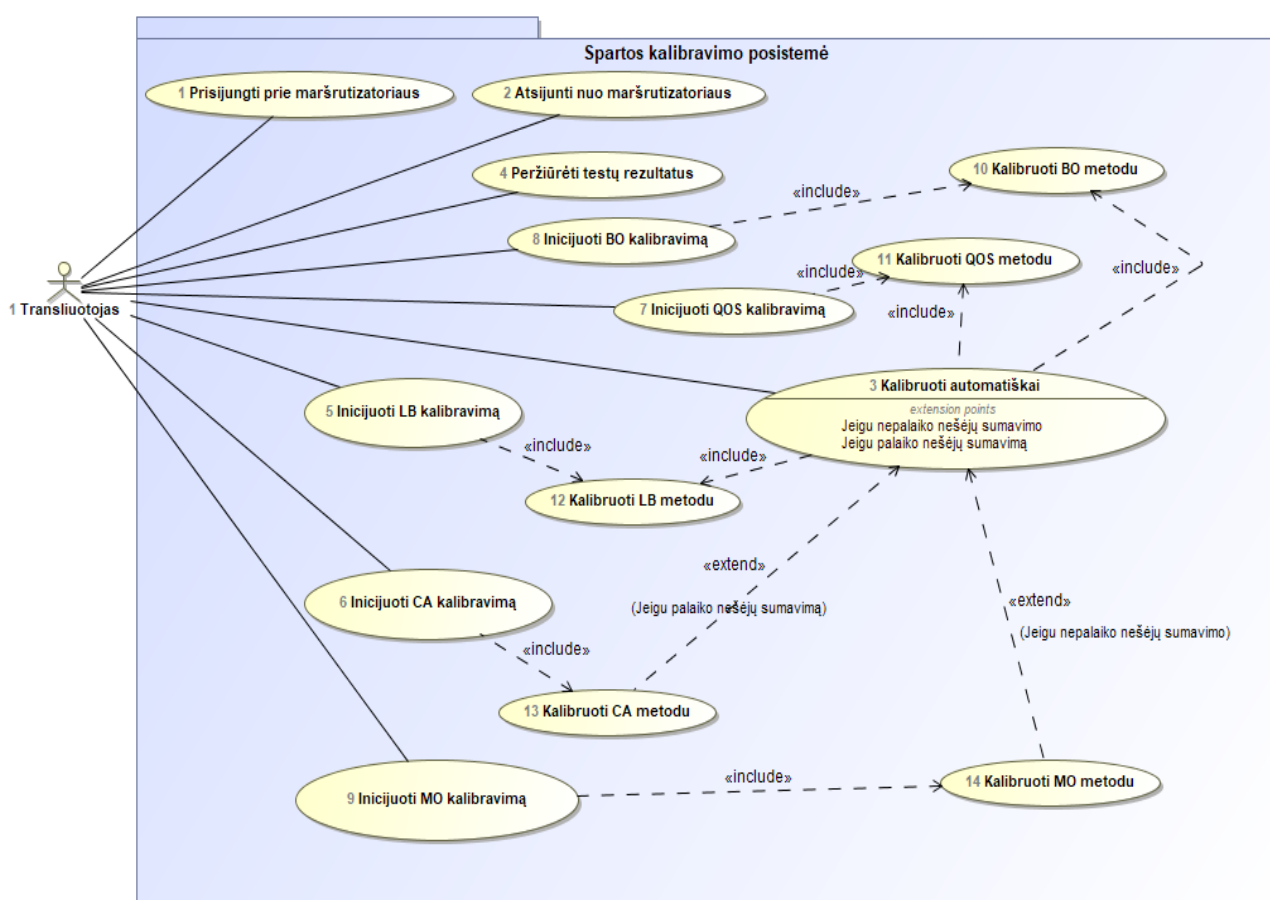
2. Sprendimo reikalavimų specifikacija ir projektas, formalus aprašas

2.1. Funkcinių reikalavimų specifikacija

Informacinė sistema sudaryta iš dviejų posistemų – spartos testavimo posistemės ir video-transliavimo posistemės. Kiekvienai posistemiai specifikuoti funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai, pridėtas formalizuotas aprašas.

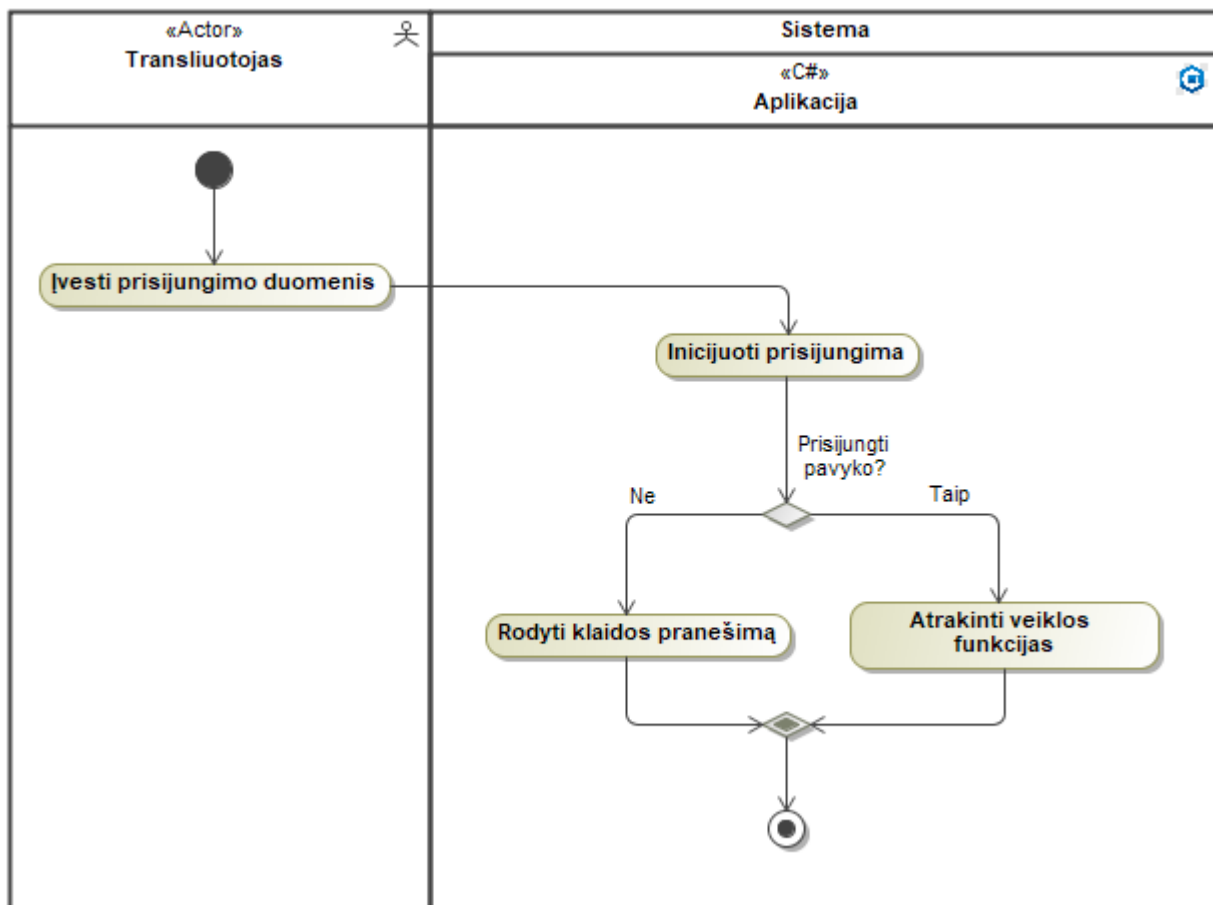
2.1.1. Spartos kalibravimo posistemė

Spartos kalibravimo sistemoje vienintelis aktorius – transliuotojas. Ši sistema parinks metodų konfigūraciją, atsižvelgdama į nurodytus parametrus. Transliuotojas galės pats pasirinkti, kokius metodus nori testuoti atskirai. Galės peržiūrėti testų rezultatus. Spartos kalibravimo posistemės panaudojimo atvejai pateikti **2.1 pav.**



2.1 pav. Spartos kalibravimo posistemės panaudojimo atvejai

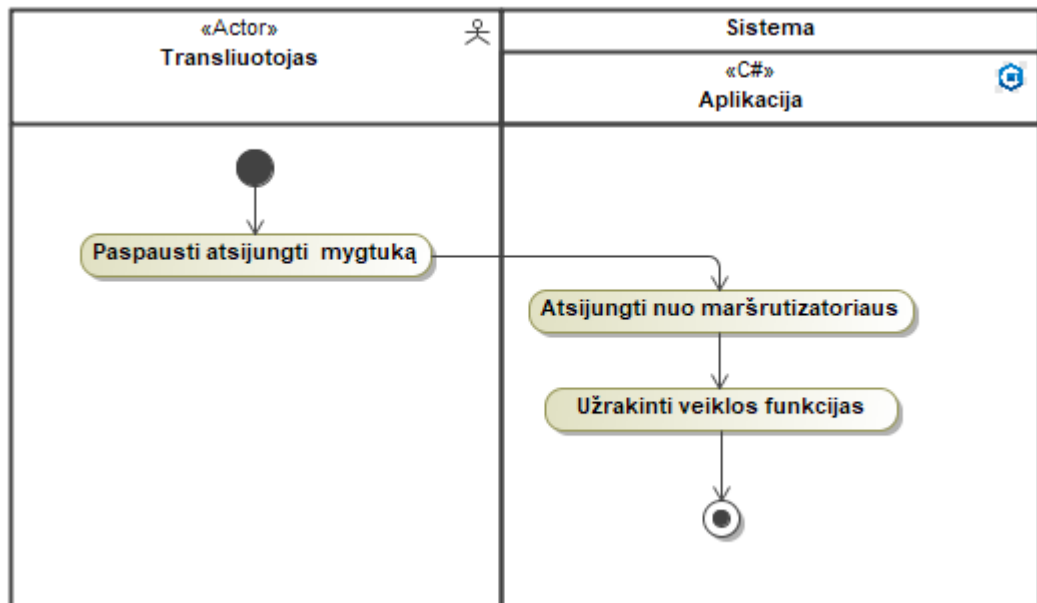
Spartos kalibravimo panaudojimo atvejų veiklos diagramų aprašai pateikiami **2.2 pav.** - **2.15 pav.** Aprašymuose detalizuoti tikslai ir uždaviniai, pagrindžiama, kodėl reikalingas kiekvienas panaudojamo atvejis. Nurodoma, kas yra aktorius, kokios sąlygos reikalingos prieš veiksmą, kokio rezultato galima tikėtis po veiksmo, taip pat kokia yra funkcijos sužadinimo sąlyga.



2.2 pav. Prisijungimo prie maršrutizatoriaus veiklos diagrama

2-1 lentelė. PA 1 „Prisijungti prie maršrutizatoriaus“

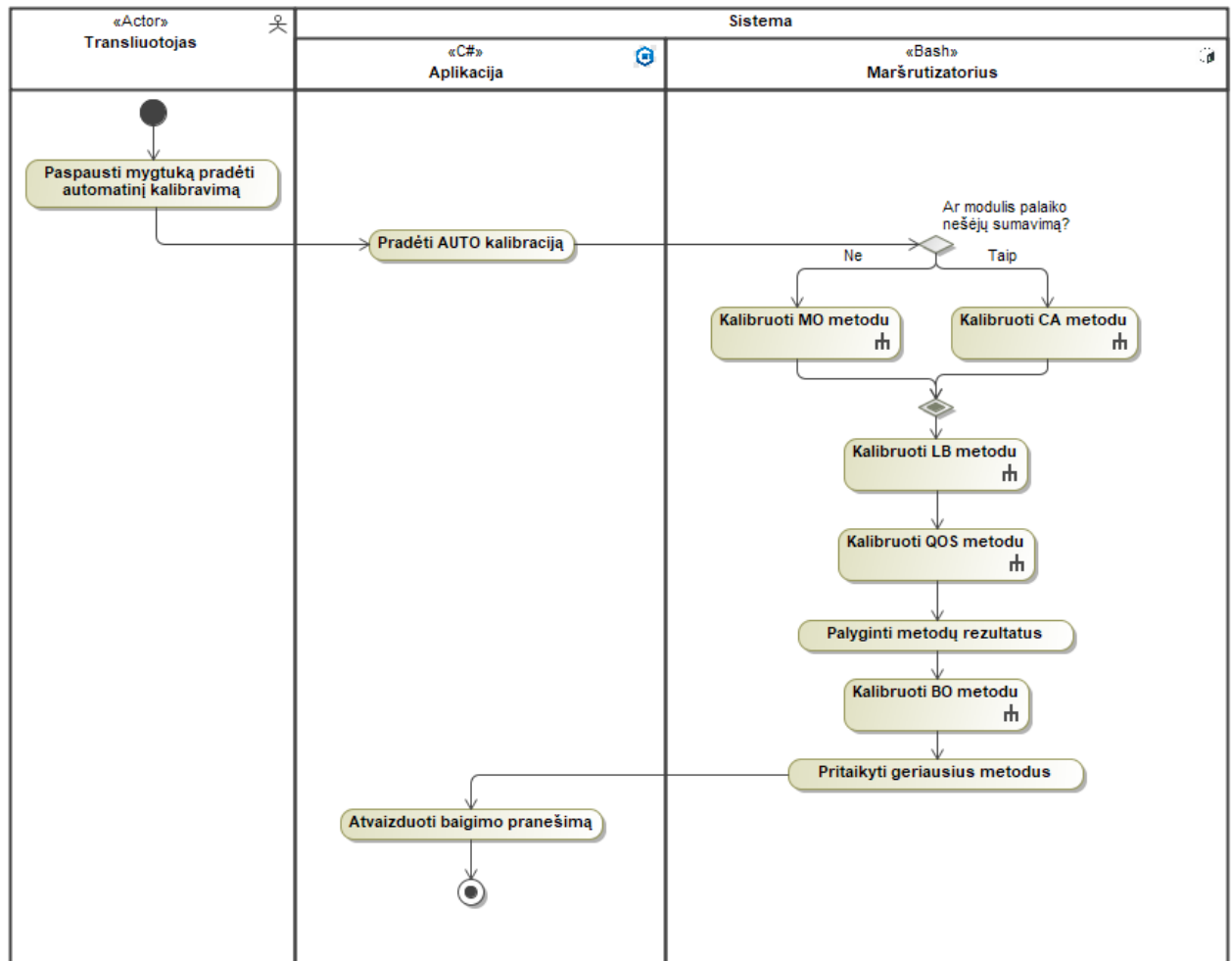
PA 1 Prisijungti prie maršrutizatoriaus	
Tikslas/uždavinys:	Prisijungti prie maršrutizatoriaus.
Aprašymas:	Naudotojas ,žinantis prisijungimo duomenis, prisijungia prie naudojamo maršrutizatoriaus.
Pagrindimas:	Tam, kad transliuotojas galėtų atlikti kalibravimo ar rezultatų peržiūros veiksmus, pirmiausia turi prisijungti prie maršrutizatoriaus.
Aktorius:	Transliuotojas
Prieš-sąlyga:	Matomas „Prisijungti prie maršrutizatoriaus“ prisijungimo langas.
Sužadinimo-sąlyga:	Paspaudžiamas mygtukas „Login“.
Po-sąlyga	Matomas pagrindinis maršrutizatoriaus konfigūravimo langas.



2.3 pav. Atsijungti nuo maršrutizatoriaus veiklos diagrama

2-2 lentelė. PA 2 „Atsijungti nuo maršrutizatoriaus“

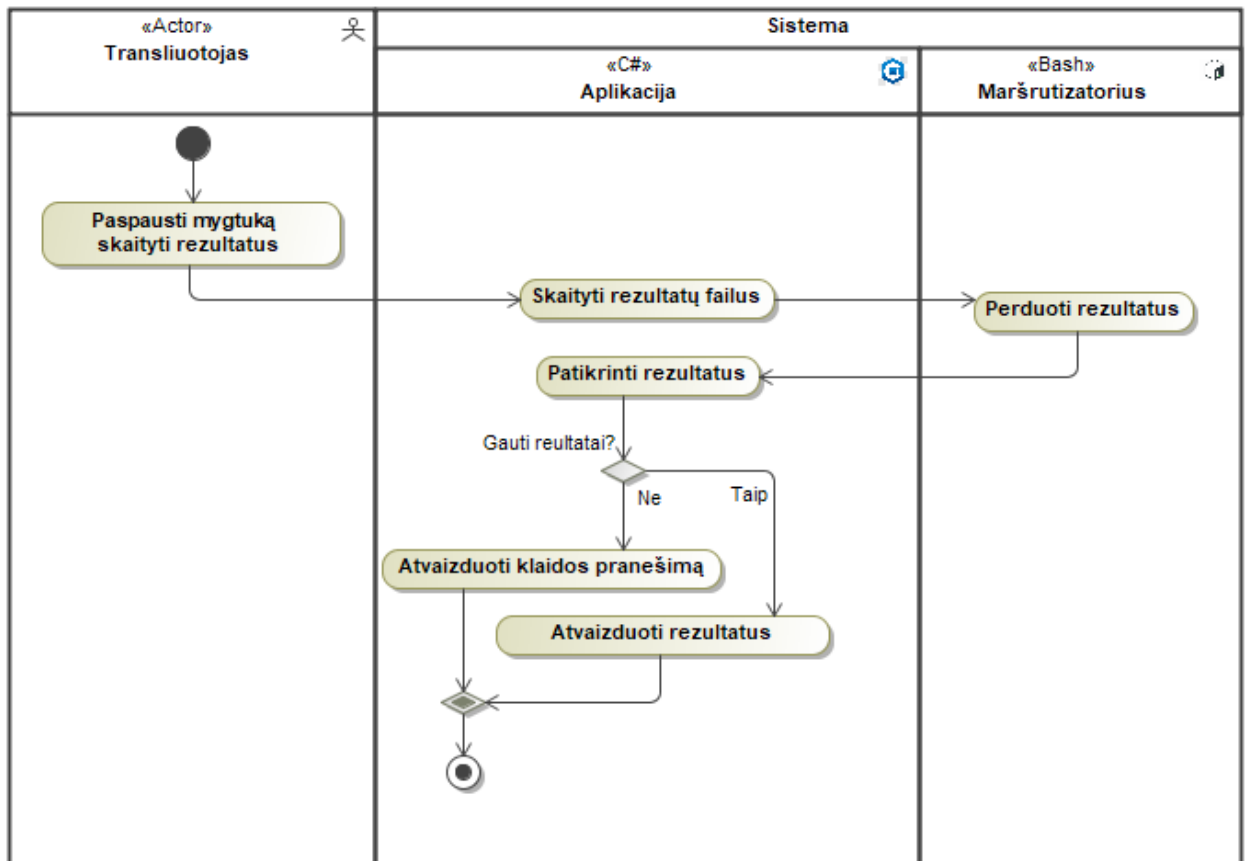
PA 1 Prisijungti prie maršrutizatoriaus	
Tikslas/uždavinys:	Atsijungti nuo maršrutizatoriaus.
Aprašymas:	Transliuotojas, baigęs darbus, turėtų atsijungti nuo maršrutizatoriaus.
Pagrindimas:	Transliuotojas, baigęs kalibravimo ar rezultatų peržiūros veiksmus, turėtų atsijungti nuo maršrutizatoriaus.
Aktorius:	Transliuotojas
Prieš-sąlyga:	Transliuotojas turėtų būti prisijungęs prie maršrutizatoriaus.
Sužadinimo-sąlyga:	Paspaudžiamas mygtukas „Logout“.
Po-sąlyga	Matomas „Prisijungti prie maršrutizatoriaus“ prisijungimo langas.



2.4 pav. Kalibruoti automatiškai veiklos diagrama

2-3 lentelė. PA 3 „Kalibruoti automatiškai“

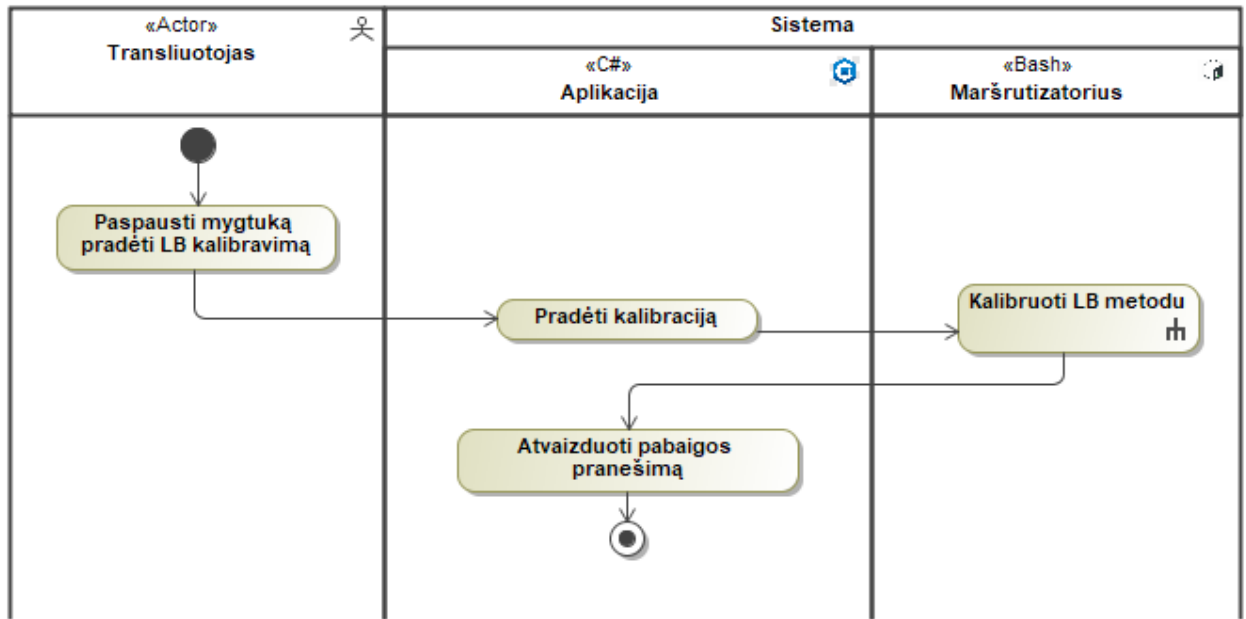
PA 3 Kalibruoti automatiškai	
Tikslas/uždavinys:	Paleisti automatinį maršrutizatoriaus kalibravimą.
Aprašymas:	Transliuotojas gali paleisti automatinį maršrutizatoriaus kalibravimą.
Pagrindimas:	Transliuotojas, nežinantis ką daro kiekvienas metodas, gali tiesiog paleisti automatinį maršrutizatoriaus kalibravimą. Tereikia nurodyti, kokia bus reikalinga minimali duomenų sparta arba kokia raiška planuoja transliuoti gyvąją videotransliaciją. Šie duomenys reikalingi automatiniam maršrutizatoriaus kalibravimui.
Aktorius:	Transliuotojas
Prieš-sąlyga:	Transliuotojas turėtų būti prisijungęs prie maršrutizatoriaus.
Sužadinimo-sąlyga:	Transliuotojas turėtų pasirinkti vaizdo raišką ir paspausti „Run AUTO method“ mygtuką aplikacijoje.
Po-sąlyga	„Console“ lange matomas kalibravimo progresas ir pranešimai.



2.5 pav. Peržiūrėti testų rezultatus veiklos diagrama

2-4 lentelė. PA 4 „Peržiūrėti testų rezultatus“

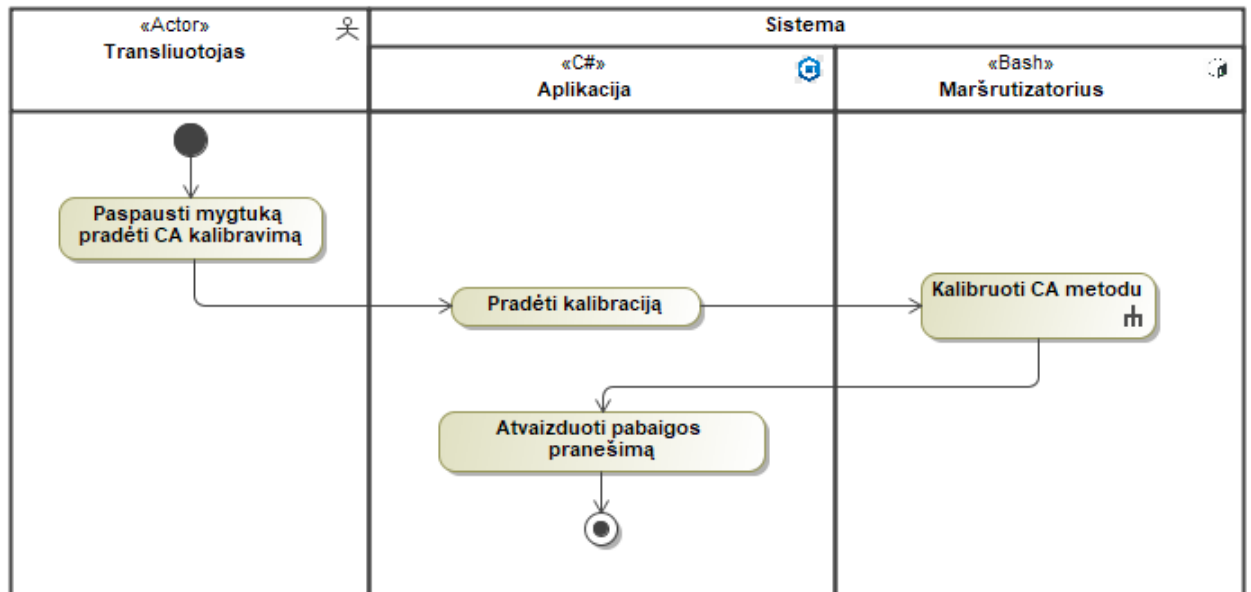
PA 4 Peržiūrėti testų rezultatus	
Tikslas/uždavinys:	Peržiūrėti pasirinkto LTE modemo paskutinio kalibravimo testų rezultatus.
Aprašymas:	Transliuotojas gali peržiūrėti paskutinio kalibravimo testų rezultatus.
Pagrindimas:	Transliuotojas gali peržiūrėti paskutinio kalibravimo metodų testavimų rezultatus, kad pats galėtų įvertinti ar naudojamas metodas tinkamas naudojimui, pagal tuo metu esamas sąlygas.
Aktorius:	Transliuotojas
Prieš-sąlyga:	Transliuotojas turėtų būti prisijungęs prie maršrutizatoriaus
Sužadinimo-sąlyga:	Transliuotojas turėtų paspausti „Read calibration results“ mygtuką.
Po-sąlyga	Kiekvieno metodo rezultatų lange, atvaizduojami paskutinio kalibravimo testų rezultatai.



2.6 pav. Inicijuoti „LB“ kalibravimą veiklos diagrama

2-5 lentelė. PA 5 „Inicijuoti „LB“ kalibravimą“

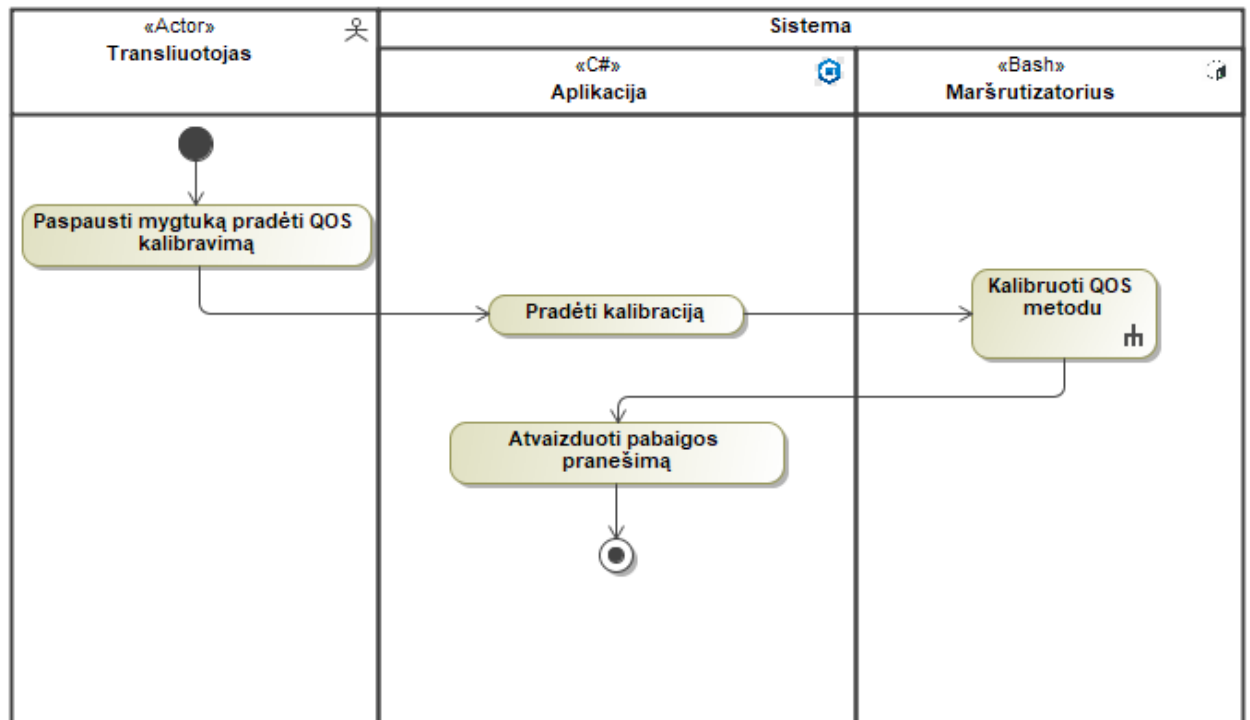
PA 5 Inicijuoti „LB“ kalibravimą	
Tikslas/uždavinys:	Paleisti „LB“ metodo kalibravimo procesą.
Aprašymas:	Naudojant aplikaciją, inicijuojamas „LB“ metodo paleidimas.
Pagrindimas:	Transliuotojas turi galimybę kalibruoti maršrutizatorių tik vienu iš aplikacijoje naudojamų metodų.
Aktorius:	Transliuotojas
Prieš-sąlyga:	Transliuotojas turi būti prisijungęs prie maršrutizatoriaus.
Sužadinimo-sąlyga:	Transliuotojas turėtų paspausti „Run LB method“ mygtuką.
Po-sąlyga	„Console“ lange matomas kalibravimo progresas, ir pranešimas apie kalibravimo pabaigą.



2.7 pav. Inicijuoti „CA“ kalibravimą veiklos diagrama

2-6 lentelė. PA 6 „Inicijuoti „CA“ kalibravimą“

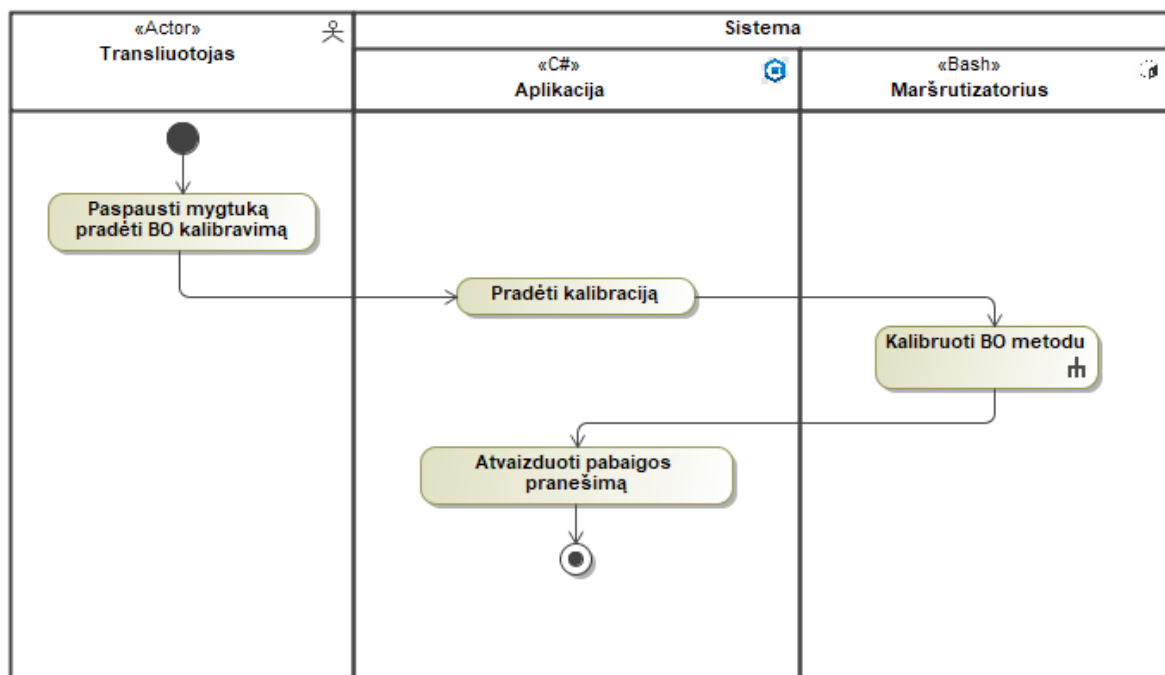
PA 6 Inicijuoti „CA“ kalibravimą	
Tikslas/uždavinys:	Paleisti „CA“ metodo kalibravimo procesą.
Aprašymas:	Naudojant aplikaciją inicijuojamas „CA“ metodo paleidimas.
Pagrindimas:	Transliuotojas turi galimybę kalibruoti maršrutizatorių tik vienu iš aplikacijoje naudojamų metodų.
Aktorius:	Transliuotojas
Prieš-sąlyga:	Transliuotojas turi būti prisijungęs prie maršrutizatoriaus ir pasirinkęs bent vieną iš prijungtų prie maršrutizatoriaus LTE modemų.
Sužadinimo-sąlyga:	Transliuotojas turėtų paspausti „Run CA method“ mygtuką.
Po-sąlyga	„Console“ lange matomas kalibravimo progresas, ir pranešimas apie kalibravimo pabaigą.



2.8 pav. Inicijuoti „QOS“ kalibravimą veiklos diagrama

2-7 lentelė. PA 7 „Inicijuoti „QOS“ kalibravimą“

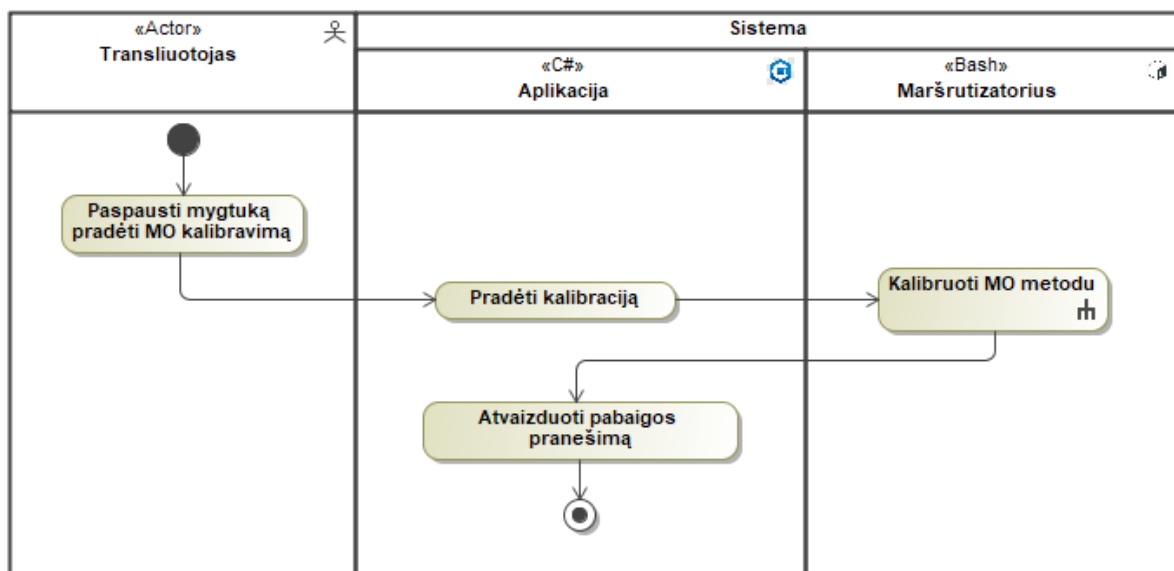
PA 7 Inicijuoti „QOS“ kalibravimą	
Tikslas/uždavinys:	Paleisti „LB“ metodo kalibravimo procesą.
Aprašymas:	Naudojant aplikaciją, inicijuojamas „QOS“ metodo paleidimas.
Pagrindimas:	Transliuotojas turi galimybę kalibruoti maršrutizatorių tik vienu iš aplikacijoje naudojamų metodų.
Aktorius:	Transliuotojas
Prieš-sąlyga:	Transliuotojas turi būti prisijungęs prie maršrutizatoriaus ir pasirinkęs, iš sąrašo, norimą greitaveiką arba videotransliacijos raišką.
Sužadinimo-sąlyga:	Transliuotojas turėtų paspausti „Run QOS method“ mygtuką.
Po-sąlyga	„Console“ lange matomas kalibravimo progresas, ir pranešimas apie kalibravimo pabaigą.



2.9 pav. Inicijuoti „BO“ kalibravimą veiklos diagrama

2-8 lentelė. PA 8 „Inicijuoti „BO“ kalibravimą“

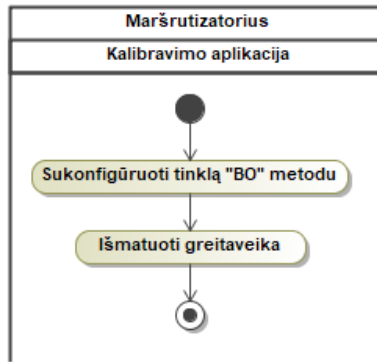
PA 8 Inicijuoti „BO“ kalibravimą	
Tikslas/uždavinys:	Paleisti „BO“ metodo kalibravimo procesą.
Aprašymas:	Naudojant aplikaciją inicijuojamas „BO“ metodo paleidimas.
Pagrindimas:	Transliuotojas turi galimybę kalibruoti maršrutizatorių tik vienu iš aplikacijoje naudojamų metodų.
Aktorius:	Transliuotojas
Prieš-sąlyga:	Transliuotojas turi būti prisijungęs prie maršrutizatoriaus. Prie maršrutizatoriaus turi būti prijungti ir sukonfigūruoti bent du LTE modemai.
Sužadinimo-sąlyga:	Transliuotojas turėtų paspausti „Run BO method“ mygtuką.
Po-sąlyga	„Console“ lange matomas kalibravimo progresas, ir pranešimas apie kalibravimo pabaigą.



2.10 pav. Inicijuoti „MO“ kalibravimą veiklos diagrama

2-9 lentelė. PA 9 „Inicijuoti „MO“ kalibravimą“

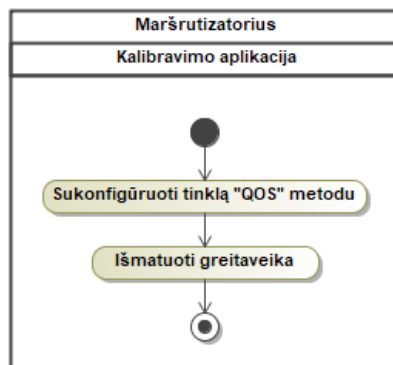
PA 9 Inicijuoti „MO“ kalibravimą	
Tikslas/uždavinys:	Paleisti „MO“ metodo kalibravimo procesą.
Aprašymas:	Naudojant aplikaciją inicijuojamas „MO“ metodo paleidimas.
Pagrindimas:	Transliuotojas turi galimybę kalibruoti maršrutizatorių tik vienu iš aplikacijoje naudojamų metodų.
Aktorius:	Transliuotojas
Prieš-sąlyga:	Transliuotojas turi būti prisijungęs prie maršrutizatoriaus. Prie maršrutizatoriaus turi būti prijungtas ir sukonfigūruotas bent vienas LTE modemas.
Sužadinimo-sąlyga:	Transliuotojas turėtų paspausti „Run MO method“ mygtuką.
Po-sąlyga	„Console“ lange matomas kalibravimo progresas, ir pranešimas apie kalibravimo pabaigą.



2.11 pav. Kalibruoti „BO“ metodu veiklos diagrama

2-10 lentelė. PA 10 „Kalibruoti „BO“ metodu“

PA 10 Kalibruoti „BO“ metodu	
Tikslas/uždavinys:	Sukalibruoti maršrutizatorių „BO“ metodu.
Aprašymas:	Atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.
Pagrindimas:	Metodas gali atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.
Aktorius:	Maršrutizatorius
Prieš-sąlyga:	Turi būti inicijuotas „BO“ metodo paleidimas.
Sužadinimo-sąlyga:	„BO“ metodo paleidimas iš kalibravimo aplikacijos.
Po-sąlyga	Pasibaigus maršrutizatoriaus kalibravimui „BO“ metodu, išjungiamas kitų kalibravimų blokavimas.

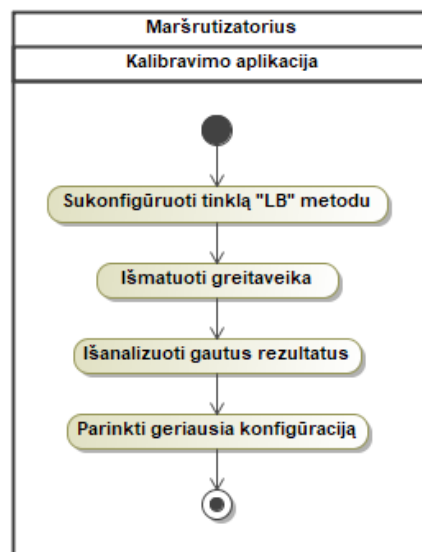


2.12 pav. Kalibruoti „QOS“ metodu veiklos diagrama

2-11 lentelė. PA 11 „Kalibruoti „QOS“ metodu“

PA 11 Kalibruoti „QOS“ metodu	
Tikslas/uždavinys:	Sukalibruoti maršrutizatorių „QOS“ metodu.
Aprašymas:	Atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.

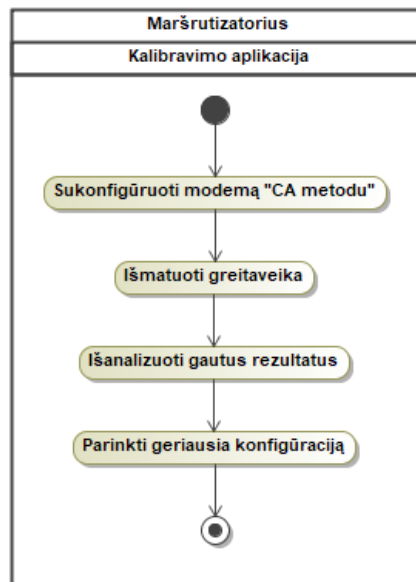
Pagrindimas:	Metodas gali atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.
Aktorius:	Maršrutizatorius
Prieš-sąlyga:	Turi būti inicijuotas „QOS“ metodo paleidimas.
Sužadinimo-sąlyga:	„QOS“ metodo paleidimas iš kalibravimo aplikacijos.
Po-sąlyga	Pasibaigia maršrutizatoriaus kalibravimas „QOS“ metodu, išjungiamas kitų kalibravimų blokavimas.



2.13 pav. Kalibruoti „LB“ metodu veiklos diagrama

2-12 lentelė. PA 12 „Kalibruoti „LB“ metodu“

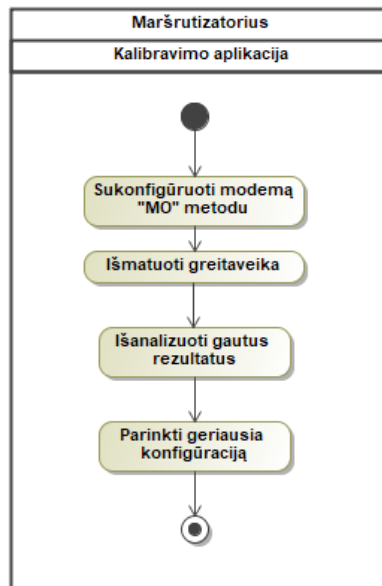
PA 12 Kalibruoti „LB“ metodu	
Tikslas/uždavinys:	Sukalibruoti maršrutizatorių „LB“ metodu.
Aprašymas:	Atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.
Pagrindimas:	Metodas gali atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.
Aktorius:	Maršrutizatorius
Prieš-sąlyga:	Turi būti inicijuotas „LB“ metodo paleidimas.
Sužadinimo-sąlyga:	„LB“ metodo paleidimas iš kalibravimo aplikacijos.
Po-sąlyga	Pasibaigia maršrutizatoriaus kalibravimas „LB“ metodu, išjungiamas kitų kalibravimų blokavimas.



2.14 pav. Kalibruoti „CA“ metodu veiklos diagrama

2-13 lentelė. PA 13 „Kalibruoti „CA“ metodu“

PA 13 Kalibruoti „CA“ metodu	
Tikslas/uždavinys:	Sukalibruoti maršrutizatorių „CA“ metodu.
Aprašymas:	Atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.
Pagrindimas:	Metodas gali atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.
Aktorius:	Maršrutizatorius
Prieš-sąlyga:	Turi būti inicijuotas „CA“ metodo paleidimas.
Sužadinimo-sąlyga:	„CA“ metodo paleidimas iš kalibravimo aplikacijos.
Po-sąlyga	Pasibaigia maršrutizatoriaus kalibravimas „CA“ metodu, išjungiamas kitų kalibravimų blokavimas.



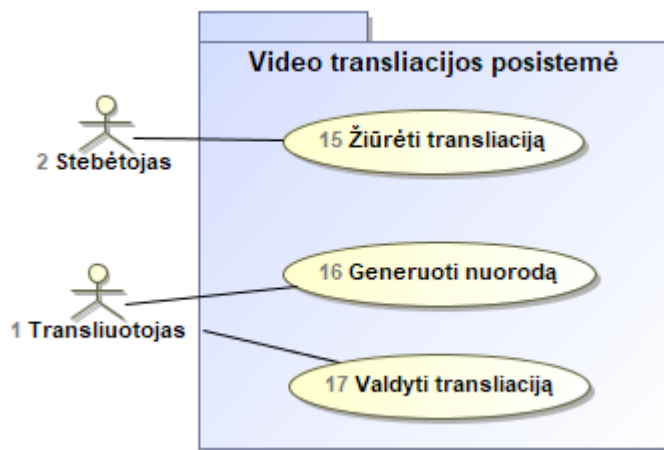
2.15 pav. Kalibruoti „MO“ metodu veiklos diagrama

2-14 lentelė. PA 14 „Kalibruoti „MO“ metodu“

PA 14 Kalibruoti „MO“ metodu	
Tikslas/uždavinys:	Sukalibruoti maršrutizatorių „MO“ metodu.
Aprašymas:	Atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.
Pagrindimas:	Metodas gali atlikti kalibravimo veiksmus pagal numatytą kalibravimo metodą.
Aktorius:	Maršrutizatorius
Prieš-sąlyga:	Turi būti inicijuotas „MO“ metodo paleidimas.
Sužadavimo-sąlyga:	„MO“ metodo paleidimas iš kalibravimo aplikacijos.
Po-sąlyga	Pasibaigia maršrutizatoriaus kalibravimas „MO“ metodu, išjungiamas kitų kalibravimų blokavimas.

2.1.2. Videotransliacijos posistemė

Videotransliacijos posistemė yra demonstracinė, skirta mobiliojo ryšio kanalų apjungimo metodo realizacijos taikymui pademonstruoti. Šioje posistemėje išskirti 2 aktoriai – transliuotojas ir stebėtojas. Stebėtojas taip pat gali ir žiūrėti transliaciją. Tuo tarpu transliuotojas gali atlikti daugiau veiksmų: generuoti nuorodą į transliaciją ir valdyti transliaciją. Videotransliacijos posistemės panaudojimo atvejai pateikti 2.16 pav.



2.16 pav. Videotransliacijos posistemės panaudojimo atvejai

Buvo nustatyta, kad visus videotransliacijos posistemėi keliamus reikalavimus išpildo „YouTube“ vaizdo stebėjimo ir transliavimo platforma. Projekto demonstracijai nuspręsta naudoti „YouTube“, todėl videotransliacijos posistemės projektas nėra pateikiamas.

2.2. Nefunkcinių reikalavimų specifikacija

2.2.1. Kalibravimo posistemės nefunkcinių reikalavimų specifikacija

Kalibravimo posistemėi keliami šie nefunkciniai reikalavimai:

1. Kalibravimo aplikacija turi palaikyti visas, naujesnes nei Windows 7 OS versijas;
2. Kalibravimo metu privalo būti atvaizduojama proceso eiga;
3. Naudojamas maršrutizatorius turi palaikyti WiFi;
4. Kalibravimo aplikacijos naudotojo sąsaja turi būti anglų kalba;
5. Kalibravimo metodo paleidimas neturi viršyti 3 žingsnių.

2.2.2. Videotransliacijos posistemės nefunkcinių reikalavimų specifikacija

Videotransliacijos posistemėi keliami šie nefunkciniai reikalavimai:

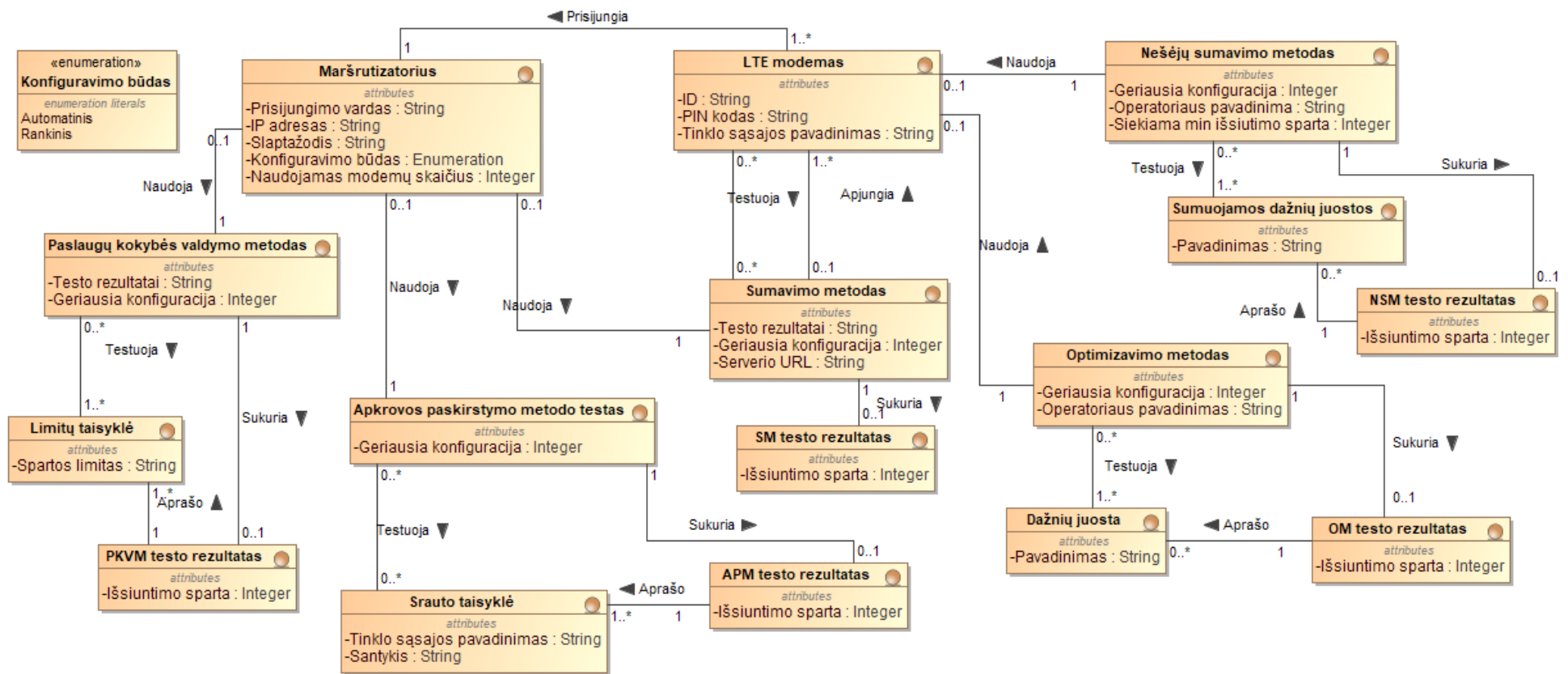
1. Sistemos naudotojo sąsaja turi būti anglų kalba;
2. Transliacija galima stebėti „Firefox“ arba „Chrome“ žiniatinkliuose;
3. Stebėti videotransliacijai nereikalinga papildoma registracija;
4. Naudotojas gali pats keisti stebimo vaizdo įrašo raišką.

2.3. Dalykinės srities modelis

Kalibravimo posistemėje pagrindinė esybė yra maršrutizatorius. Kiekvienas maršrutizatorius turi prisijungimo vardą, slaptažodį, naudojamų LTE modemų skaičių ir savo unikalų IP adresą. Tinkamai konfigūracijai nustatyti, atliekami kiekvieno metodo kalibravimo testai. Prieš paleidžiant automatinę testavimą, sistemos naudotojas turi nurodyti, kokią spartą arba videotransliacijos raišką numatoma pasiekti. Keletas metodų valdomi per konfigūracijos failus, kiti tiesiogiai iš kalibravimo posistemės. Optimizavimo metodas, nešėjų sumavimo metodas ir sumavimo metodas, naudoja LTE modemo esybę, o paslaugų kokybės valdymo ir apkrovos paskirstymo valdymo metodai naudoja maršrutizatoriaus esybę. Optimizavimo metode testuojama viena LTE modemo dažnių juosta, vienu metu. Nešėjų sumavimo metodas taip pat testuoja LTE modemų dažnius, tačiau ten testuojama sumuota, dviejų LTE dažnių sparta. Sumavimo metodas sujungia mobiliuosius kanalus ir greitaveiką testuoja ne atskirai kiekvieno modemo kanalo, o gaunama sumuota. Apkrovos paskirstymo metodas testuoja iš anksto paruoštas ir įkeltas konfigūracijas, kurių pagrindinė esybė yra srauto taisyklės, šias

taisykles nusako santykis. Paslaugų kokybės valdymo metodas testuoja iš anksto paruoštas ir įkeltas konfigūracijas, kurių pagrindinė esybė yra limitų taisyklė. Kiekvienas metodas, testo metu, sukuria savo kalibravimo metodo rezultatų failą, kuriame saugoma mobiliųjų duomenų greitaveika, gauta atliekant testus.

Informacinės sistemos esybių klasių diagrama pavaizduota **2.17 pav.**

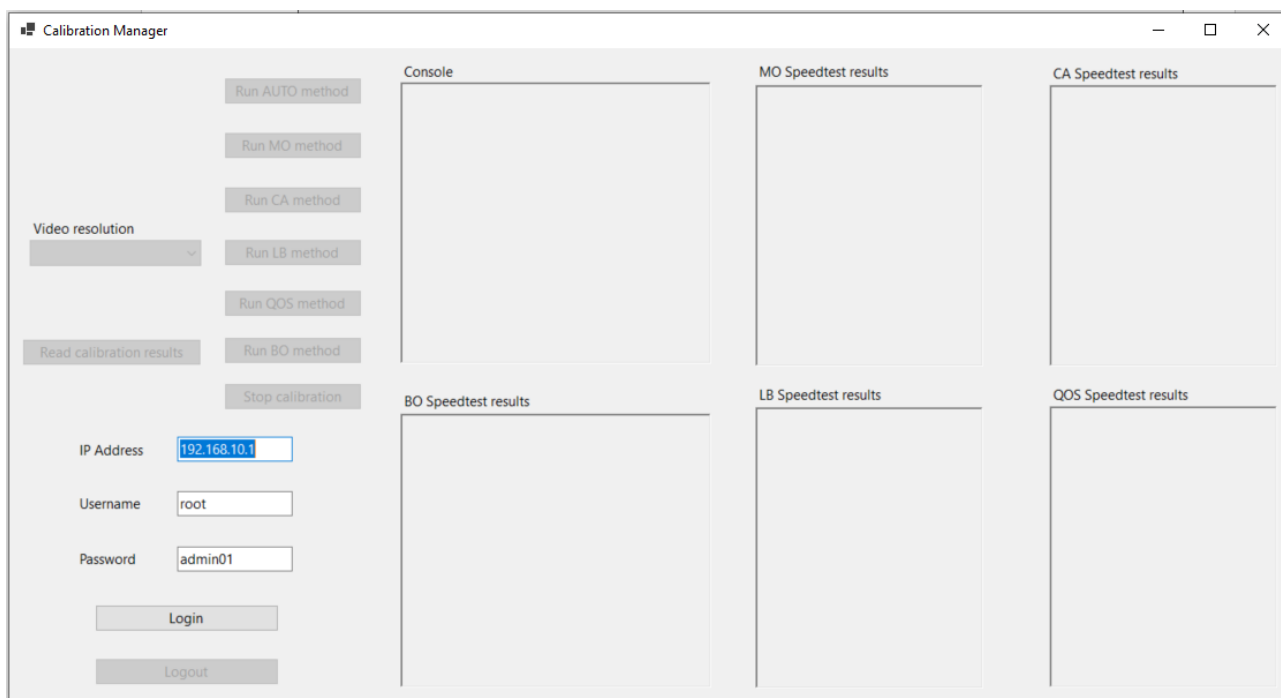


2.17 pav. Informacinės sistemos esybių klasių diagrama

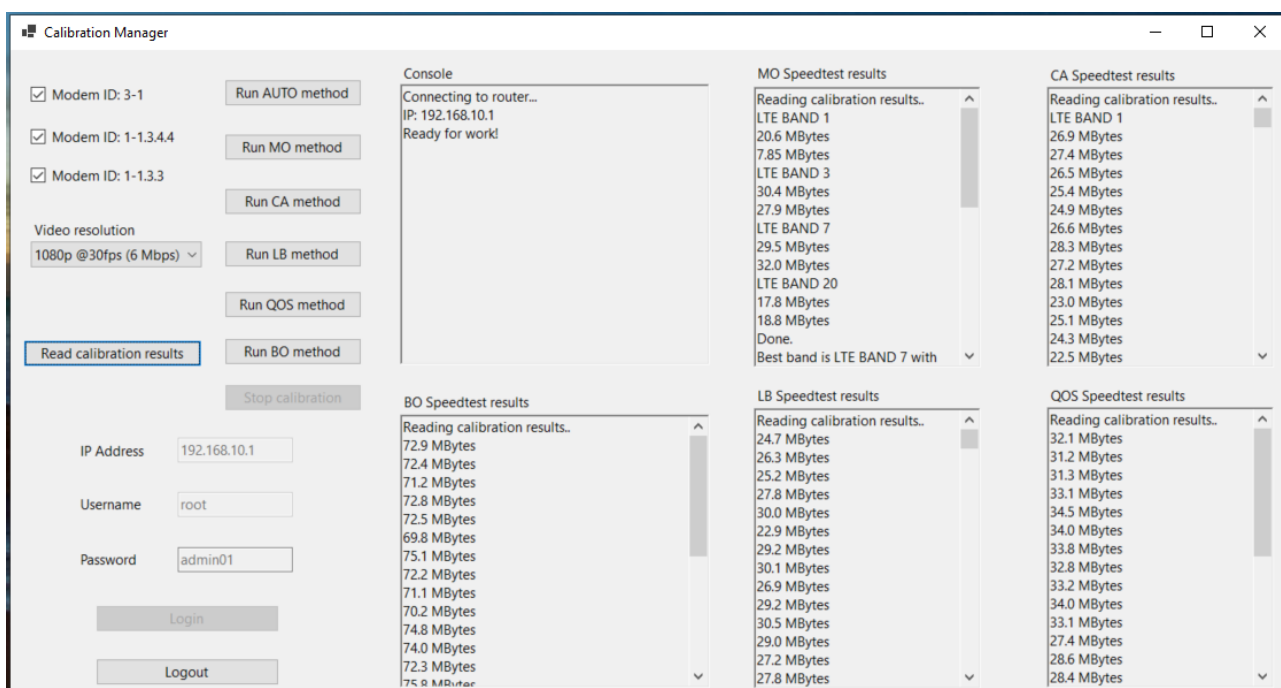
2.4. Naudotojų sąsajos modelis

2.4.1. Sąsajos eskizai

Transliuotojo rolę turintis naudotojas, prie sistemos galės prisijungti naudojant kalibravimo aplikaciją. Jos pagalba, galima paleisti maršrutizatoriaus spartos padidrinimo kalibravimo metodus. Žiniatinklio pagalba transliuotojas galės prisijungti prie „YouTube“ platformos, kur galės pradėti gyvąją videotransliaciją, o sugeneravus transliacijos nuorodą, ją pasidalinti su stebėtojais. Kalibravimo aplikacijos naudotojo sąsajos modeliai pateiktas 2.18 pav. 2.19 pav.



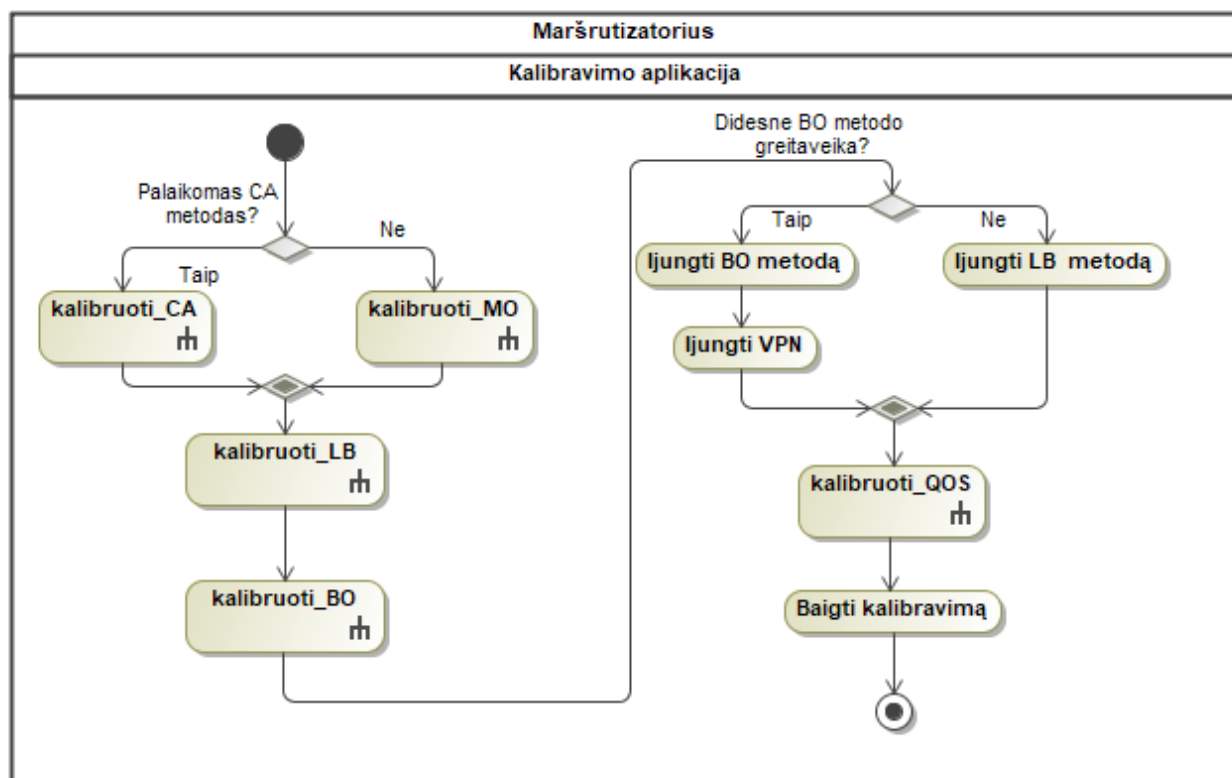
2.18 pav. Kalibravimo aplikacijos naudotojo sąsajos modelis Nr. 1



2.19 pav. Kalibravimo aplikacijos naudotojo sąsajos modelis Nr. 2

2.5. Formalizuotas sprendimo aprašas

Šiame darbe sprendžiama problema yra gyvosios videotransliacijos galimai nepakankamas mobiliojo ryšio greitis. Darbo tikslas pasiekti gyvosios videotransliacijos pakankamą mobiliojo ryšio spartą, taikant ryšio kanalų spartos didinimo metodus. Tam buvo sukurtas penkis esamus metodus, skirtus ryšio kanalų spartai padidinti, sujungiantis autorinis metodas, kurio konceptuali schema pavaizduota 2.20 pav.



2.20 pav. Automatinio kalibravimo veiklos diagrama

2.20 pav. pateiktas metodas apjungia mobilaus tinklo optimizavimo, nešėjų sumavimo, apkrovos paskirstymo, sujungimo (angl. *bonding*) ir paslaugų kokybės valdymo (angl. *QoS*) metodus. Apjungiant, anksčiau paminėtus, atskirus metodus, sukonfigūruojamas maršrutizatorius, siekiant, kiek įmanoma, geresnės ryšio greitaveikos, konkrečiomis sąlygomis.

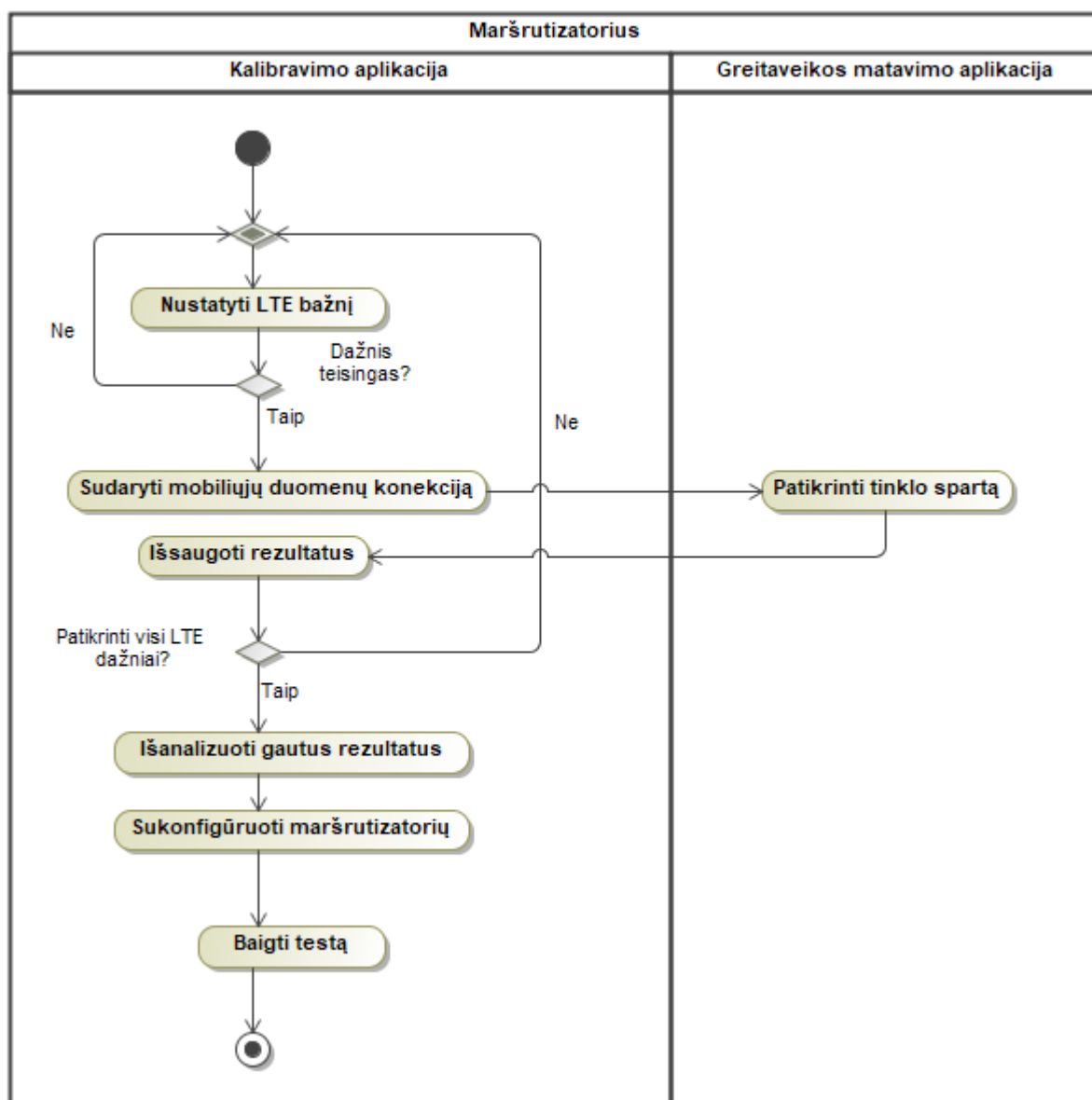
Maršrutizatorius automatinį konfigūravimą žr. 2.20 pav. pradeda nustatant kokio tipo LTE modemas prijungtas. LTE CAT4 kategoriją turintiems modemams, naudojamas mobilaus tinklo optimizavimo „MO“ metodas, o LTE CAT6 kategoriją turintiems modemams, naudojamas nešėjų sumavimo „CA“ metodas. Konfigūravimo metu, atliekami greitaveikos matavimai kiekvienoje, LTE modemo palaikomoje, dažnių juostoje. Gavus rezultatus, išvedamas greitaveikos vidurkis, kiekvienoje dažnių juostoje. Vidurkiai tarpusavyje palyginami ir geriausią vidurkį turinti dažnio juosta parenkama kaip geriausia. Tokiu būdu sukonfigūruojami visi prie maršrutizatoriaus prijungti LTE modemai.

Po to prasideda tinko konfigūravimas. Pirmiausia pritaikomas apkrovos paskirstymo „LB“ metodas, kuris patikrina, kokiais, iš anksto numatytais ryšio kanalų santykiais, gaunama didžiausia bendroji greitaveika. Kiekvienos testuotos, ryšio kanalų santykių konfigūracijos, greitaveikos rezultatai išsaugojami ir išvedami vidurkiai. Po „LB“ konfigūravimo, prasideda sumavimo „BO“ metodo konfigūravimas. Priešingai nei „LB“ metodas, šis naudoja visus mobiliųjų duomenų kanalus, vienu metu. Sukonfigūravus maršrutizatorių „BO“ metodu patikrinama greitaveika ir taip pat išvedamas greitaveikos vidurkis. Po to atliekama abiejų metodų („LB“ ir „BO“) vidurkių analizė. Tikrinama,

kuris metodas pasiekė didesnę išsiunčiamų duomenų spartą. Atsižvelgus į rezultatus sukonfigūruojamas maršrutizatorius.

Galiausiai pritaikomas paslaugos kokybės valdymo „QOS“ metodas. Kiekvienam mobiliųjų duomenų kanalui uždedamas greitaveikos limitas, kuris suteikia stabilumo greitaveikai, taip užtikrinant pakankamą duomenų srautą pasirinktai gyvosios videotransliacijos raiškai pasiekti, tuo atveju jei ryšio kanalas apkraunamas kitomis komunikacijomis.

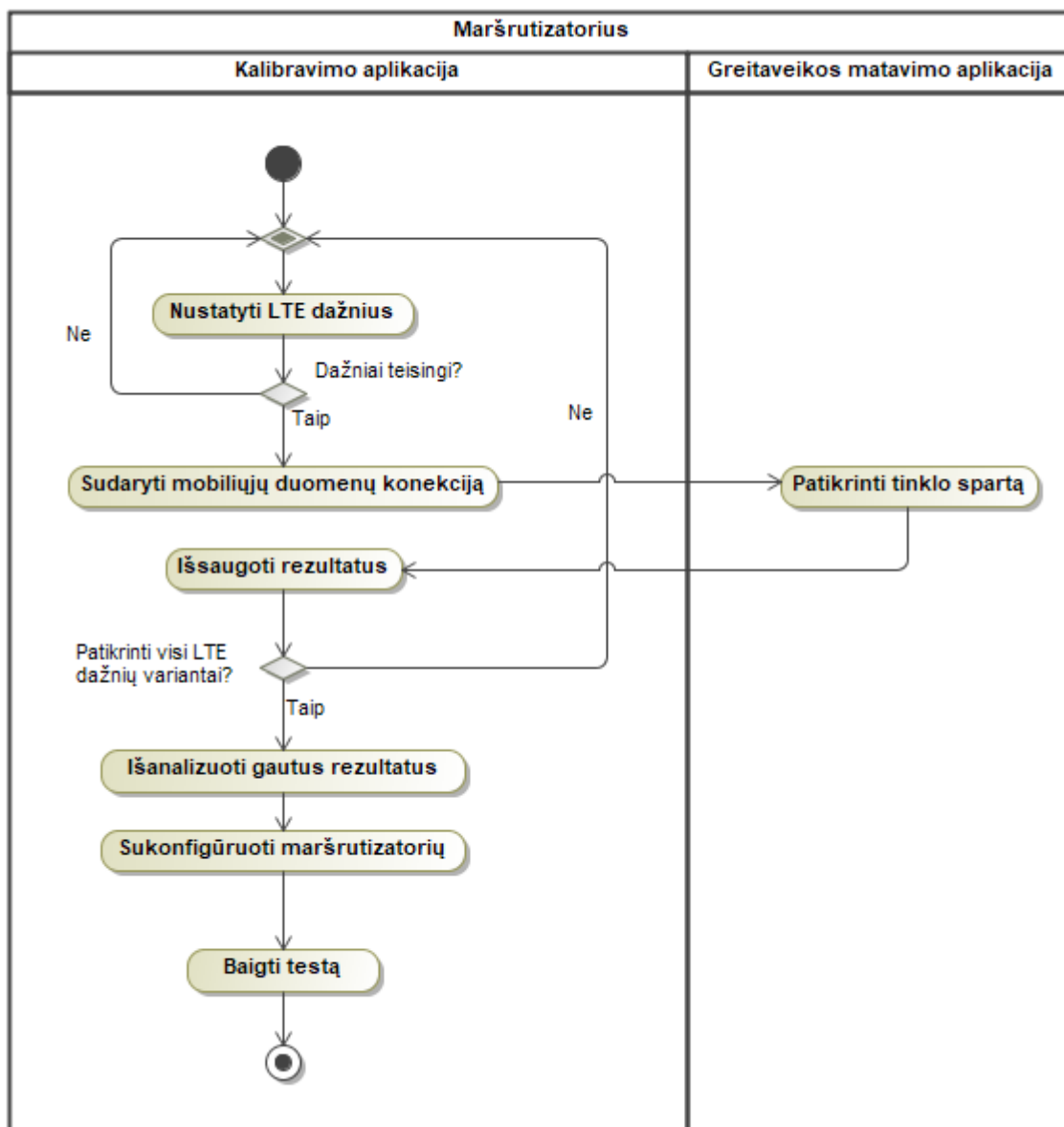
Toliau pateikiami kiekvieno iš individualių metodų konfigūravimo algoritmai. Mobilaus tinklo optimizavimo metodo konfigūravimo algoritmas pateikiamas **2.21 pav.**



2.21 pav. Mobilaus tinklo optimizavimo „MO“ metodo konfigūravimo veiklos diagrama

Nustatomas pirmasis LTE dažnis, įsitikinus, kad LTE modemas prisijungė prie teisingos dažnio juostos, sujungiamas duomenų kanalas. Tada tikrinama greitaveika ir išsaugomas rezultatas. Sekantis žingsnis - patikrinti ar čia buvo paskutinis LTE dažnis iš sąrašo. Jeigu ne, nustatoma nauja dažnio juosta ir žingsniai atliekami iš naujo tol, kol pasiekama paskutinė dažnio juosta. Patikrinus paskutinės dažnio juostos spartą, prasideda duomenų analizė. Išvedami greitaveikų vidurkiai ir ieškomas didžiausią greitaveiką turintis dažnis. LTE modemui iš naujo nustatomas gautas dažnis ir mobilaus tinklo optimizavimo „MO“ metodas baigiamas.

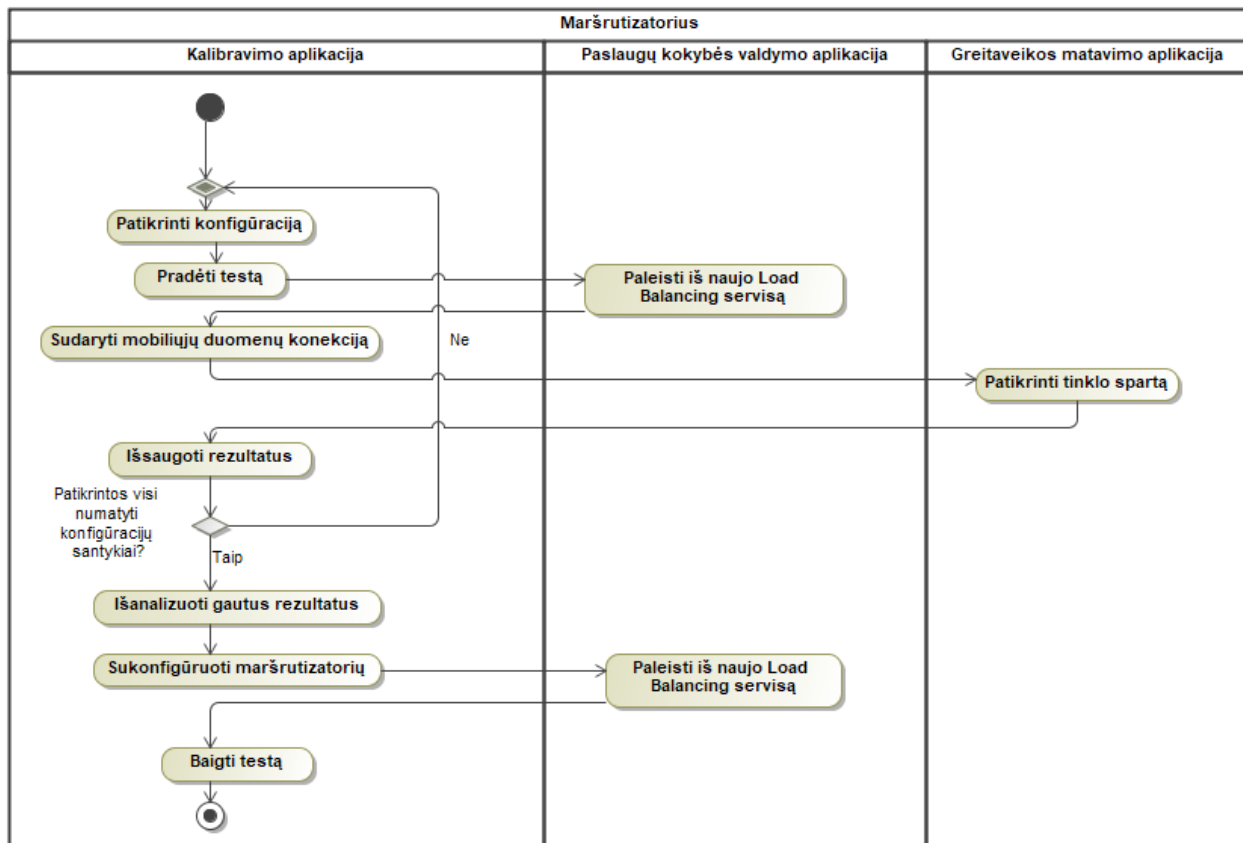
Nešėjų sumavimo „CA“ metodo konfigūravimo algoritmas pateikiamas 2.22 pav.



2.22 pav. Nešėjų sumavimo „CA“ metodo konfigūravimo veiklos diagrama

LTE modemui nustatoma pirma dažnio juostų kombinacija. Įsitikinus, kad modemai prisijungė prie nustatytų dažnio juostų, tikrinamas išsiunčiamų duomenų greitis. Išsaugojami kiekvienos kombinacijos gauti rezultatai. Po greitaveikos testų analizuojami rezultatai: išvedami kiekvienos dažnio juostų kombinacijos greitaveikų vidurkiai ir palyginami tarpusavyje. Iš naujo LTE modemui nustatoma, geriausią greitaveikos vidurkį turėjusi, dažnio juostų kombinacija.

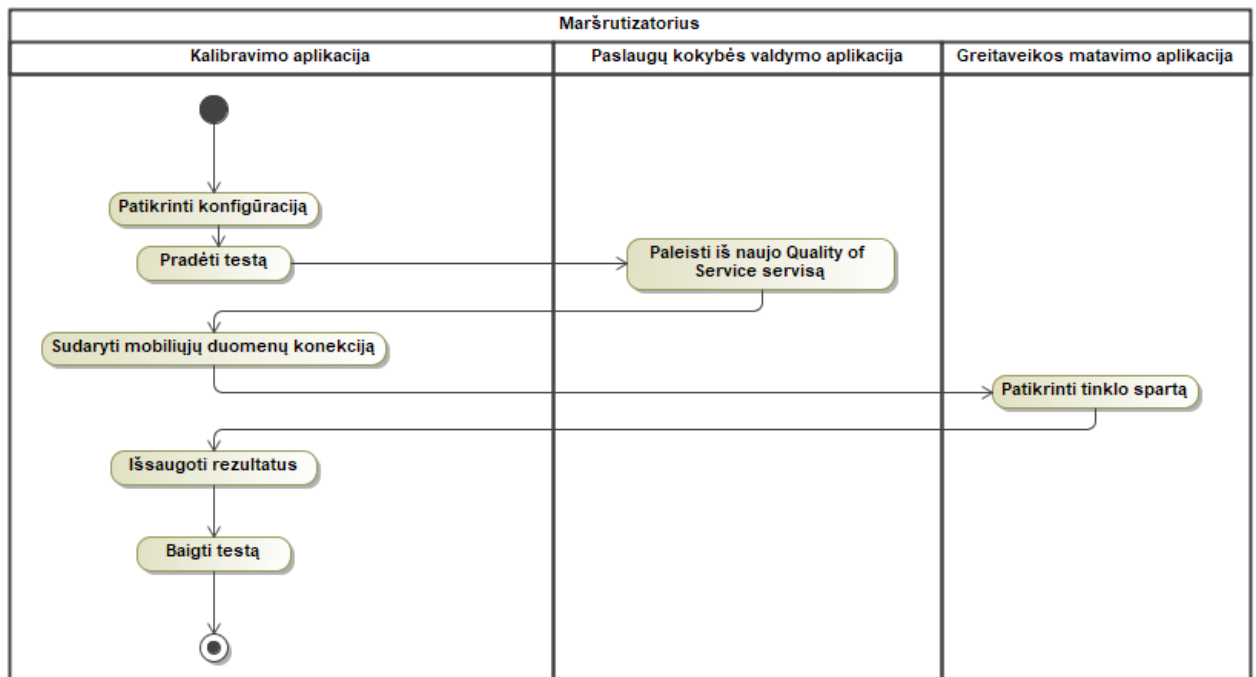
Apkrovos paskirstymo „LB“ konfigūravimo algoritmas pateikiamas 2.23 pav.



2.23 pav. Apkrovos paskirstymo „LB“ metodo konfigūravimo veiklos diagrama

Metodas prasideda mobiliųjų ryšių kanalų santykių nustatymu. Iš naujo paleidžiamas apkrovos paskirstymo servisas ir įsitikinama, kad visi prijungti LTE modemai įsijungė mobiliuosius duomenų kanalus. Tada leidžiamas greitaveikos matavimo testas ir išsaugojami gauti rezultatai. Taip, patikrinus visas, iš anksto numatytas, apkrovos paskirstymo konfigūracijas, pradedama gautų rezultatų analizė. Kiekvienai konfigūracijai išvedamas išsiunčiamų duomenų spartos vidurkis, kurie vėliau palyginami tarpusavyje. Nustatoma geriausią vidurkį turinti santykių konfigūracija ir apkrovos paskirstymo servisas paleidžiamas iš naujo, taip užbaigiamas konfigūravimo metodas.

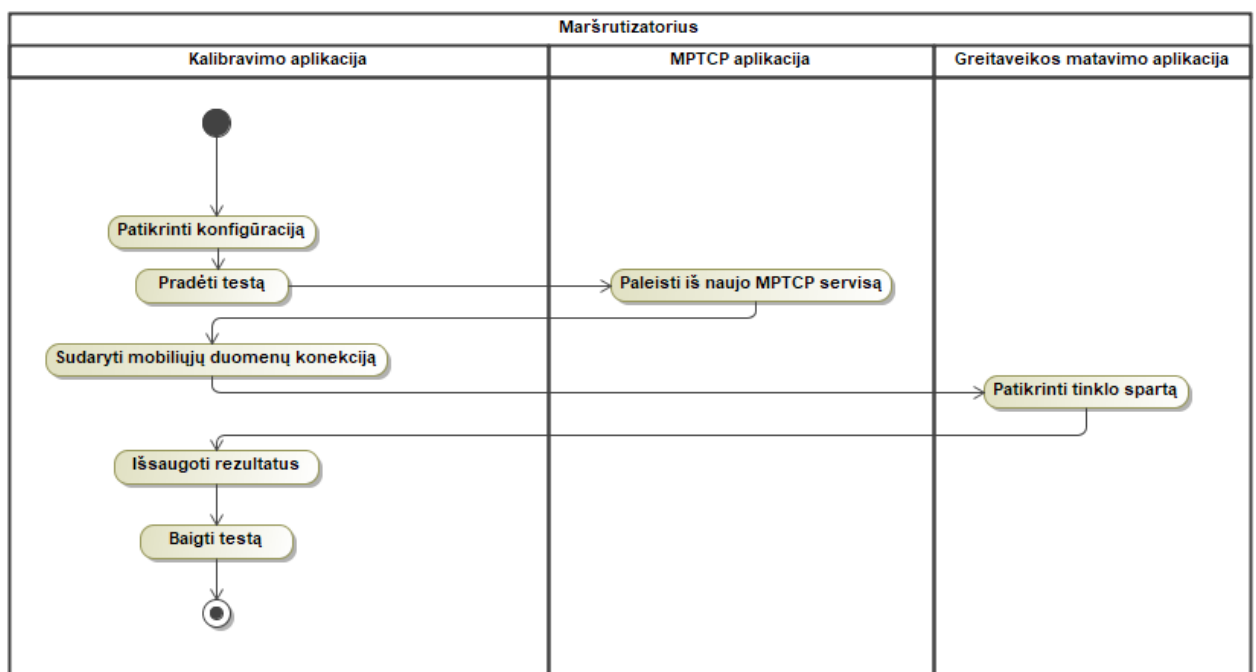
Paslaugų kokybės valdymo „QOS“ metodo konfigūravimo algoritmas pateikiamas 2.24 pav.



2.24 pav. Paslaugų kokybės valdymo „QOS“ metodo konfigūravimo veiklos diagrama

Kiekvienam mobiliojo ryšio kanalui uždedamas, naudotojo pasirinktas, duomenų spartos arba videotransliacijos, raiškos limitas. Iš naujo paleidžiamas paslaugų kokybės valdymo servisas. Atliekamas greitaveikos matavimas ir išsaugojami rezultatai. Šis metodas gautų rezultatų neanalizuoja, nes galima tik viena metodo konfigūracija, todėl ties šiuo žingsniu paslaugų kokybės valdymo metodas pasibaigia.

Sumavimo „BO“ metodo konfigūravimo algoritmas pateikiamas 2.25 pav.



2.25 pav. Sumavimo metodo „BO“ konfigūravimo veiklos diagrama

Sumavimo metodas turi tik vieną galimą konfigūraciją. Pirmiausia nustatoma metodo konfigūracija ir servisas, iš naujo paleidžiamas MPTCP servisas. Tada, matavimo testo pagalba, tikrinama greitaveika ir išsaugojami rezultatai. Ties šiuo žingsniu baigiasi sumavimo metodo konfigūravimas.

2.6. Reikalavimų apibendrinimas ir išvados

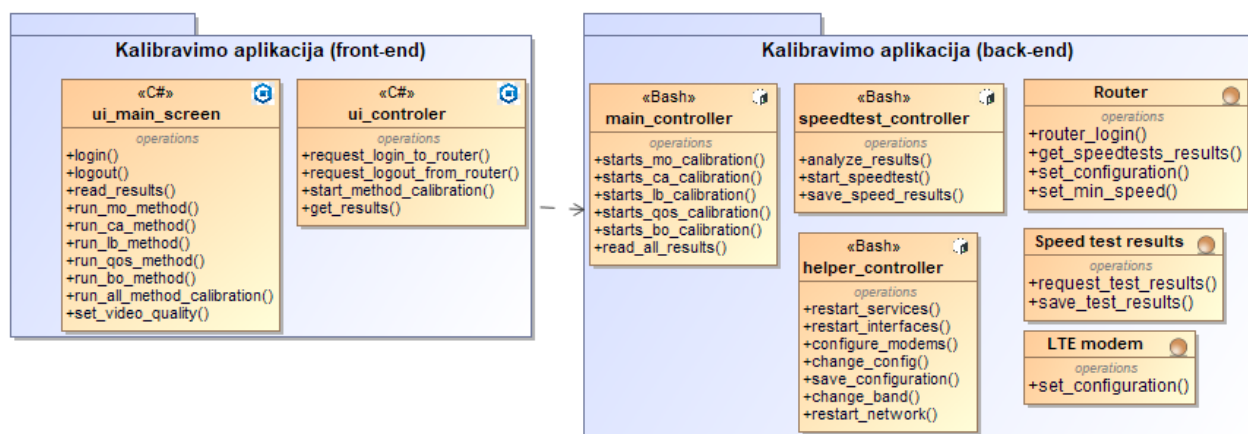
- Informacinė sistema sudaryta iš dviejų didelių posistemių – testavimo ir videotransliacijos posistemės.
- Sumodeliavus panaudojimo atvejus, išskirti du pagrindiniai aktoriai – Transliuotojas ir Stebėtojas.
- Kalibravimo / testavimo posistemę naudoja tik „Transliuotojas“, šiai posistemei sumodeliuoti keturiolika panaudojimo atvejų.
- Videotransliacijos posistemę naudos du aktoriai, šiai posistemei sumodeliuota trys panaudojimo atvejai.
- Demonstracinei videotransliacijos sistemai bus naudojama „YouTube“ video-transliavimo ir stebėjimo platforma.
- Kalibravimo posistemės automatinis konfigūravimas įtraukia penkis, ankščiau analizuotus, spartos didinimo metodus, taip išgaudamas didžiausią mobiliųjų duomenų greitaveiką.

3. Demonstracinė videotransliacijos sistemos eksperimentinės realizacijos projektas

Projektuojama informacinė sistema susidaro iš dviejų pagrindinių posistemų - kalibravimo ir video-transliavimo. Atlikus video-transliavimo posistemės reikalavimų analizę, buvo nustatyta, kad „YouTube“ platforma puikiai atitinka keliamus reikalavimus ir demonstracijai šios platformos pakaks. Todėl video-transliavimo posistemės realizacijos projektas nebus daromas. Žemiau pateikta kalibravimo posistemės loginė architektūra ir sekų diagramos. Projekto realizacijos modelyje pateikta komponentų ir diegimo diagramos.

3.1. Sistemos loginė architektūra

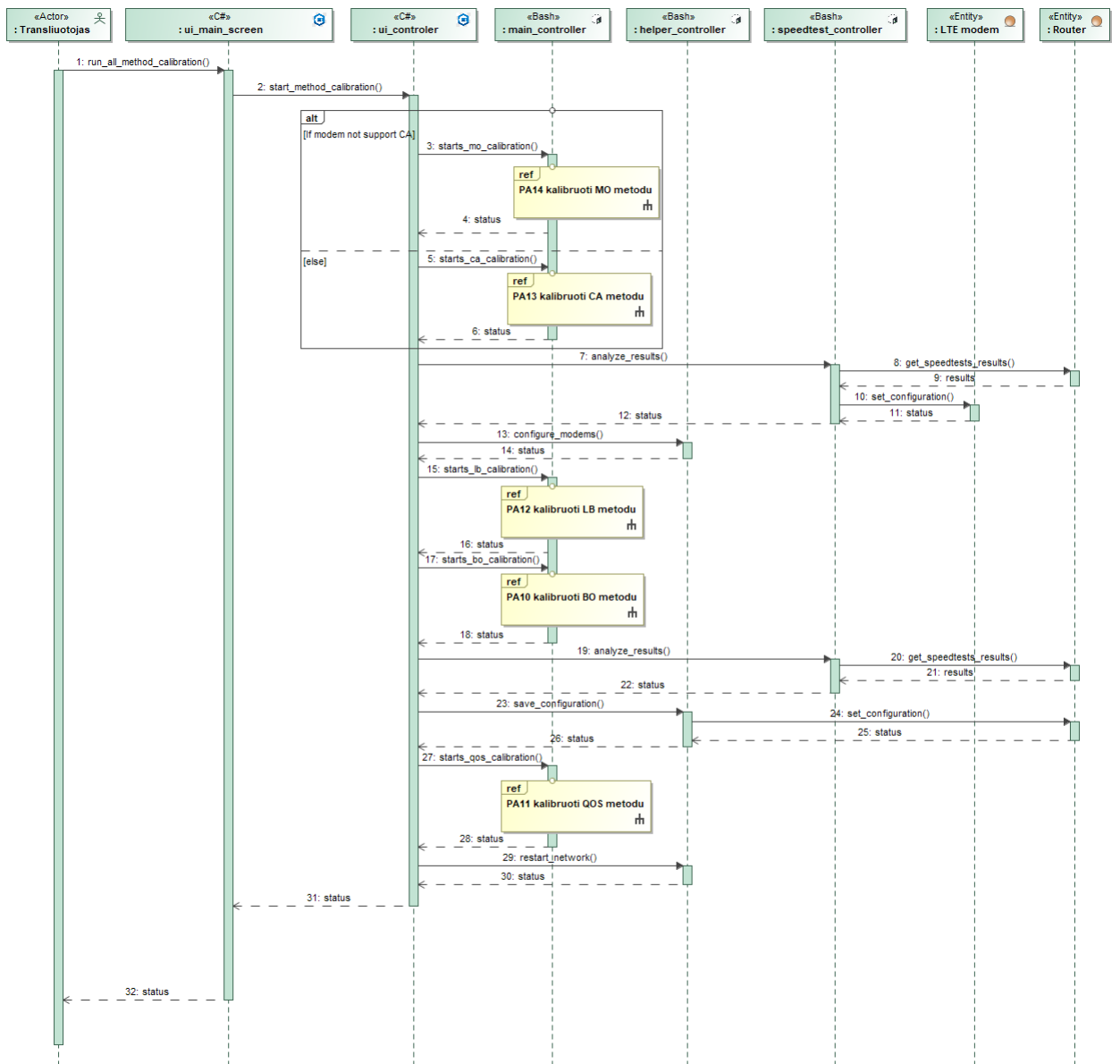
Loginės architektūros modelį sudaro 3 pagrindinės dalys: šablonai, valdikliai ir esybės. Šablonuose naudojamos funkcijos yra prisijungimas prie maršrutizatoriaus, spartos metodų kvietimas ir rezultatų atvaizdavimas. Realizacijai pasirinkta „.NET“ karkasas ir „C#“ programavimo kalba. Kontrolerio pagrindinės funkcijos parašytos dvejomis programavimo kalbomis, „Bash“ ir „C#“. Vartotojo sąsajos valdiklis siunčia užklausas į maršrutizatoriaus kontrolerį ir kviečia atitinkamas funkcijas. Maršrutizatoriaus kontroleris gavęs užklausas jas vykdo. Pagrindinės kalibravimo posistemės esybės yra greitaveikos rezultatai, LTE modemai ir maršrutizatorius. Kalibravimo posistemės loginė schema pateikta **3.1 pav.**



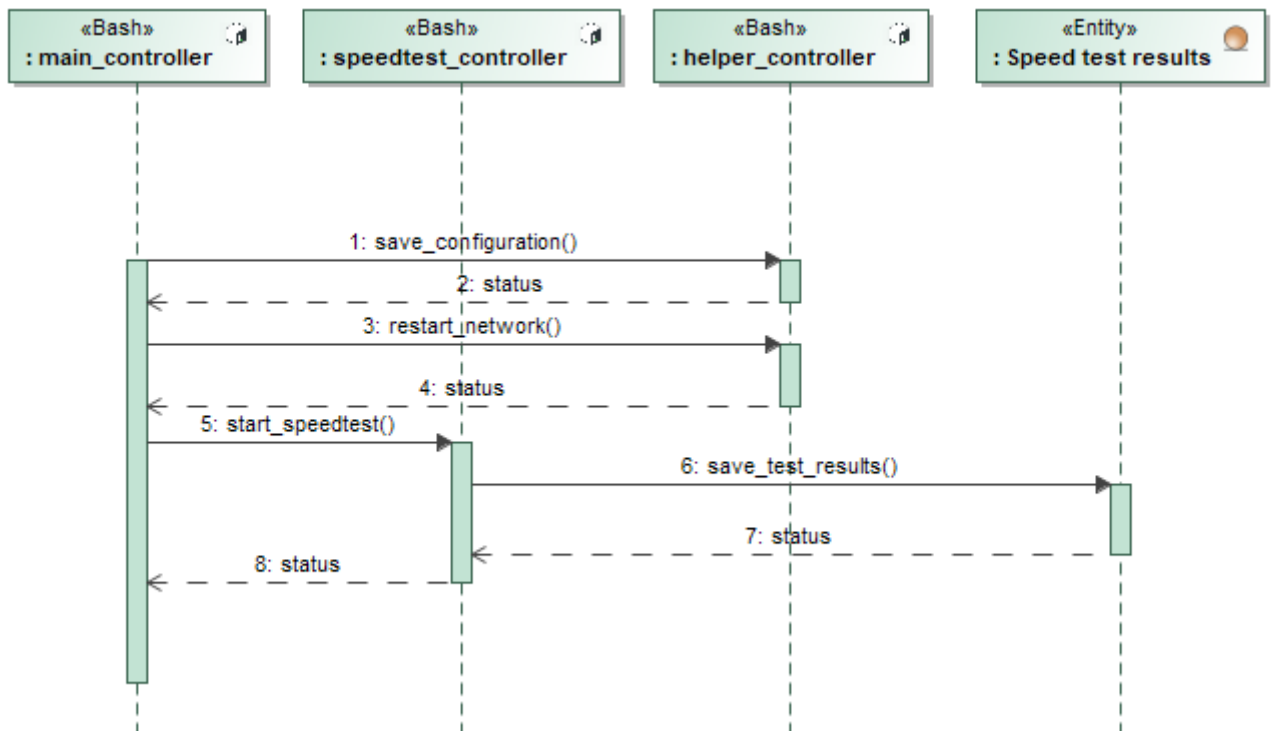
3.1 pav. Kalibravimo posistemės loginė architektūra

3.2. Kalibravimo posistemės sekų diagramos

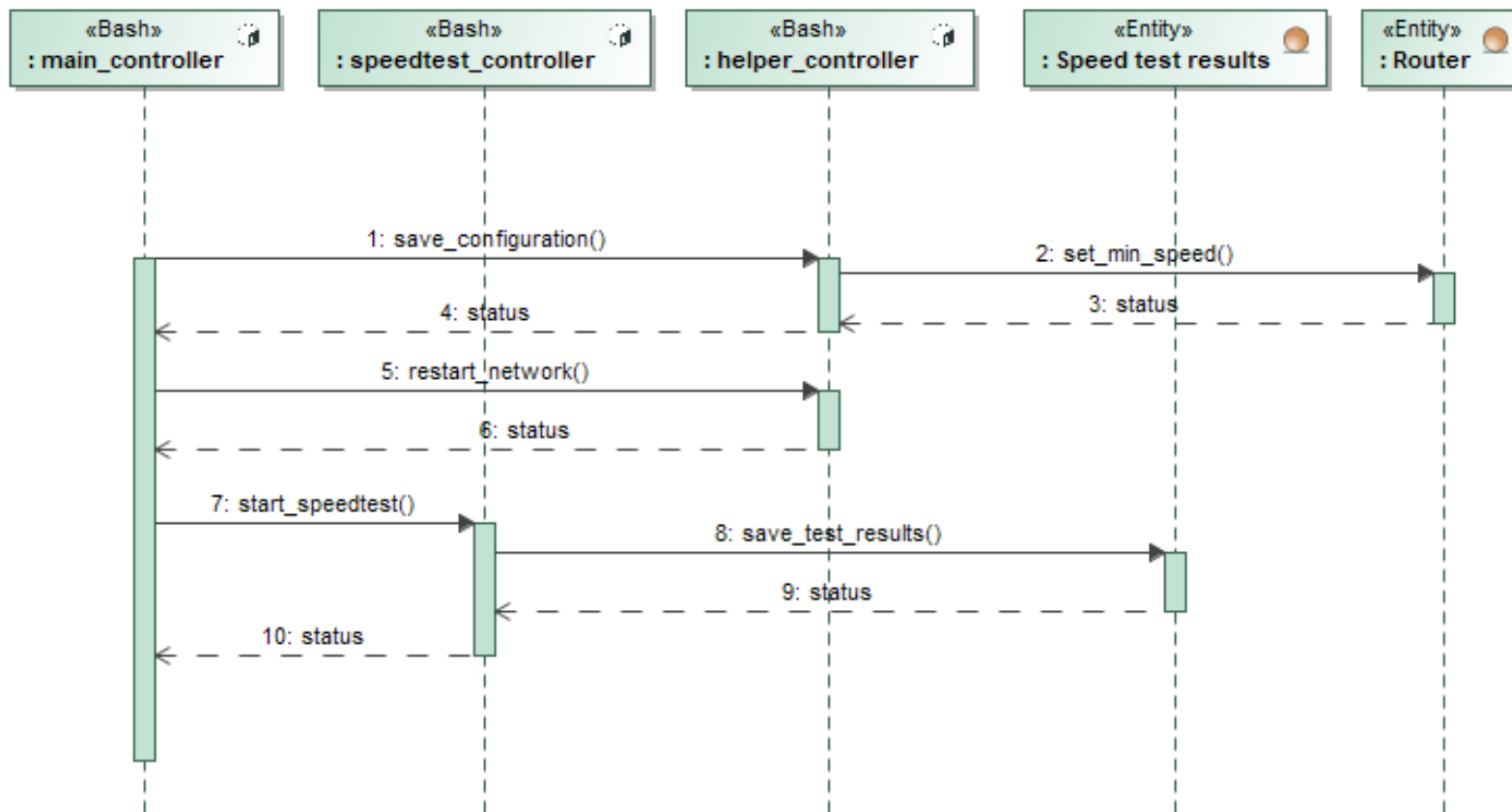
Šiame skyriuje pateikiama autorinė automatinio kalibravimo metodo sekų diagrama **3.2 pav.** Taip pat pateikiamos sumavimo metodo **3.3 pav.**, paslaugų kokybės valdymo **3.4 pav.**, apkrovos paskirstymo metodo **3.5 pav.**, nešėjų sumavimo metodo **3.6 pav.**, mobilaus tinklo optimizavimo metodo **3.7 pav.**, sekų diagramos.



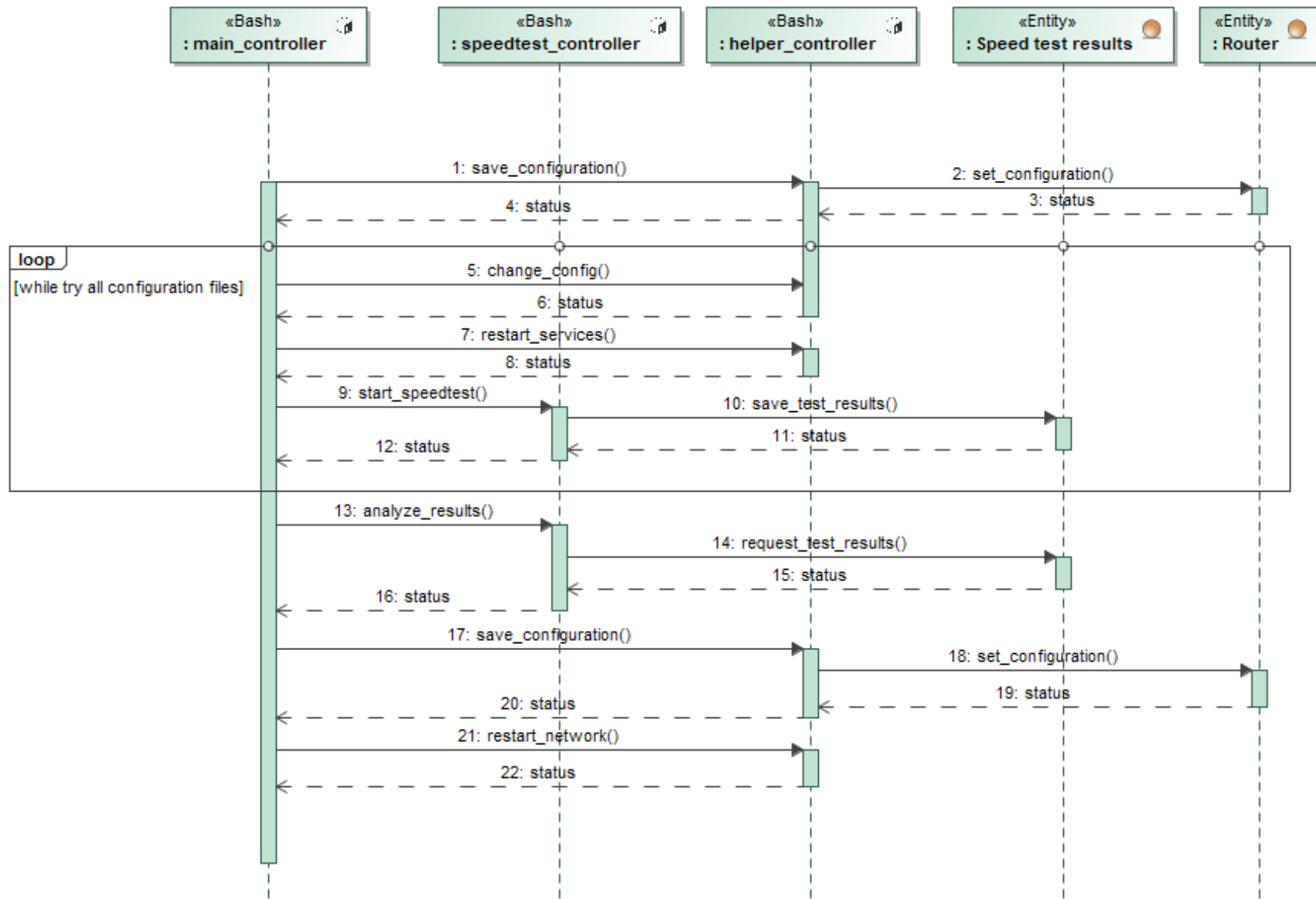
3.2 pav. PA 03 "Paleisti automatinį konfigūravimą" sekų diagrama



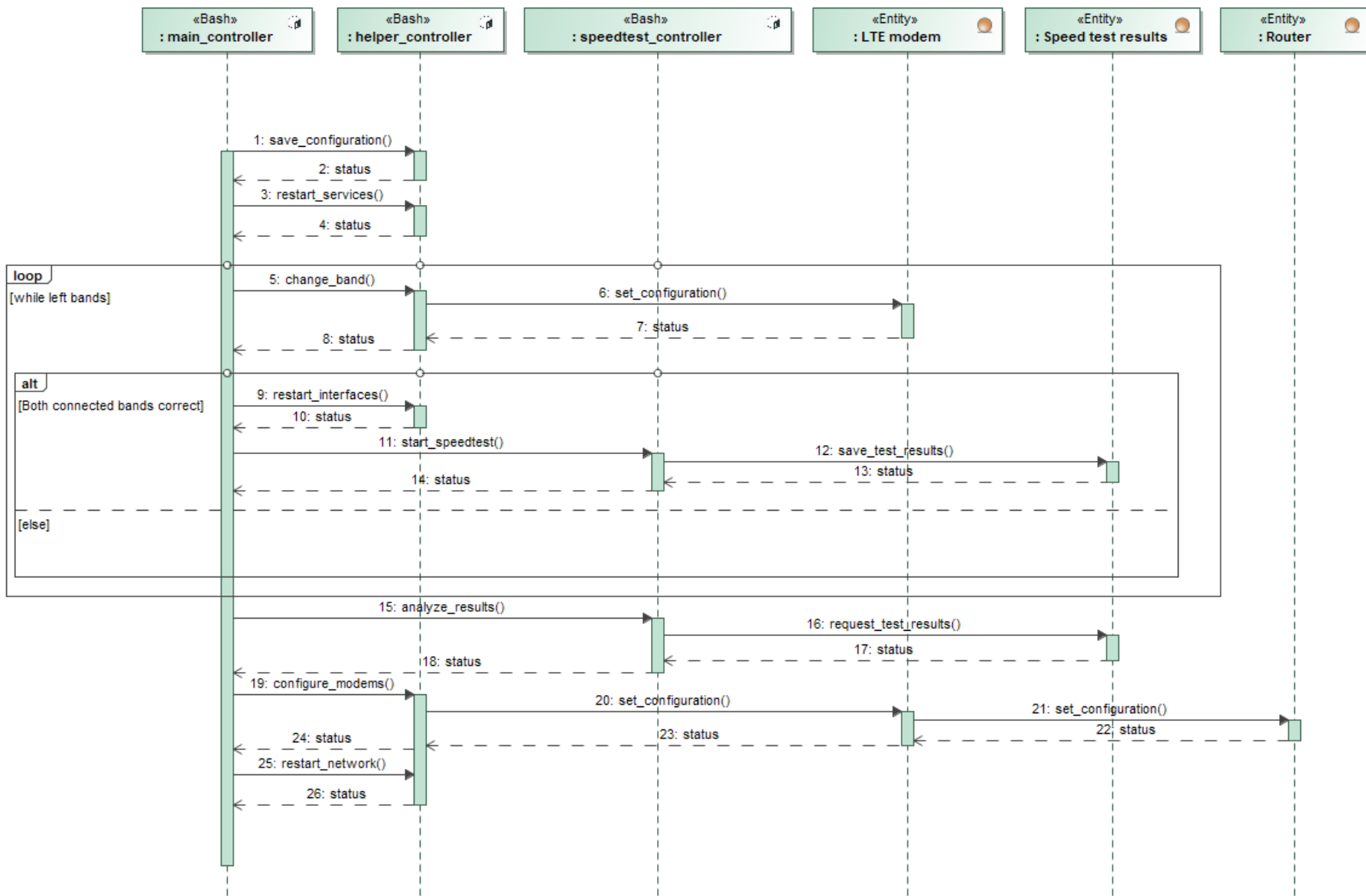
3.3 pav. PA 10 „Kalibruoti „BO“ metodu“ sekų diagrama



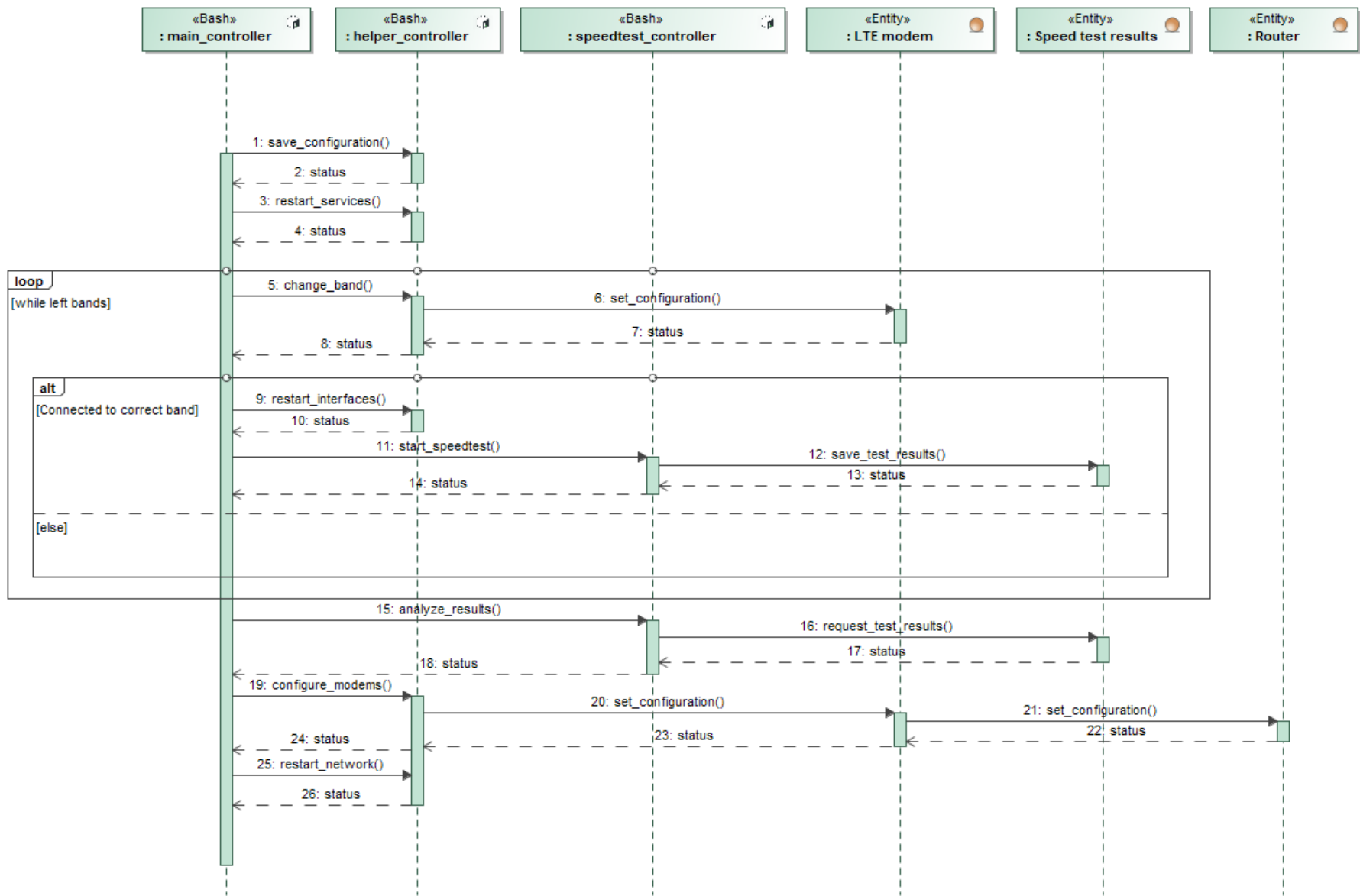
3.4 pav. PA 11 „Kalibruoti „QOS“ metodu“ sekų diagrama



3.5 pav. PA 12 „Kalibruoti „LB“ metodu“ sekų diagrama



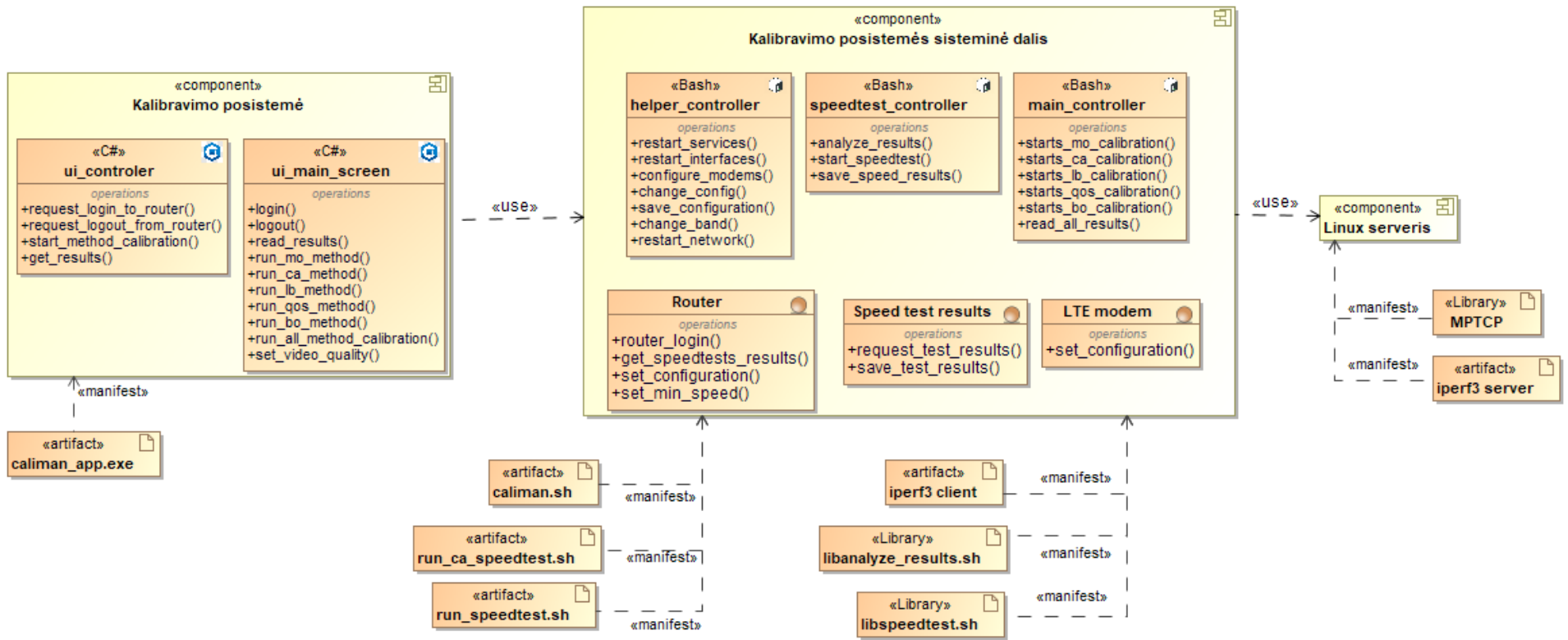
3.6 pav. PA 13 „Kalibruoti „CA“ metodu“ sekų diagrama



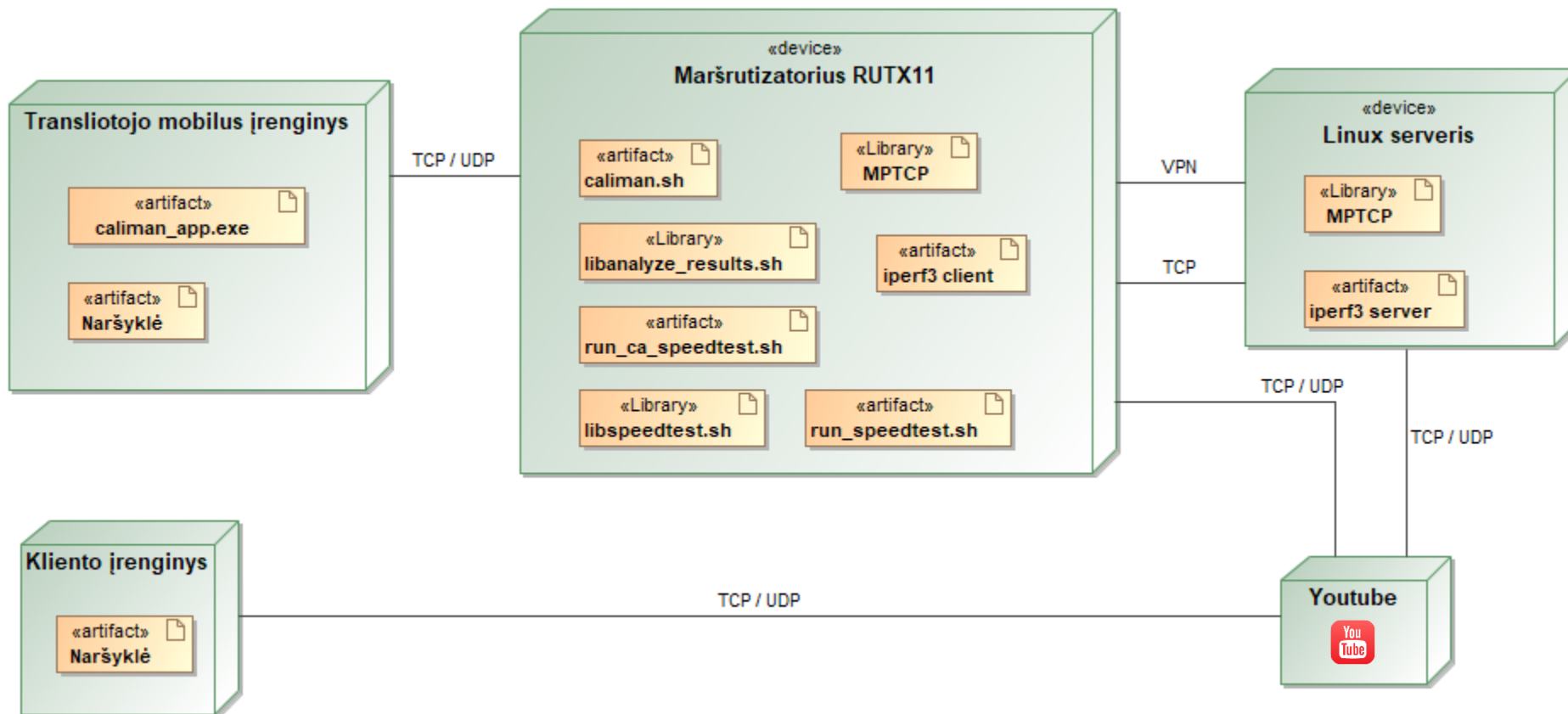
3.7 pav. PA 14 „Kalibruoti „MO“ metodu“ sekų diagrama

3.3. Realizacijos modelis

Transliuotojo mobilusis įrenginys palaikantis „Windows 7“ arba „Windows 10“ operacinę sistemą turės kalibravimo aplikaciją. Kalibravimo aplikacija prisijungia prie maršrutizatoriaus, kuriame yra kalibravimo posistemės sisteminės dalies aplikacijos ir joms reikalingos bibliotekos. Kalibravimo metodams reikalingas papildomas Linux serveris, kuriame turi būti paleistas „iperf3“ serveris. Kalibravimo metodai, naudodami „iperf3“ kliento aplikaciją, matuoja greitaveiką tarp maršrutizatoriaus ir serverio. Šiais rezultatais paremtas tolimesnis kalibravimo procesas. Kalibravimo sumavimo metodui „BO“, maršrutizatoriui ir serveriui papildomai reikalingos MPTCP bibliotekos. Taip pat, šiam metodui naudoti, reikalingas iš anksto sukonfigūruotas VPN tunelis. Videotransliacijos informacinės sistemos komponentų diagrama pateikta **3.8 pav.**, diegimo diagrama pavaizduota **3.9 pav.**



3.8 pav. Kalibravimo posistemės komponentų diagrama



3.9 pav. Videotransliacijos informacinės sistemos diegimo diagrama

4. Sprendimo realizacija ir testavimas

Šiame skyriuje aprašyta, kaip ir kokiomis priemonėmis buvo realizuota sistema ir ją sudarančios posistemės. Aprašyti testavimo žingsniai ir pateikiami rezultatai.

4.1. Kalibravimo posistemė

4.1.1. Kalibravimo posistemės realizacija

Spartos posistemę sudaro dvi dalys, sisteminė dalis ir naudotojo sąsaja. Sisteminės dalies prototipas buvo programuojamas naudojant „Bash script“ programavimo kalbą. Ši kalba pasirinkta dėl to, kad buvo patogiu valdyti papildomus įrankius, naudojamus realizacijoje. Naudotojo sąsaja buvo programuojama naudojant „C#“ programavimo kalbą ir „.NET“ karkasą. Realizuojant šią posistemę buvo atsižvelgta į tai, kad ją sudarys maršrutizatorius, kuris turės 3 atskirus mobiliųjų duomenų kanalus.

4.1.2. Sisteminės dalies realizacijos aprašymas

Mobiliųjų tinklų valdymui ir redagavimui buvo naudojama „gsmctl“ aplikacija, kuri yra maršrutizatoriaus operacinės sistemos „RUTOS“ dalis. Greitaveikai tikrinti buvo pasirinkta naudoti „iperf3“ įrankį. Mobiliųjų tinklų metodo realizacija sąlyginai panaši į nešėjų sumavimo metodo realizacija. Mobiliaus tinklo „MO“ metodas nuo nešėjų sumavimo „CA“ metodo skiriasi tuo, kad „CA“ metodas sumuoja dvi dažnių juostas. Taip atsiranda didesnis dažnių juostų kombinacijų pasirinkimas, kurias gali naudoti LTE modulis. Visa kita kalibravimo logika tokia pati: iš eilės jungiamasi prie kiekvieno dažnio, kurį palaiko naudojamas LTE modulis, įsitikinus, kad prisijungimas pavyko, paleidžiama „iperf3“ aplikacija. Ši matuoja greitaveiką tarp maršrutizatoriaus ir pasirinkto serverio, kuriame paleista ta pati aplikacija. Šiam sprendimui serveris buvo pasirinktas vietinis su pakankama greitaveika šiai sistemai. Atlikus greitaveikos matavimus, gaunamas greitaveikos vidurkis kiekvienai dažnio juostų konfigūracijai. Tada greitaveikos rezultatai lyginami tarpusavyje ir aukščiausią greitaveikos vidurkį turinti dažnis pasirenkamas kaip tinkamas. Ši(-ios) dažnio juosta(-tos) iš naujo priskiriam LTE moduliui.

Apkrovos paskirstymo metodas „LB“ turi 9 iš anksto numatytas konfigūracijas. Tiek pasirinkta dėl patogaus santykių paskirstymo tarp galimų 3 mobiliųjų duomenų kanalų. Iš eilės priskiriama viena iš santykio konfigūracijų ir matuojama greitaveika į tą patį vietinį serverį. Atlikus greitaveikos matavimus, gaunamas greitaveikos vidurkis kiekvienai konfigūracijai. Išrenkama geriausia konfigūracija ir iš naujo sukonfigūruojamas maršrutizatorius.

Paslaugų kokybės valdymo metodas „QOS“ sukonfigūruoja maršrutizatorių, uždėdamas iš anksto numatytus greitaveikos limitus, mobiliųjų duomenų kanalams. Taip sukuriama greičio rezervas, kad kitos aplikacijos neužimtų viso tinklo vienu metu. Uždėjus limitus, paleidžiamas greitaveikos matavimas, įsitikinti, kad greitaveika yra ne didesnė nei nustatyta.

Sumavimo metodas „BO“ yra paremtas MPTCP (angl. multi-path TCP) technologija. Norint naudoti šią technologiją, reikia iš anksto paruošti ir maršrutizatorių ir serverį. Nuorodą, kaip tai padaryti, galima rasti čia: <https://www.openmptcprouter.com/>. Atlikus konfigūraciją, pradedamas greitaveikos testavimas, naudojant ta pačią „iperf3“ aplikaciją. Prisijungus prie maršrutizatoriaus, per naršyklę „Status“ lange galima matyti, kad duomenys siunčiami per visus 3 mobiliųjų duomenų kanalus vienu metu. Greitaveikos testų rezultatai taip pat išsaugomi maršrutizatoriuje.

4.1.3. Naudotojo sąsajos dalies realizacijos aprašymas

Naudotojo sąsajai suprogramuoti buvo pasirinkta C# programavimo kalba. Naudotojo sąsajoje yra 3 pagrindinės dalys: prisijungimas - atsijungimas nuo maršrutizatoriaus, metodų paleidimas ir greitaveikos rezultatų atvaizdavimas.

Prisijungus prie maršrutizatoriaus, atrakinamas visas likęs funkcionalumas. Jeigu prisijungimas nepavyko, atspausdinama klaida.

Yra šešios maršrutizatoriaus kalibravimo funkcijos: paleisti kiekvieną metodą atskirai (MO, CA, LB, QOS arba BO) arba paleisti automatinį kalibravimą, kurio tikslas rasti ir suderinti metodus tarpusavyje taip, kad būtų išgauta kuo didesnė mobiliųjų duomenų greitaveika. Šis metodas panaudoja visus, aukščiau paminėtus, metodus ir paruošia maršrutizatorių darbui.

Kiekvienas metodas turi savo rezultatų langą. Rezultatų atvaizdavimo funkcionalumo tikslas paimti duomenis iš maršrutizatoriaus, prie kurio prisijungusi aplikaciją ir juos atvaizduoti aplikacijoje. Maršrutizatoriuje saugomi kiekvieno metodo paskutiniai greitaveikos testų rezultatai.

4.1.4. Kalibravimo posistemės funkcinių reikalavimų testavimas

Skyriuje pateikiamas sukurto prototipo funkcinių reikalavimų testavimų aprašymas, eiga ir rezultatai kurie yra **4-1 lentelė - 4-14 lentelė** lentelėse.

4-1 lentelė. PA 1 „Prisijungti prie maršrutizatoriaus“ testavimas

PA 1 „Prisijungti prie maršrutizatoriaus“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paspausti „Login“ mygtuką	Paspaustas „Login“ mygtuką	Prisijungti pavyko
Išvada: Testas sėkmingas		

4-2 lentelė. PA 2 „Atsijungti nuo maršrutizatoriaus“ testavimas

PA 2 „Atsijungti nuo maršrutizatoriaus“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paspausti „Logout“ mygtuką	Paspaustas „Logout“ mygtuką	Atsijungti pavyko
Išvada: Testas sėkmingas		

4-3 lentelė. PA 3 „Kalibruoti automatiškai“ testavimas

PA 3 „Kalibruoti automatiškai“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paspausti „Run AUTO method“ mygtuką	Paspaustas „Run AUTO method“ mygtukas	Automatinis kalibravimas pradėjo darbą
Išvada: Testas sėkmingas		

4-4 lentelė. PA 4 „Peržiūrėti testų rezultatus“ testavimas

PA 4 „Peržiūrėti testų rezultatus“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Pasirinkti LTE modemo ID	Pasirinktas vienas iš LTE modemų	Pasirinkimas pavyko
Paspausti „Read test results“ mygtuką	Paspaustas „Read calibration results“ mygtukas	Atvaizduoti rezultatai
Išvada: Testas sėkmingas		

4-5 lentelė. PA 5 „Inicijuoti „LB“ kalibravimą“ testavimas

PA 5 „Inicijuoti „LB“ kalibravimą“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paspausti „Run LB method“ mygtuką	Paspaustas „Run LB method“ mygtukas	„Console“ lange matomas prasidėjęs „LB“ kalibravimo procesas
Išvada: Testas sėkmingas		

4-6 lentelė. PA 6 „Inicijuoti „CA“ kalibravimą“ testavimas

PA 6 „Inicijuoti CA kalibravimą“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paspausti „Run CA method“ mygtuką	Paspaustas „Run CA method“ mygtukas	„Console“ lange matomas prasidėjęs „CA“ kalibravimo procesas
Išvada: Testas sėkmingas		

4-7 lentelė. PA 7 „Inicijuoti „QOS“ kalibravimą“ testavimas

PA 7 „Inicijuoti „QOS“ kalibravimą“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paspausti „Run QOS method“ mygtuką	Paspaustas „Run QOS method“ mygtukas	„Console“ lange matomas prasidėjęs „QOS“ kalibravimo procesas
Išvada: Testas sėkmingas		

4-8 lentelė. PA 8 „Inicijuoti „BO“ kalibravimą“ testavimas

PA 8 „Inicijuoti „BO“ kalibravimą“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paspausti „Run BO method“ mygtuką	Paspaustas „Run BO method“ mygtukas	„Console“ lange matomas prasidėjęs „BO“ kalibravimo procesas
Išvada: Testas sėkmingas		

4-9 lentelė. PA 9 „Inicijuoti „MO“ kalibravimą“ testavimas

PA 9 „Inicijuoti „MO“ kalibravimą“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paspausti „Run MO method“ mygtuką	Paspaustas „Run MO method“ mygtukas	„Console“ lange matomas prasidėjęs „MO“ kalibravimo procesas
Išvada: Testas sėkmingas		

4-10 lentelė. PA 10 „Kalibruoti „BO“ metodu“ testavimas

PA 10 „Kalibruoti „BO“ metodu“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Patikrinti „BO“ kalibravimo testų rezultatus pasirodžiusio „Calibration done!“ pranešimo.	Paspaustas „Read calibration results“ mygtukas	„BO speedtest results“ lange pasirodė rezultatai
Išvada: Testas sėkmingas		

4-11 lentelė. PA 11 „Kalibruoti „QOS“ metodu“ testavimas

PA 11 „Kalibruoti „QOS“ metodu“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Patikrinti „QOS“ kalibravimo testų rezultatus pasirodžiusio „Calibration done!“ pranešimo.	Paspaustas „Read calibration results“ mygtukas	„QOS speedtest results“ lange pasirodė rezultatai
Išvada: Testas sėkmingas		

4-12 lentelė. PA 12 „Kalibruoti „LB“ metodu“ testavimas

PA 12 „Kalibruoti „LB“ metodu“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Patikrinti „LB“ kalibravimo testų rezultatus pasirodžiusio „Calibration done!“ pranešimo.	Paspauštas „Read calibration results“ mygtukas	„LB speedtest results“ lange pasirodė rezultatai
Išvada: Testas sėkmingas		

4-13 lentelė. PA 13 „Kalibruoti „CA“ metodu“ testavimas

PA 13 „Kalibruoti „CA“ metodu“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Patikrinti „CA“ kalibravimo testų rezultatus pasirodžiusio „Calibration done!“ pranešimo.	Paspauštas „Read calibration results“ mygtukas	„CA speedtest results“ lange pasirodė rezultatai
Išvada: Testas sėkmingas		

4-14 lentelė. PA 14 „Kalibruoti „MO“ metodu“ testavimas

PA 14 „Kalibruoti „MO“ metodu“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Patikrinti „MO“ kalibravimo testų rezultatus pasirodžiusio „Calibration done!“ pranešimo.	Paspauštas „Read calibration results“ mygtukas	„MO speedtest results“ lange pasirodė rezultatai
Išvada: Testas sėkmingas		

4.1.5. Kalibravimo posistemės nefunkcinių reikalavimų testavimas

Nefunkcinių reikalavimų testavimų aprašymas, eiga ir rezultatai pateikti 4-15 lentelė - 4-19 lentelė lentelėse.

4-15 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 1 testavimas

Testavimo posistemės aplikacija turi palaikyti visas, naujesnes nei Windows 7 OS versijas.		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paleisti aplikaciją naudojant Windows 7 OS.	Paleisti aplikaciją naudojant Windows 7 OS.	Aplikacija veikia
Paleisti aplikaciją naudojant Windows 10 OS.	Paleisti aplikaciją naudojant Windows 10 OS.	Aplikacija veikia
Išvada: Testas sėkmingas		

4-16 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 2 testavimas

Kalibravimo metu privalo būti atvaizduojama proceso eiga.		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paleisti vieną iš kalibravimo metodų	Paleistas „MO“ metodas	Testas paleistas
Patikrinti „Console“ langą	Tikrinamas „Console“ langas	Lange rodomas kalibravimo progresas
Išvada: Testas sėkmingas		

4-17 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 3 testavimas

Naudojamas maršrutizatorius turi palaikyti WiFi.		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Patikrinti ar maršrutizatorius palaiko WiFi	Patikrintas maršrutizatorius	Naudojamas maršrutizatorius palaiko WiFi
Išvada: Testas sėkmingas		

4-18 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 4 testavimas

Kalibravimo aplikacijos naudotojo sąsaja turi būti anglų kalba.		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paleisti kalibravimo aplikaciją ir patikrinti kalbą.	Paleista kalibravimo aplikaciją ir patikrinta kalba.	Naudotojo sąsaja anglų kalba.
Išvada: Testas sėkmingas		

4-19 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 5 testavimas

Kalibravimo metodo paleidimas neturi viršyti 3 žingsnių.		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Suskaičiuoti kiek žingsnių reikia paleisti kalibravimo metodui	1. Paleista aplikacija 2. Paspaustas „Login“ mygtukas 3. Paleistas „CA“ kalibravimo metodas	Kalibravimo metodo paleidimas neviršija 3 žingsnių
Išvada: Testas sėkmingas		

4.1.6. Testavimo apibendrinimas ir išvados

Kalibravimo posistemės realizuoto prototipo funkcinių ir nefunkcinių reikalavimų testavimo suvestinė pateikta lentelėje **4-20 lentelė**. Įvertinti testavimo rezultatai ir pateiktos išvados.

4-20 lentelė. Kalibravimo posistemės reikalavimų testavimo suvestinė

Reikalavimo tipas	Viso testų	Sėkmingi	Nesėkmingi	Netestuota
Funkcinis	14	14	0	0
Nefunkcinis	5	5	0	0

Visi specifikuoti funkciniai ir nefunkciniai reikalavimai kalibravimo sistemai realizuoti ir veikia tinkamai.

4.2. Videotransliacijos posistemės testavimas

4.2.1. Videotransliacijos posistemės funkcinių reikalavimų testavimas

Naudojant „YouTube“ platforma ištestuoti videotransliacijos posistemėi specifikuoti reikalavimai pateikti lentelėse **4-21 lentelė - 4-23 lentelė**.

4-21 lentelė. PA 15 „Žiūrėti transliaciją“ testavimas

PA 15 „Žiūrėti transliaciją“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paleisti gautą nuorodą žiniatinklyje.	Paspaustas „Play“ mygtukas atsidariusiame vaizdo leistuve	Galima stebėti transliaciją.
Išvada: Testas sėkmingas		

4-22 lentelė. PA 16 „Generuoti nuorodą“ testavimas

PA 16 „Generuoti nuorodą“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paspausti mygtuką dalintis	Paspaustas mygtukas dalintis	Gauta transliacijos nuoroda
Išvada: Testas sėkmingas		

4-23 lentelė. PA 17 „Valdyti transliaciją“ testavimas

PA 17 „Valdyti transliaciją“		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Pradėti videotransliaciją	Paspaudžiamas mygtukas pradėti transliaciją	Videotransliacija prasidėjo
Stabdyti videotransliaciją	Paspaudžiamas mygtukas baigti transliaciją	Videotransliacija sustabdyta
Išvada: Testas sėkmingas		

4.2.2. Videotransliacijos posistemės nefunkcinių reikalavimų testavimas

Nefunkcinių reikalavimų testavimų aprašymas, eiga ir rezultatai pateikti lentelėse **4-24 lentelė - 4-27 lentelė**.

4-24 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr.1 testavimas

Sistemos naudotojo sąsaja turi būti anglų kalba.		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Įsijungti „YouTube“ platformą ir patikrinti kalbą.	Įsijungta „YouTube“ platforma ir patikrinta kalba.	Naudotojo sąsaja anglų kalba.
Išvada: Testas sėkmingas		

4-25 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 2 testavimas

Transliacija galima stebėti „Firefox“ arba „Chrome“ žiniatinkliuose.		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Paleisti aplikaciją ir įvertinti aplikacijos paprastumą.	Paleisti aplikaciją ir įvertinti aplikacijos paprastumą.	Aplikacija turi vieną bendrą langą.
Išvada: Testas sėkmingas		

4-26 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 3 testavimas

Stebėti videotransliacijai nereikalinga papildoma registracija.		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas
Įsijungti gautą transliacijos nuorodą naudojant „Firefox“ žiniatinklį.	Įjungta nuoroda „Firefox“ žiniatinklyje.	Transliacija veikia
Įsijungti gautą transliacijos nuorodą naudojant „Chrome“ žiniatinklį.	Įjungta nuoroda „chrome“ žiniatinklyje.	Transliacija veikia
Išvada: Testas sėkmingas		

4-27 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas Nr. 4 testavimas

Naudotojas gali pats keisti stebimo vaizdo įrašo raišką.		
Numatyti žingsniai	Atlikti žingsniai	Rezultatas

Pakeisti videotransliacijos raišką stebėjimo metu	Vaizdo leistuve galima pasikeisti vaizdo raišką	Vaizdo raiška pakeista
Išvada: Testas sėkmingas		

4.2.3. Testavimo apibendrinimas ir išvados

„YouTube“ platforma tenkina visus specifikuotus funkcinis ir nefunkcinis reikalavimus reikalingus videotransliacijos posistemėi. Videotransliacijos posistemės funkcinų ir nefunkcinų reikalavimų testavimo suvestinė pateikiama lentelėje **4-28 lentelė**.

4-28 lentelė. Videotransliacijos posistemės reikalavimų testavimo suvestinė

Reikalavimo tipas	Viso testų	Sėkmingi	Nesėkmingi	Netestuota
Funkcinis	3	3	0	0
Nefunkcinis	4	4	0	0

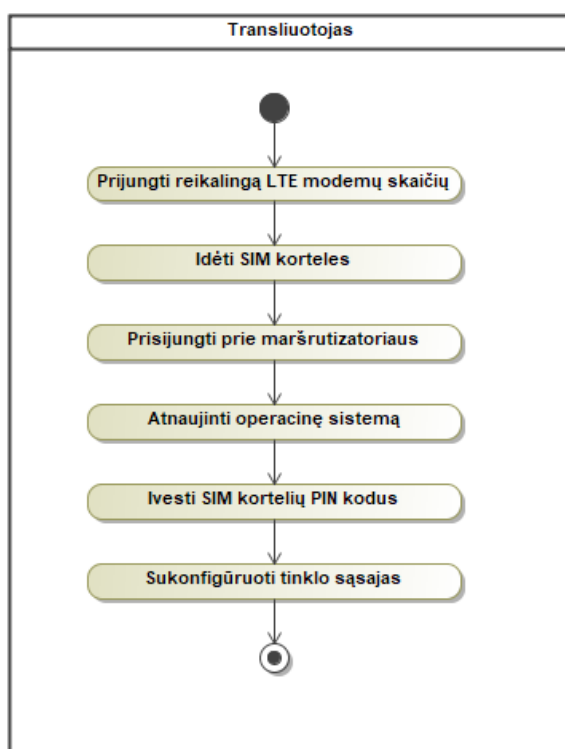
4.3. Bendrieji realizacijos ir testavimo apibendrinimai ir išvados

- Sukurtas kalibravimo posistemės prototipas veikia, ir atlieka pagrindines funkcijas.
- „YouTube“ platforma pilnai tenkina videotransliacijos posistemės iškeltus funkcinis ir nefunkcinis reikalavimus.

5. Mobiliojo ryšio kanalų apjungimo metodų tyrimas ir eksperimentinė dalis

Gyvosioms videotransliacijoms aktuali išsiuntimo sparta, todėl eksperimentų metu matuojami tik išsiuntimo spartos rezultatai. Kiekvienas metodas išbandytas, eksperimentų rezultatai susisteminti, padaryti apibendrinimai bei išvados.

Prieš pradėdant eksperimentus reikia paruošti aparatinę įrangą. Eksperimentams naudojamas UAB „Teltonika“ pagamintas RUTX11 maršrutizatorius. Per USB 2.0 jungtį prie maršrutizatoriaus prijungiami dar 2 „Quectel“ įmonės gaminami EG06-E, CAT6 kategoriją turintys LTE modemai. Eksperimentams bus naudojamos 2 „Telia“ ir viena „Bitė“ SIM kortelės su neribotų duomenų planais. SIM kortelės įdedamos į specialias joms skirtas vietas, prie kiekvieno LTE modemo. Prisijungus prie maršrutizatoriaus, atnaujinama maršrutizatoriaus RUTOS operacinė sistema, į šiam eksperimentui paruoštą versiją. Po atnaujinimo reikia sukonfigūruoti LTE modemus, įvesti SIM kortelių PIN kodus, taip pat sukonfigūruoti tinklo sąsajas. Veiklos diagrama, kaip reikia paruošti aparatinę įrangą, nurodyta **5.1 pav.**



5.1 pav. Paruošti aparatinę įrangą veiklos diagrama

Kartu reikia pasiruošti ir serverį, kurio pagalba bus tikrinama mobiliųjų duomenų greitaveika: jeigu nėra reikia įsirašyti ir paleisti „iperf3“ aplikaciją serverio režimu.

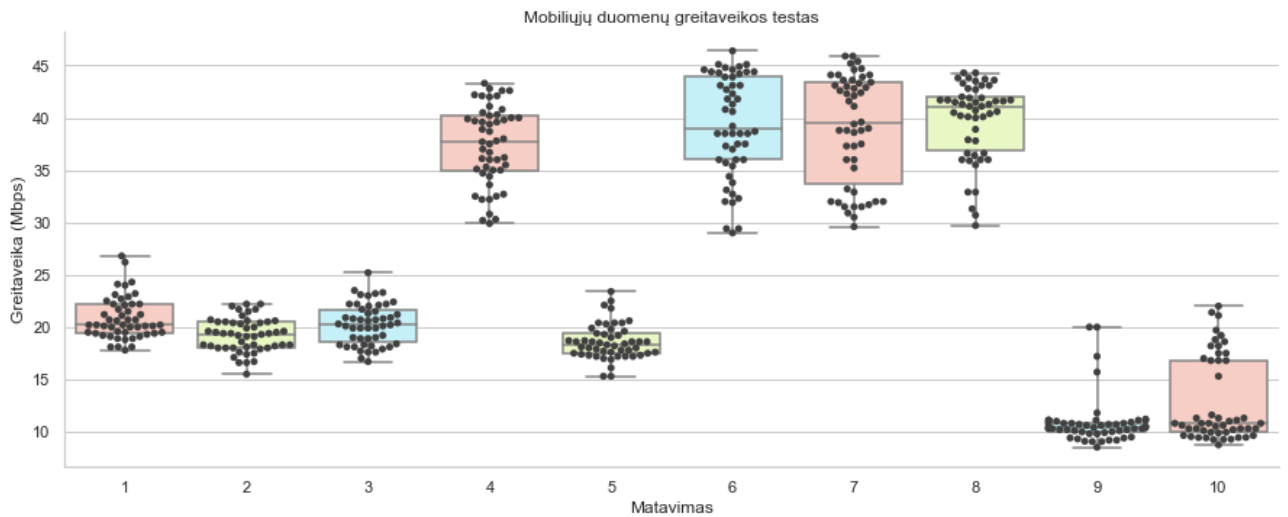
5.1. Paprasto mobiliojo ryšio greitaveikos tyrimas palyginimui

5.1.1. Pasiruošimas eksperimentui

LTE modemui nustatyta numatyta automatinė konfigūracija. Maršrutizatoriui taip pat nustatyti gamykliniai parametrai.

5.1.2. Eksperimento eiga ir rezultatai

Maršrutizatoriuje naudojant „iperf3“ aplikaciją į sukonfigūruotą serverį paleistas greitaveikos testavimas. Testavimas atliekamas 10 kartų atliekant po 50 matavimų. Rezultatai pateikiami „Plotbox“ diagramoje **5.2 pav.**

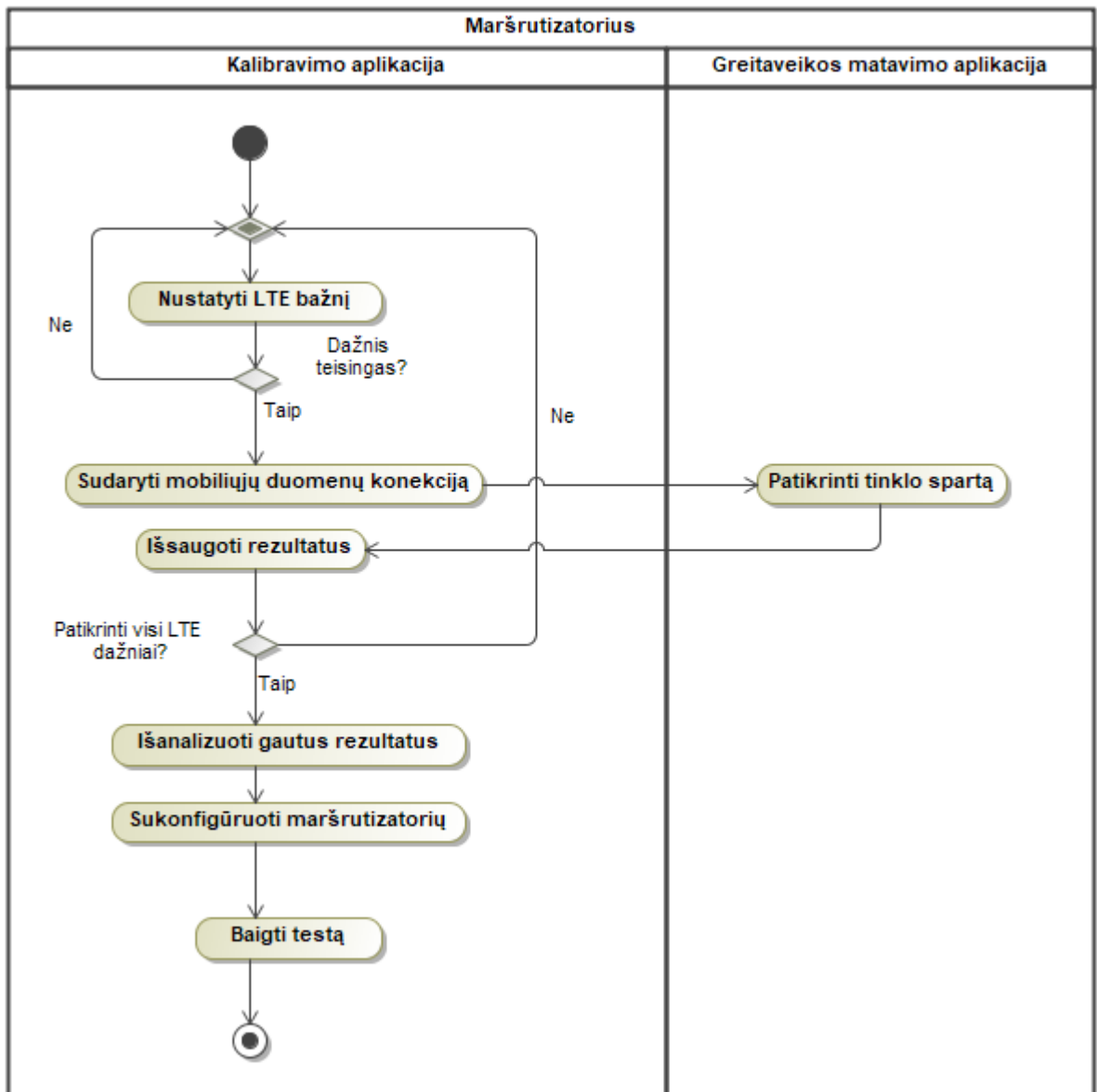


5.2 pav. Automatinės LTE modulio konfigūracijos greitaveikos testavimas

Iš pateiktų rezultatų matyti, kad bazinio konfigūravimo greitis svyruoja gana stipriai. Galima išskirti 3 greitaveikos grupes. Pirmosios grupės greitaveikos vidurkis ~20Mbps, antrosios ~37Mbps, o trečiosios grupės ~11Mbps. Minimalus greitis matavimų metu buvo ~8,2Mbps, o maksimalus ~46,4Mbps. Bendras išsiunčiamų duomenų spartos vidurkis yra ~25,7 Mbps. Šį greitį naudosis kaip bazinį mobiliųjų duomenų išsiuntimo greitį.

5.2. Mobilaus tinklo optimizavimo „MO“ (angl. *Mobile Optimization*) metodas

Metodas skirtas išbandyti visas, LTE modulio palaikomas, dažnių juostas ir nustatyti, kokią dažnio juostą naudojant duomenų sparta yra didžiausia. Atlikus spartos matavimus, visose dažnių juostose, rezultatai apibendrinami ir LTE modulis perjungiamas į didžiausią spartą turintį LTE dažnį. Šio metodo veiklos diagrama pavaizduota **5.3 pav.** paveikslėlyje.



5.3 pav. Mobiliaus tinklo optimizavimo „MO“ metodo kalibravimo veiklos diagrama

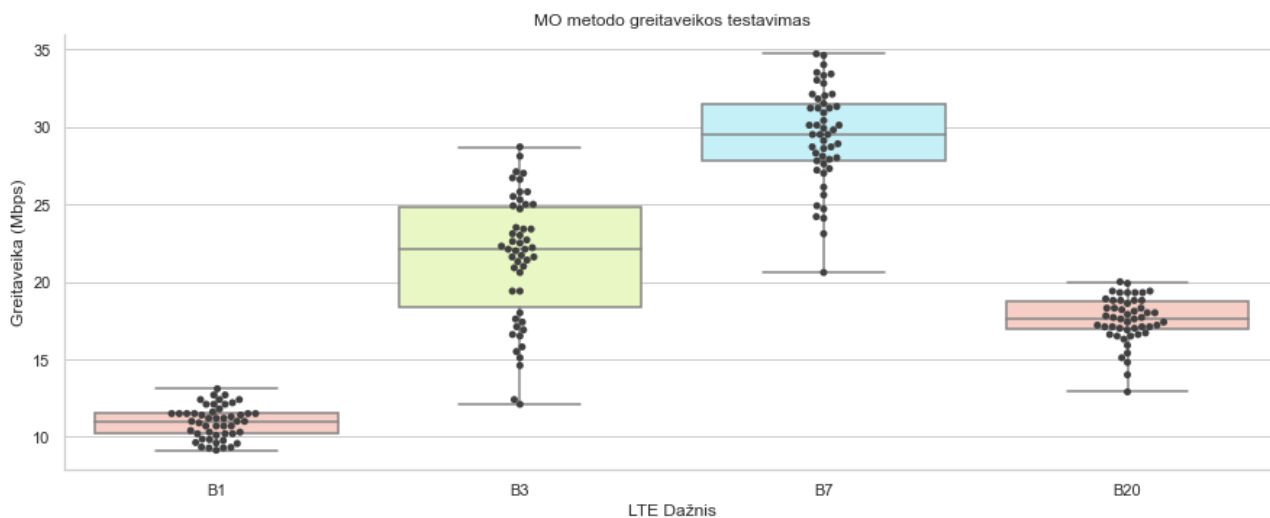
5.2.1. Pasiruošimas eksperimentui

Kompiuteryje paleidžiama kalibravimo aplikacija ir jungiamasi prie maršrutizatoriaus. „Console“ lange turi matytis pranešimas „Ready for work!“.

5.2.2. Eksperimento eiga ir rezultatai

Po sėkmingo prisijungimo prie maršrutizatoriaus, pasirenkami LTE modemi. Kad modemus galima būtų lengviau atskirti, jiems suteikiamas unikalus ID. Šis ID yra priskiriamas pagal maršrutizatoriaus USB įrenginių indikaciją. Integruotame maršrutizatoriuje LTE moduliui suteiktas ID: „3-1“, papildomai prijungtiems LTE moduliams priskirti „1-1.3.3“ ir „1-1.3.4.4“ ID. Pasirinkus modemus, paleidžiamas mobiliaus tinklo kalibravimo „MO“ metodas „Run MO method“. Pasibaigus kalibravimui, „Console“ lange matomas pranešimas „Calibration done“. Spaudžiamas mygtukas „Read calibration results“ ir lange „MO Speedtests results“ gaunami rezultatai.

Rezultatai susisteminiami ir pateikiami 5.4 pav.



5.4 pav. Kalibravimo "MO" testo rezultatai

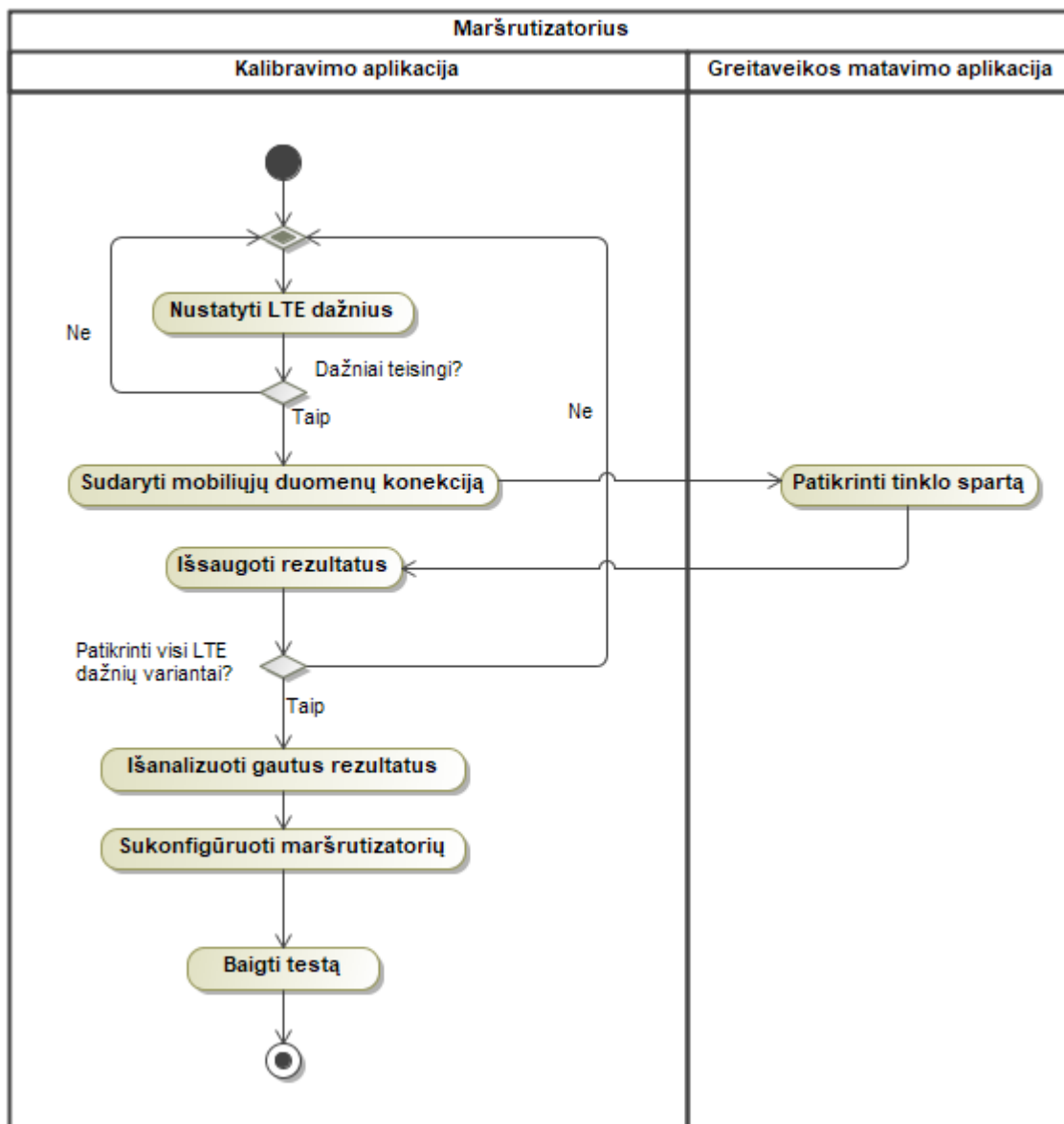
Lietuvoje operatoriai naudoja keturias LTE dažnio juostas: B1, B3, B7 ir B20, todėl grafike atvaizduojama tik šių dažnio juostų greitaveikos rezultatai.

5.2.3. Eksperimento apibendrinimas ir išvados

Atlikus duomenų spartos matavimus, kiekvienoje LTE dažnių juostoje, matoma, kad geriausias greitis buvo pasiektas naudojant LTE B7 dažnį. Šiame dažnyje pasiektas 29,1 Mbps greitaveikos vidurkis. Matavimo metu, šiame dažnyje nustatytas mažiausias 19,4 Mbps ir didžiausias 34,4 Mbps duomenų išsiuntimo greitis. Prasčiausia greitaveika buvo pasiekta naudojant LTE B1 dažnį. Po rezultatų analizės, kalibravimo „MO“ metodas LTE modemui nustatė LTE B7 dažnio naudojimą.

5.3. Nešėjų sumavimo „CA“ (angl. *Carrier Aggregation*) metodas

Šį metodą gali palaikyti LTE CAT6 kategoriją turintys moduliai. Kalibravimo metodas nustato 2 LTE modulio palaikomus dažnius ir išmatuoja išsiuntimo spartą. Po greitaveikos testavimo išanalizuojami rezultatai ir nustatomi geriausių greitį turintys LTE dažniai. Šio metodo veiklos diagrama pavaizduota **5.5 pav.** paveikslėlyje.



5.5 pav. Nešėjų sumavimo „CA“ metodo kalibravimo veiklos diagrama

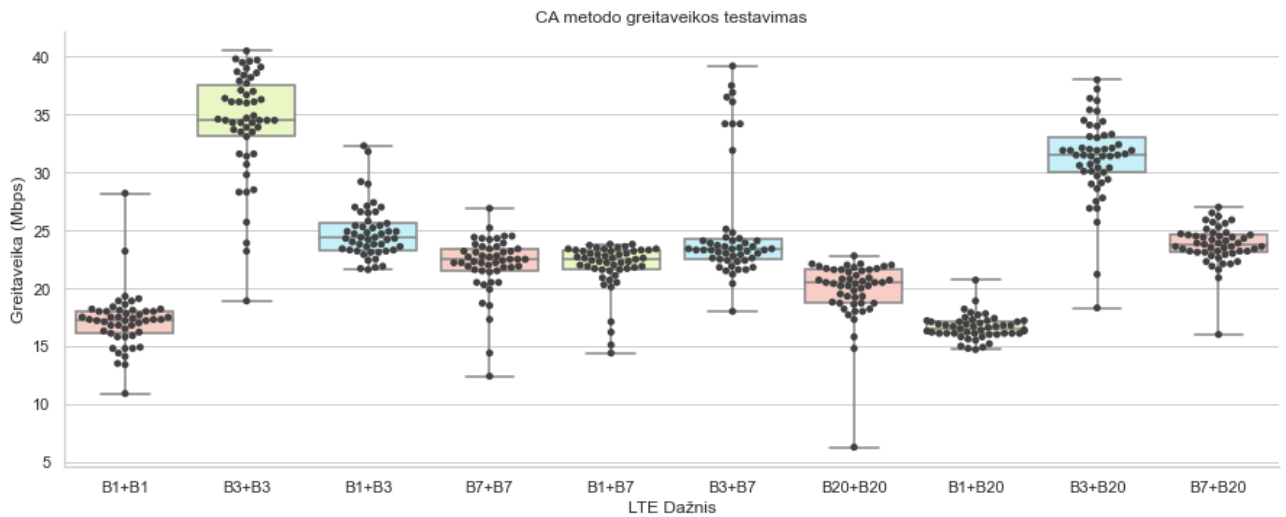
5.3.1. Pasiruošimas eksperimentui

Kompiuteryje paleidžiama kalibravimo aplikacija ir jungiamasi prie maršrutizatoriaus. „Console“ lange turi matytis pranešimas „Ready for work!“.

5.3.2. Eksperimento eiga ir rezultatai

Po sėkmingo prisijungimo prie maršrutizatoriaus, pasirenkami LTE modemai. Kad galima būtų lengviau atskirti modemus, jiems suteikiamas unikalūs ID. Šis ID yra priskiriamas pagal maršrutizatoriaus USB įrenginių indikaciją. Integruotame maršrutizatoriuje LTE moduliui suteiktas ID: „3-1“, papildomai prijungtiems LTE moduliams priskirti „1-1.3.3“ ir „1-1.3.4.4“ ID. Pasirinkus modemus paleidžiamas nešėjų sumavimo „CA“ metodas „Run CA method“. Pasibaigus kalibravimui, „Console“ lange matomas pranešimas „Calibration done“. Spaudžiamas mygtukas „Read calibration results“ ir lange „CA Speedtests results“ gaunami rezultatai.

Rezultatai susisteminiami ir pateikiami 5.6 pav.



5.6 pav. Kalibravimo "CA" testo rezultatai

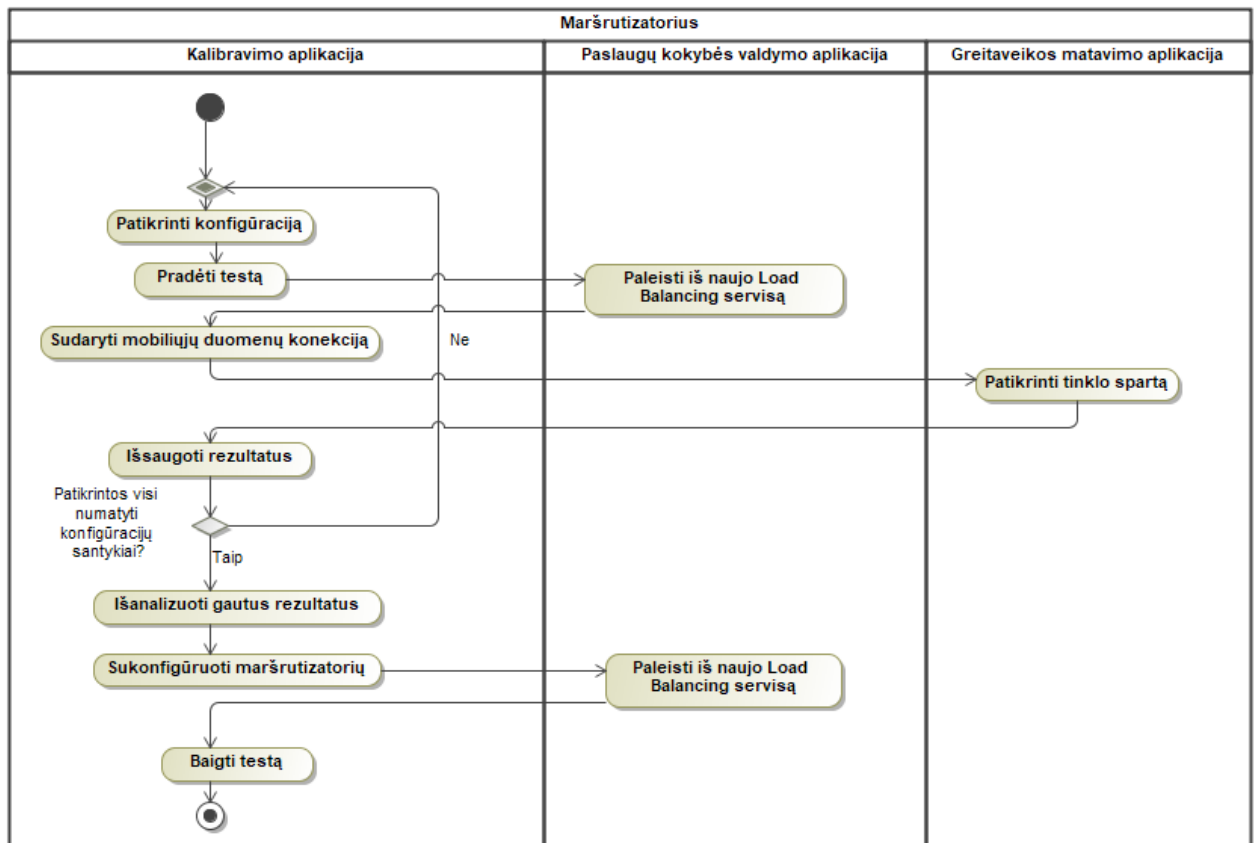
Lietuvoje operatoriai naudoja tokias LTE dažnio juostas: B1, B3, B7 ir B20. Šis kalibravimo metodas išbando visas galimas dviejų dažnio juostų kombinacijas, kurios matomos grafike kartu su greitaveikos rezultatais.

5.3.3. Eksperimento apibendrinimas ir išvados

Atlikus duomenų analizę, matosi, kad kalibravimo „CA“ metodu, testo metu, geriausią greitaveiką pasiekė LTE B3 dažnis, kurio vidurkis buvo ~34,2 Mbps. Pagal taškų išsidėstymą matosi, kad greitaveikos turi kelis nedidelius nuokrypius nuo vidurkio, tačiau didžioji dauguma buvo labai arti vidutinio dažnio greičio.

5.4. Apkrovos paskirstymo „LB“ (angl. *Load Balancing*) metodas

Kalibravimo metodas naudojamas paskirstyti duomenų srautų apkrovą per prijungtus mobiliųjų duomenų kanalus. Pagrindinis konfigūravimo parametras yra santykis. Jis nustato, kiek santykinai mobiliųjų duomenų bus išsiųsta, per kiekvieną prijungtą mobiliojo ryšio duomenų kanalą. Kalibravimui naudojamas vienas integruotas ir 2 papildomai prijungti CAT6 kategoriją turintys LTE modemai. Metodas naudoja 9 konfigūracijas su skirtingais santykiais. Pritaikius kiekvieną konfigūraciją, matuojama greitaveika ir išsaugomi rezultatai. Patikrinus visas konfigūracijas, išanalizuojami rezultatai ir parenkama geriausią greitaveiką turinti konfigūracija. Apkrovos paskirstymo „LB“ metodo kalibravimo veiklos diagrama pavaizduota **5.7 pav.** paveikslėlyje.



5.7 pav. Apkrovos paskirstymo „LB“ metodo kalibravimo veiklos diagrama

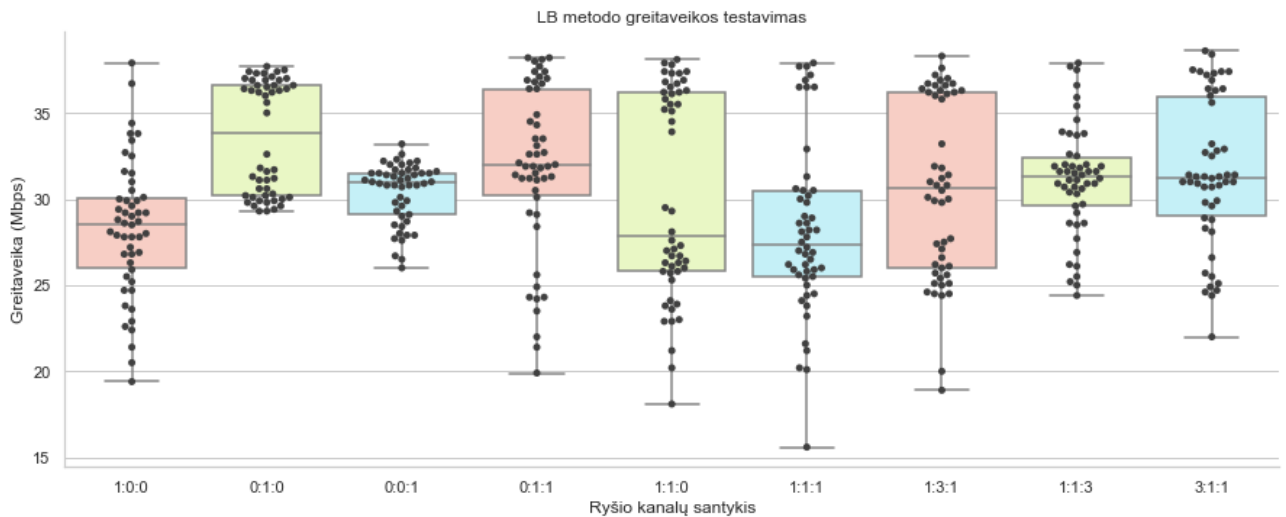
5.4.1. Pasiruošimas eksperimentui

Kompiuteryje paleidžiama kalibravimo aplikacija ir jungiamasi prie maršrutizatoriaus spaudžiant „Login“ mygtuką. „Console“ lange turi matytis pranešimas „Ready for work!“.

5.4.2. Eksperimento eiga ir rezultatai

Po sėkmingo prisijungimo prie maršrutizatoriaus, pasirenkami LTE modemai. Pasirinkus modemus, paleidžiamas apkrovos paskirstymo „LB“ metodas „Run LB method“. Pasibaigus kalibravimui „Console“ lange matomas pranešimas „Calibration done“. Spaudžiamas mygtukas „Read calibration results“ ir lange „LB Speedtests results“ gaunami rezultatai.

Rezultatai susistemunami ir pateikiami 5.8 pav.



5.8 pav. Kalibravimo "LB" testo rezultatai

Metodas konfigūruoja naudojamą mobiliųjų arba stacionariųjų ryšio kanalų santykį ir matuoja greitaveiką. Santykių paaiškinimai:

- „1:0:0“ – Naudojamas tik pirmas ryšio kanalas
- „0:1:0“ – Naudojamas tik antras ryšio kanalas
- „0:0:1“ – Naudojamas tik trečias ryšio kanalas
- „0:1:1“ – Pirmas kanalas nenaudojamas, antras ir trečias ryšio kanalai naudojami vienodomis dalimis
- „1:1:0“ – Trečias kanalas nenaudojamas, pirmas ir antras ryšio kanalai naudojami vienodomis dalimis
- „1:1:1“ – Visi kanalai naudojami lygiomis dalimis
- „1:3:1“ – Pirmas ir trečias ryšio kanalai naudoja po vieną dalį, antras – tris dalis
- „1:1:3“ – Pirmas ir antras ryšio kanalai naudoja po vieną dalį, trečias – tris dalis
- „3:1:1“ – Antras ir trečias ryšio kanalai naudoja po vieną dalį, pirmas – tris dalis

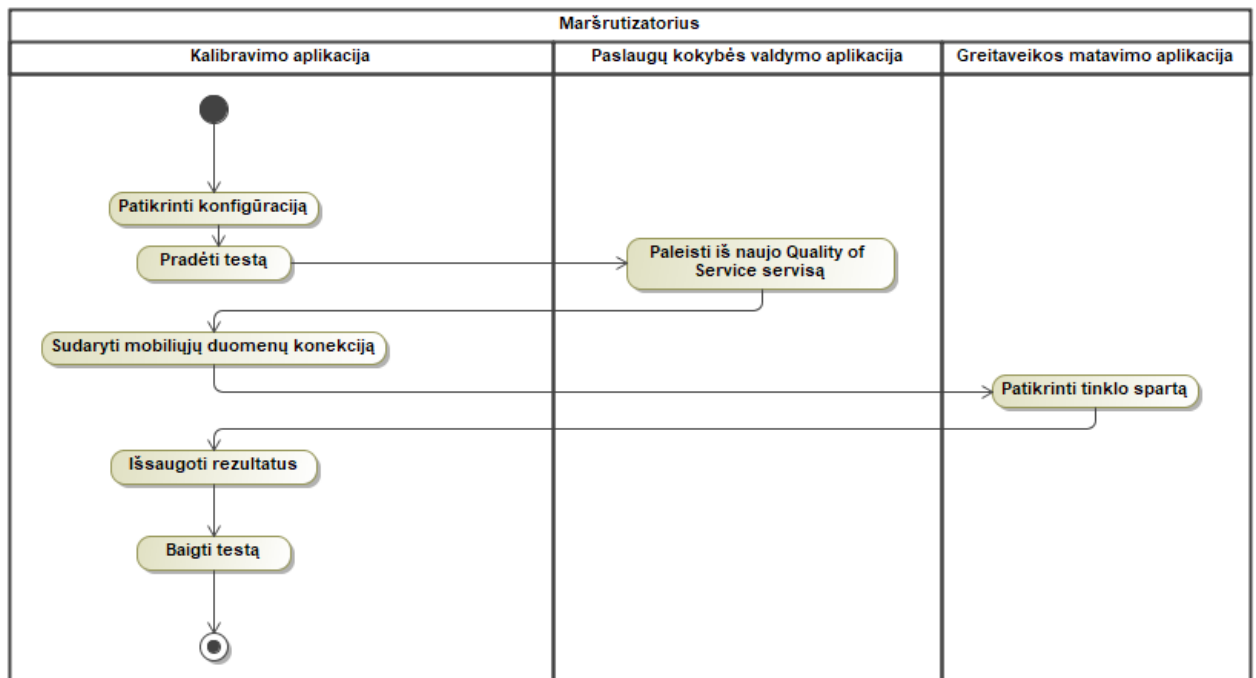
5.4.3. Eksperimento apibendrinimas ir išvados

Kalibravimo „LB“ metodas naudojo 9 konfigūracijas, su skirtingais mobiliųjų kanalų panaudojimo santykiais. Atlikus rezultatų analizę, matosi, kad apkrovos paskirstymo metodas veikia tinkamai, srautai santykinai paskirstomi per interneto šaltinius, kaip ir turėtų veikti. Šio metodo naudoti nereikėtų, jeigu interneto šaltinių sparta ženkliai skiriasi, kadangi greitaveikos vidurkis smarkiai sumažėja ir gali atsirasti trukdžiai gyvojoje video transliacijoje. Naudojant šį metodą buvo nustatyta, kad geriausia greitaveika buvo pasiekta naudojant mobiliųjų kanalų santykį „0:1:0“. Naudojant tokį santykį buvo pasiektas 33,5 Mbps duomenų išsiuntimo greitis.

Metodas tinkamas nustatyti, kaip reikia naudoti mobiliųjų duomenų šaltinius, kad būtų išgaunama geriausia greitaveika iš turimų mobiliųjų tinklų kanalų.

5.5. Paslaugų kokybės valdymo „QOS“ (angl. *Quality Of Service*) metodas

Metodas naudojamas nustatyti tam tikrų tinklo sąsajų ir procesų spartos ribojimus, tam, kad padidinti duomenų spartą kitiems, svarbesniems procesams. Testavimo metu bus bandoma nustatyti, ar tinklo sąsajų limitų uždėjimas leis padidinti spartą reikalinga gyvosios video transliacijoms. Šio metodo testavimo veiklos diagrama pavaizduota **5.9 pav.** paveikslėlyje.



5.9 pav. Paslaugų kokybės valdymo „QOS“ metodo kalibravimo veiklos diagrama

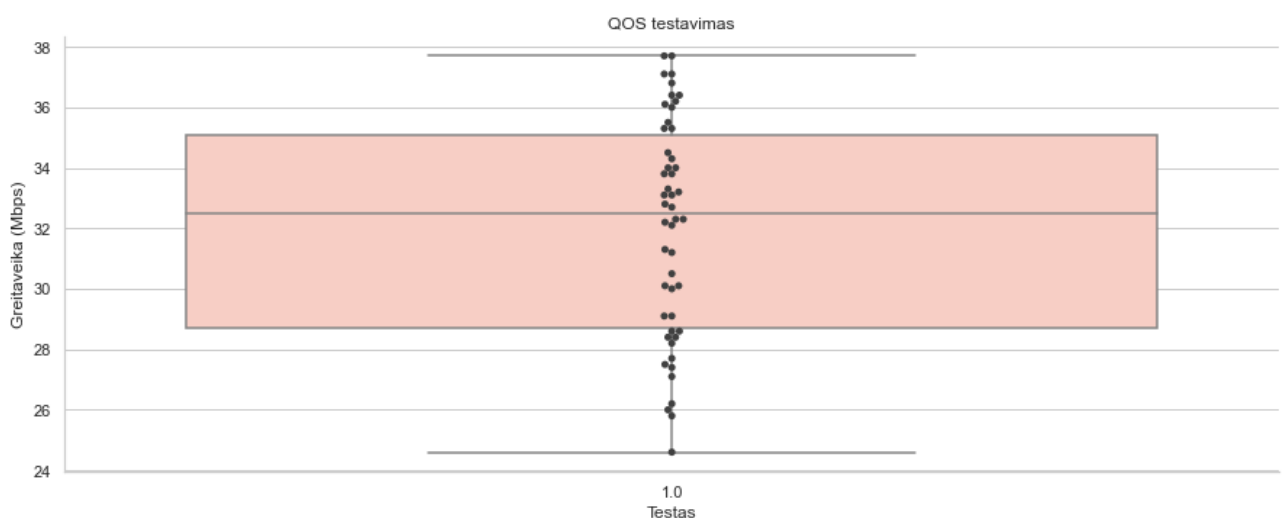
5.5.1. Pasiruošimas eksperimentui

Kompiuteryje paleidžiama kalibravimo aplikacija ir jungiamasi prie maršrutizatoriaus, spaudžiant „Login“ mygtuką. „Console“ lange turi matytis pranešimas „Ready for work!“.

5.5.2. Eksperimento eiga ir rezultatai

Sėkmingai prisijungus prie maršrutizatoriaus, aplikacijoje pasirenkama vaizdo-transliacijos raiška. Tai reiškia, kad mobiliųjų duomenų kanalams yra uždedamas greitaveikos ribojimas, suteikiant stabilumą. Eksperimento metu nustatomas 34 Mbps, t. y. didžiausia greitaveika, reikalinga 4K vaizdo transliacijai. Po to spaudžiamas „Run QOS method“. Pasibaigus kalibravimui, „Console“ lange matomas pranešimas „Calibration done“. Spaudžiamas mygtukas „Read calibration results“ ir lange „QOS Speedtests results“ gaunami rezultatai.

Rezultatai susisteminiami ir pateikiami 5.10 pav.



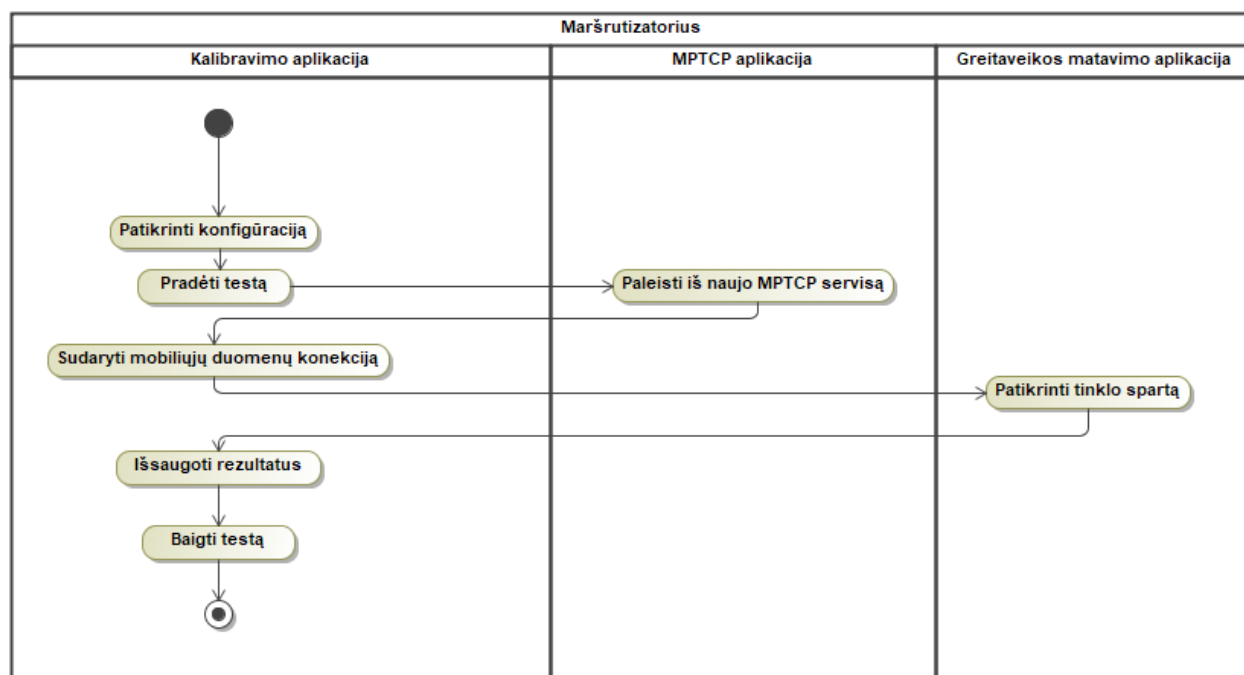
5.10 pav. Kalibravimo "QOS" testo rezultatai

5.5.3. Eksperimento apibendrinimas ir išvados

Atlikus matavimus nustatyta, kad metodas veikia tinkamai ir vienai aplikacijai greitis yra ribojamas. Tai leidžia efektyviau naudoti ryšio greitaveiką kelioms aplikacijoms.

5.6. Sumavimo „BO“ (angl. *Bonding*) metodas

Metodas skirtas apjungti kelis mobiliuosius kanalus, taip padidindamas bendrą tinklo spartą. Eksperimento metu bandoma nustatyti, kokia bus pasiekta greitaveika apjungus 3 mobiliųjų duomenų kanalus. Sumavimo metodo „BO“ kalibravimo veiklos diagrama pavaizduota **5.11 pav.** paveikslėlyje.



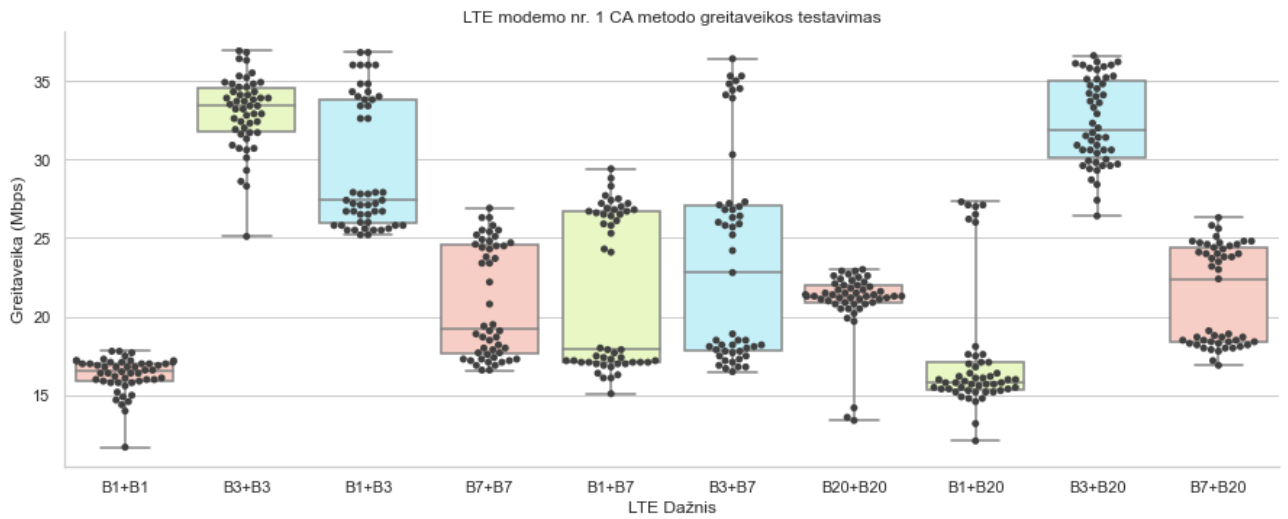
5.11 pav. Sumavimo metodo „BO“ kalibravimo veiklos diagrama

5.6.1. Pasiruošimas eksperimentui

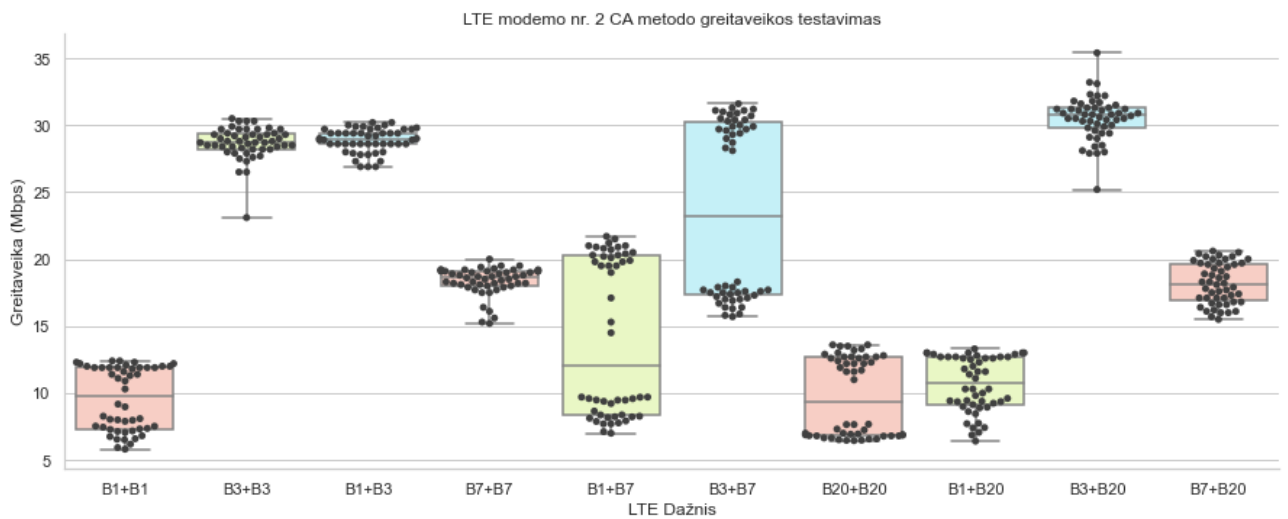
Kompiuteryje paleidžiama kalibravimo aplikacija ir jungiamasi prie maršrutizatoriaus spaudžiant „Login“ mygtuką. „Console“ lange turi matytis pranešimas „Ready for work!“.

5.6.2. Eksperimento eiga ir rezultatai

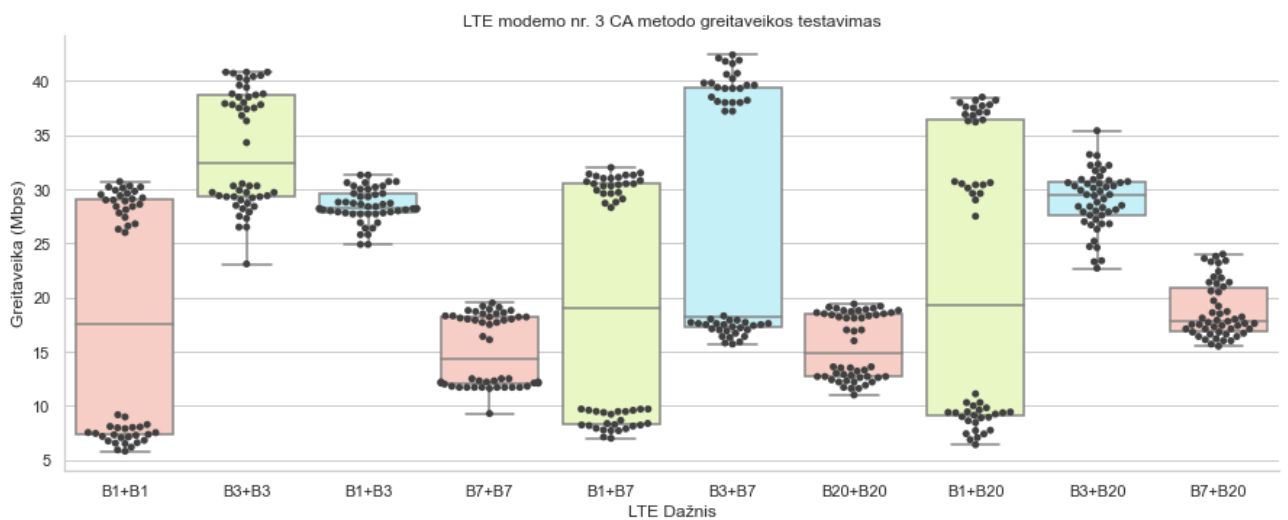
Šis eksperimentas buvo kartojamas 2 kartus skirtingu paros metu, tada rezultatai buvo sujungti į bendrus rezultatų grafikus. Pirmiausia kiekvienam LTE modemui paleidžiamas kalibravimo „CA“ metodas, kad būtų galima nustatyti, kuriame dažnyje pasiekama geriausia mobiliųjų duomenų išsiuntimo sparta. Kiekvieno LTE modemo rezultatai pateikiami **5.12 pav.** **5.13 pav.** ir **5.14 pav.** paveiksluose.



5.12 pav. Pirmo LTE modemo Kalibravimo "CA" testo rezultatai

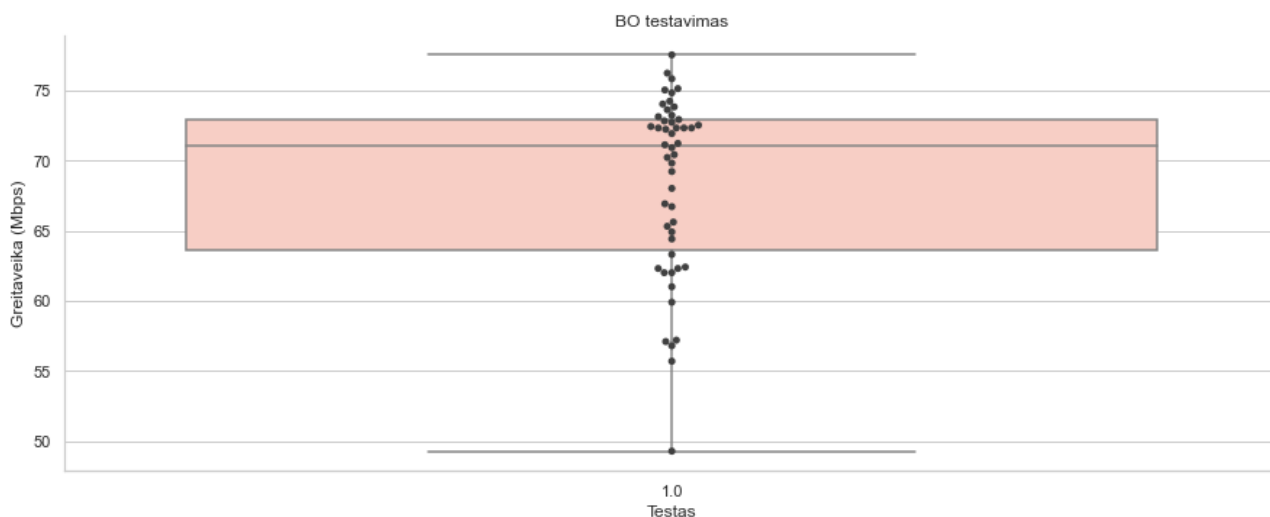


5.13 pav. Antro LTE modemo Kalibravimo "CA" testo rezultatai



5.14 pav. Trečio LTE modemo Kalibravimo "CA" testo rezultatai

Išmatavus kiekvieno mobiliojo duomenų kanalo greitaveiką, sukonfigūruojami LTE modemų dažniai. Pirmas LTE modemas geriausiai dažnius pasiekė, naudodamas „B3+B3“ dažnio juostas, jo greitis buvo 33 Mbps. Antras LTE modemas vidutinę 30Mbps greitaveiką pasiekė, naudodamas „B3+B20“ dažnio juostas, o trečias LTE modemas su „B3+B3“ dažnio juosta pasiekė 33,7 Mbps greitaveiką. Nustačius LTE modemams atitinkamas dažnio juostas paleidžiamas „BO“ metodo kalibravimas. Šiometodo testo rezultatai pateikiami **5.15 pav.**



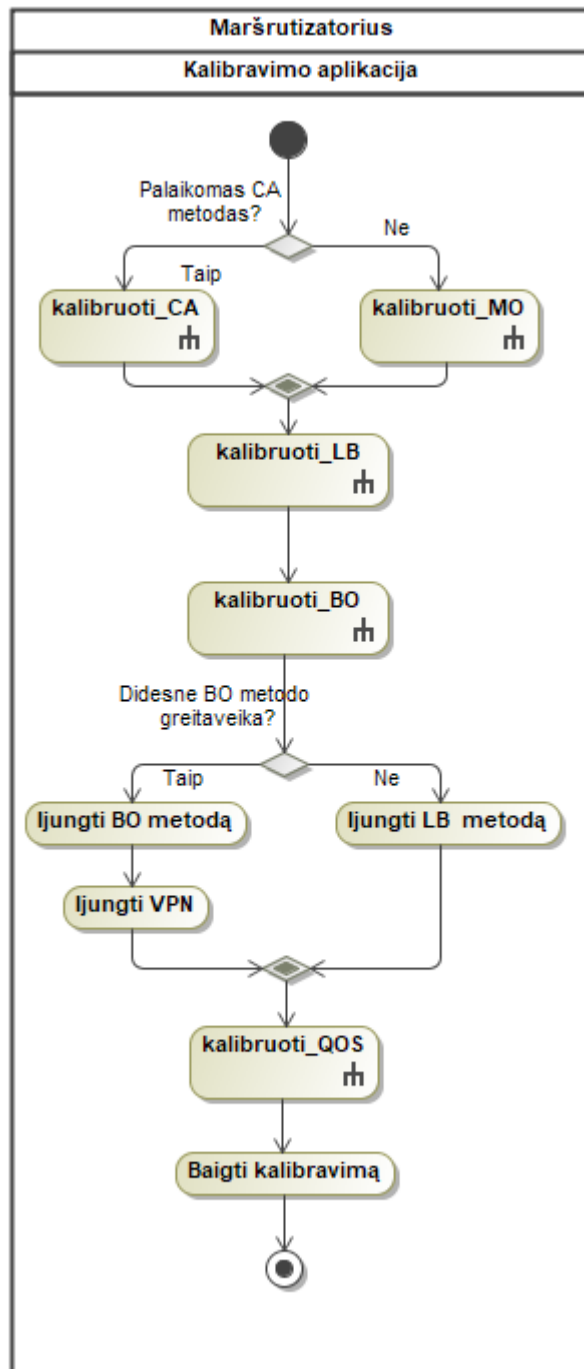
5.15 pav. Kalibravimo "BO" testo rezultatai

5.6.3. Eksperimento apibendrinimas ir išvados

Po rezultatų analizės matosi, kad sumavimo „BO“ metodu apjungti visi 3 mobilieji kanalai pasiekė 68,2 Mbps vidutinį išsiuntimo greitį. Testavimo metu, didžiausias išsiuntimo greitis buvo 77,5 Mbps, mažiausias – 49,3Mbps. Naudojant šį kalibravimo metodą gaunamas ženkliai didesnis greitis nei reikalingas gyvajai videotransliacijai transliuoti. Tačiau iš rezultatų matyti, kad sujungus 3 mobiliuosius kanalus, suminis vidutinis greitis nukrenta iki 72,5%.

5.7. Pilno sprendimo taikymas

Automatinio kalibravimo veiklos diagrama pavaizduota **5.16 pav.**



5.16 pav. Automatinio kalibravimo veiklos diagrama

5.7.1. Pasiruošimas eksperimentui

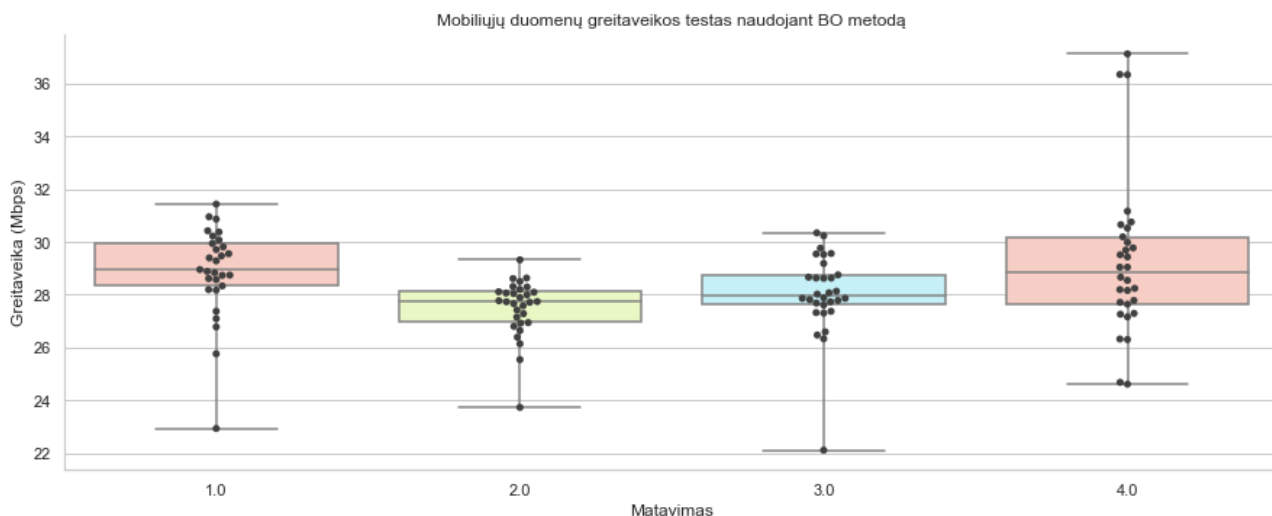
Kompiuteryje paleidžiama kalibravimo aplikacija ir jungiamasi prie maršrutizatoriaus spaudžiant „Login“ mygtuką. „Console“ lange turi matytis pranešimas „Ready for work!“.

5.7.2. Eksperimento eiga ir rezultatai

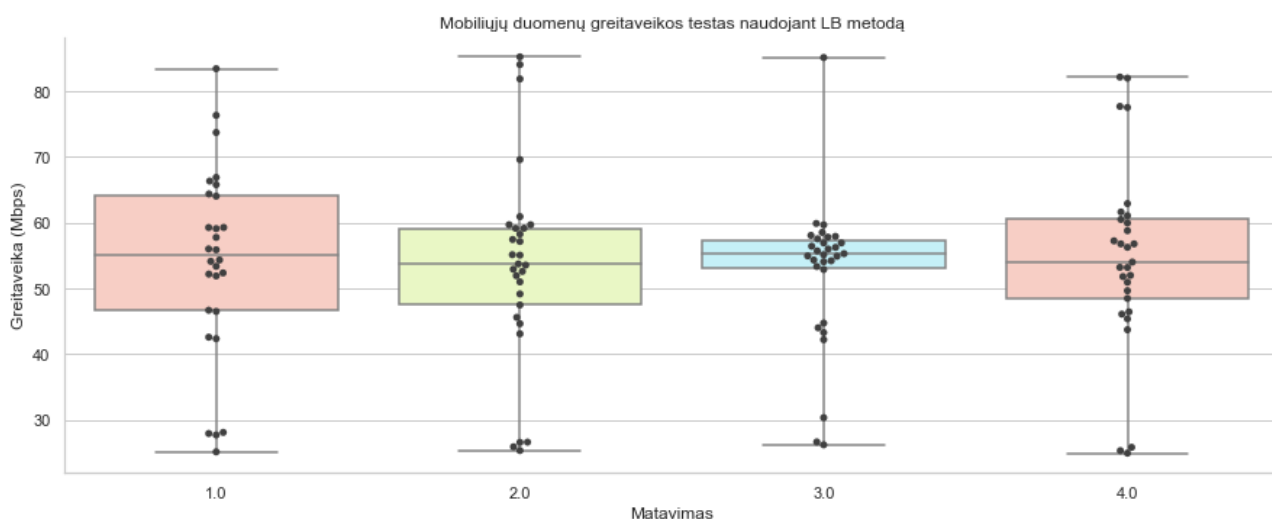
Spaudžiamas „Run AUTO method“. Pasibaigus kalibravimui „Console“ lange matomas pranešimas „Calibration done“.

Atlikus maršrutizatoriaus kalibravimą, išmatuojama greitimeika naudojant „Speedtest by Ookla“ aplikacija. Testai buvo atliekami pasirinkus „LB“ metodą ir pasirinkus „BO“ metodą.

Kiekvienas testas buvo atliktas po 4 kartus, kurį sudarė 30 matavimų. „Speedtest“ testų rezultatai kai pasirinktas „BO“ metodas - pateikiami **5.17 pav.**, o kai pasirinktas „LB“ metodas pateikiami - **5.18 pav.**



5.17 pav. Mobilijų duomenų greitaveikos testas naudojant BO metodą



5.18 pav. Mobilijų duomenų greitaveikos testas naudojant LB metodą

5.7.3. Eksperimento apibendrinimas ir išvados

Išmatavus realius greičius, kuriuos pasiekia maršrutizatorius po automatinio metodo kalibravimo pastebėta, kad mobiliųjų kanalų sumavimo „BO“ metodo greitaveiką riboja VPN (angl. *Virtual Private Network*). Nustatyta, kad aparatinė įranga tokiam veikimui per virtualų privatų TCP tunelį yra per silpna ir pasiekė tik ~24,4Mbps vidutinį, tuo tarpu „LB“ metodu sukalibruotas maršrutizatorius naudodamas visus tris mobiliojo ryšio kanalus pasiekė ~53,4Mbps vidutinį išsiuntimo greitį.

5.8. Eksperimentų apibendrinimas ir išvados

Atlikus eksperimentus, kurie naudojo mobilaus tinklo optimizavimo „MO“, nešėjų sumavimo „CA“, apkrovos paskirstymo „LB“, sumavimo „BO“ ir paslaugų kokybės valdymo „QOS“ metodais, buvo nustatyta, kad šiuos visus metodus galima derinti tarpusavyje, norint išgauti didžiausią mobiliųjų duomenų greitaveiką. Eksperimentų metu buvo padarytos tokios išvados:

- Bazinis išsiuntimo greitis eksperimento metu buvo nustatytas kaip 25,7Mbps.

- Mobiliojo tinklo optimizavimo „MO“ metodas tinka kalibruoti CAT4 ir CAT6 kategorija turinčius LTE modulius.
- Nešėjų sumavimo „CA“ metodas tinka kalibruoti CAT6 kategoriją turinčius LTE modulius.
- Apkrovos paskirstymo „LB“ metodas tinka nustatyti, koku santykiu reikia naudoti mobiliųjų tinklų ryšio kanalus, kad būtų išgauta geriausia mobiliųjų tinklų greیتaveiką.
- Paslaugų kokybės valdymo „QOS“ metodas tinka nustatyti greیتaveikos limitus, tam, kad viena paslauga nenaudotų visos tinklo greیتaveikos.
- Sumavimo „BO“ metodas ženkliai padidina mobiliųjų duomenų spartą, tačiau šis metodas neišnaudoja 100% suminio vidutinio greičio. Eksperimentų metu buvo pasiektas 68,2 Mbps vidutinis išsiuntimo greitis.
- Panaudojus automatinio kalibravimo metodą, buvo pasiekta greیتaveika, kurios pakanka gyvosioms videotransliacijoms.

Rezultatų apibendrinimas ir išvados

- Gyvosios videotransliacijos nustatyti minimalūs duomenų spartos reikalavimai. 4K @30fps transliacijai reikalingas minimalus 34Mbps duomenų srautas.
- Išskirtos pagrindinės, tyrimui reikalingos, maršrutizatoriaus savybės. Atlikus panašių įrenginių analizę, pasirinktas UAB „Teltonika“ gaminamas RUTX11 maršrutizatorius.
- Detalizuotos LTE modulių savybės ir specifikacijos, iširtos šalies operatorių teikiamos paslaugos. Tyrimui bus naudojami, CAT6 „Quectel“ įmonės gaminami, LTE moduliai.
- Informacinė sistema sudaryta iš dviejų didelių posistemų – testavimo ir videotransliacijos posistemės.
- Sumodeliavus panaudojimo atvejus, išskirti du pagrindiniai aktoriai – Transliuotojas ir Stebėtojas.
- Demonstracinei videotransliacijos sistemai bus naudojama „YouTube“ video-transliavimo ir stebėjimo platforma.
- Kalibravimo posistemės automatinis konfigūravimas įtraukia penkis, spartos didinimo metodus, taip išgaudamas didžiausią mobiliųjų duomenų greitaveiką.
- Mobiliojo tinklo optimizavimo „MO“ metodas tinka kalibruoti CAT4 ir CAT6 kategorija turinčius LTE modulius.
- Nešėjų sumavimo „CA“ metodas tinka kalibruoti CAT6 kategoriją turinčius LTE modulius.
- Apkrovos paskirstymo „LB“ metodas tinka nustatyti, kokių santykiu reikia naudoti mobiliųjų tinklų ryšio kanalus, kad būtų išgauta geriausia mobiliųjų tinklų greitaveiką.
- Paslaugų kokybės valdymo „QOS“ metodas tinka nustatyti greitaveikos limitus, tam, kad viena paslauga nenaudotų visos tinklo greitaveikos.
- Sumavimo „BO“ metodas ženkliai padidina mobiliųjų duomenų spartą, tačiau šis metodas neišnaudoja 100% suminio vidutinio greičio.
- Bazinis išsiuntimo greitis eksperimento metu buvo nustatytas kaip 25,7Mbps.
- Naudota aparatinė įranga per silpnai išnaudoti visą sumavimo „BO“ metodo teikiamą naudą.
- Geriausia greitaveika realiomis sąlygomis buvo pasiekta naudojant apkrovos paskirstymo „LB“ metodą.
- Panaudojus automatinio kalibravimo metodą, buvo pasiekta greitaveika, kurios pakanka gyvosios videotransliacijoms.

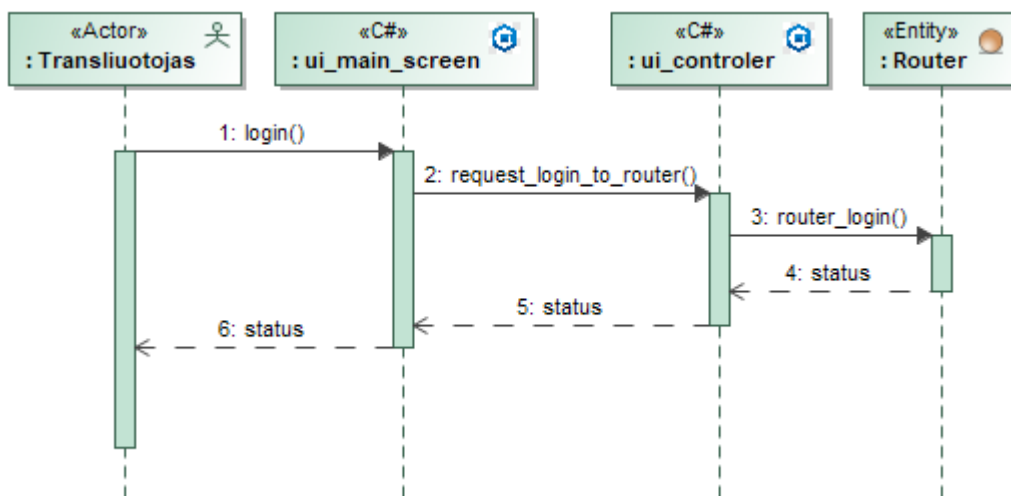
Literatūros sąrašas

1. Kompiuterinių tinklų saugumo terminų aiškinamasis žodynas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-11-26]. Prieiga per: <http://tinklusaugumas.lt/4G>
2. Mobile Networks [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-11-26]. Prieiga per: <https://halberdbastion.com/intelligence/mobile-networks>
3. Comment utiliser la qualité de service (QoS) pour obtenir un accès Internet plus rapide lorsque vous en avez vraiment besoin [žiūrėta 2020-11-25]. Prieiga per: <https://www.phhsnews.com/how-to-use-quality-of-service-to-get-faster-internet-when-you-really-need-it1556>
4. Quality of Service (QoS) concept and architecture [žiūrėta 2020-11-25]. Prieiga per: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=783>
5. Manogaran Dinesh. QOE/QOS cross layer resource management in LTE networks [interaktyvus]. Kauno technologijos universitetas, 2016 [žiūrėta 2020-11-25]. Prieiga per: <https://vb.ktu.edu/permalink/f/agvpl5/ELABAETD16238620>
6. Ryšio žemėlapis [interaktyvus]. Telia, [žiūrėta 2020-11-26]. Prieiga per: <https://www.telia.lt/privatiems/rysio-zemelapis>
7. LTE tinklų teorinių spartos skaičiavimų zonos [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-11-26]. Prieiga per: <https://www.rrt.lt/judriojo-rysio-tinklu-tiketinos-aprepties-zonos>
8. LTE 6 kategorija [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-11-26]. Prieiga per: <http://lt.ltevoip.com/news/lte-category-24878444.html>
9. SD, HD and 4K – Streaming Video Resolutions Explained [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-12-20]. Prieiga per: <https://www.muvi.com/blogs/streaming-video-resolutions.html>
10. ATSTUMŲ MATAVIMO IŠ VAIZDO MEDŽIAGOS TIKSLUMO TYRIMAS, Jonas Vičius, 2017. [žiūrėta 2020-12-20]. Prieiga per: <https://vb.ktu.edu/permalink/f/agvpl5/ELABAETD22810471>
11. Choose live encoder settings, bitrates, and resolutions [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-12-20]. Prieiga per: <https://support.google.com/YouTube/answer/2853702?hl=en>
12. Cisco RV340W [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-12-20]. Prieiga per: http://en.techinfodepot.shoutwiki.com/wiki/Cisco_RV340W
13. Teltonika products [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-12-20]. Prieiga per: <https://teltonika-networks.com/lt/product>
14. Mikrotik products [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-12-20]. Prieiga per: https://mikrotik.com/product/rb4011igs_5hacq2hnd_in
15. Quectel products [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-12-21]. Prieiga per: <https://www.quectel.com/product/list/4GIoTModule.htm>
16. Autonominio aplinkos stebėjimo roboto saugaus komunikavimo metodo sudarymas ir tyrimas, Tadas Malinauskas, 2020. [žiūrėta 2020-12-22]. Prieiga per: <https://vb.ktu.edu/permalink/f/agvpl5/ELABAETD61135130>

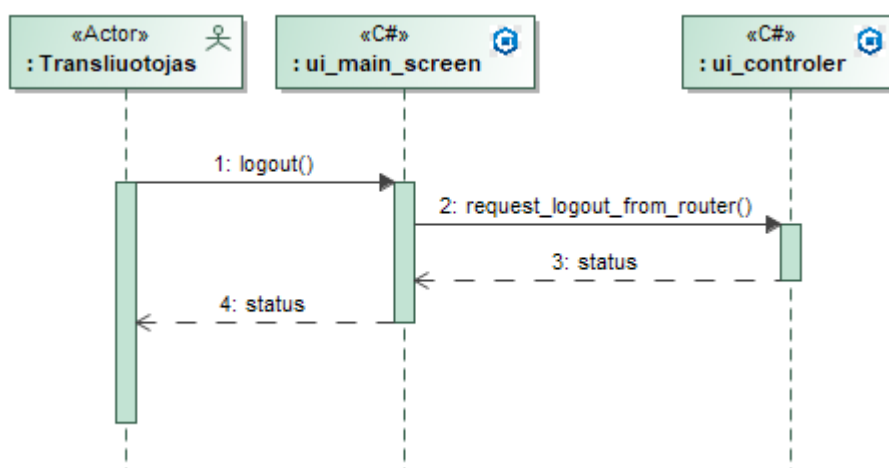
Priedai

1 Priedas. Kalibravimo posistemės sekų diagramos

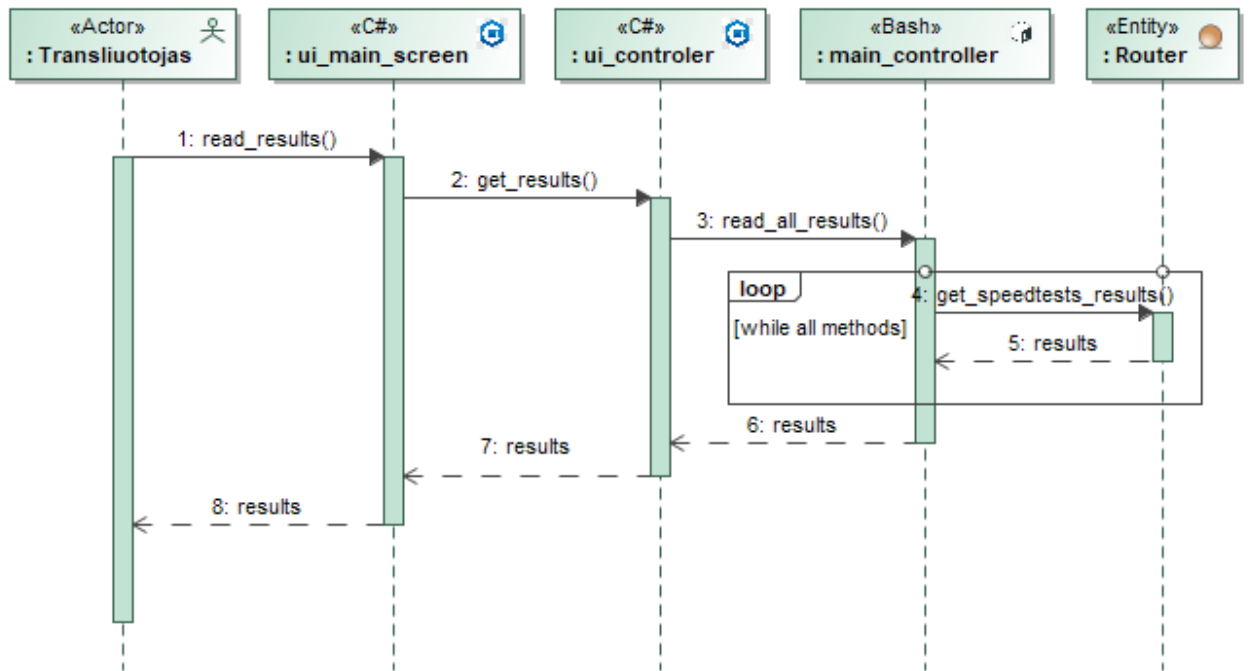
Šiame priede pateikiamos kalibravimo posistemės panaudojimo atvejų sekų diagramos.



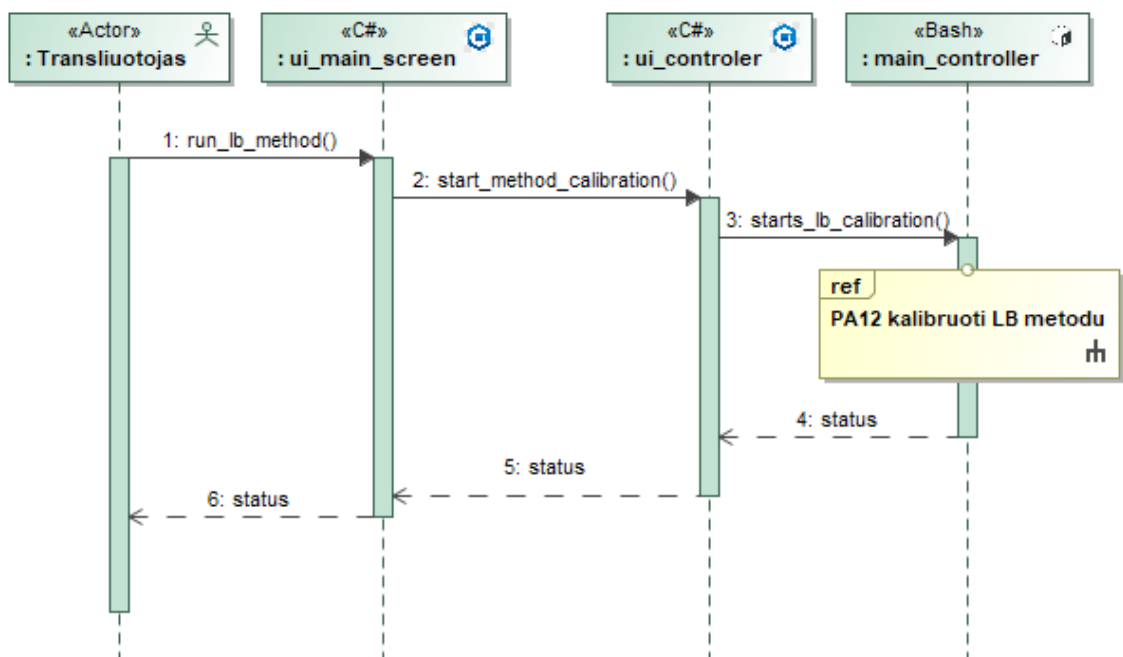
5.19 pav. PA 01 "Prisijungti prie maršrutizatoriaus" sekų diagrama



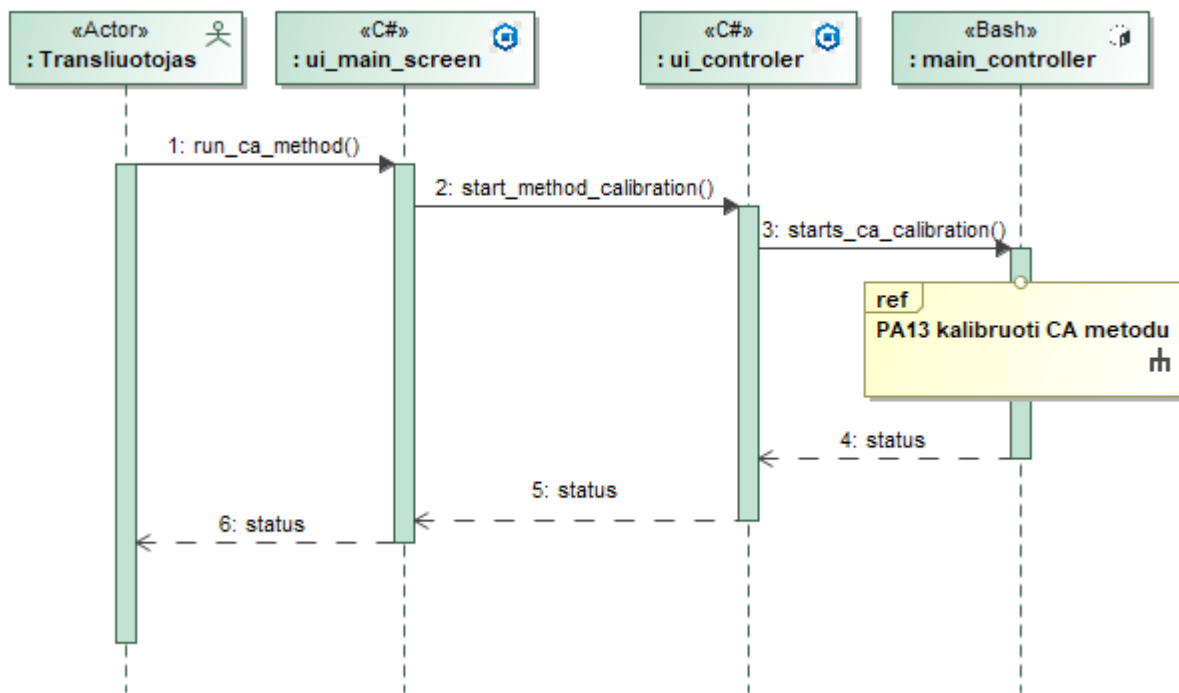
5.20 pav. PA 02 "Atsijungti nuo maršrutizatoriaus" sekų diagrama



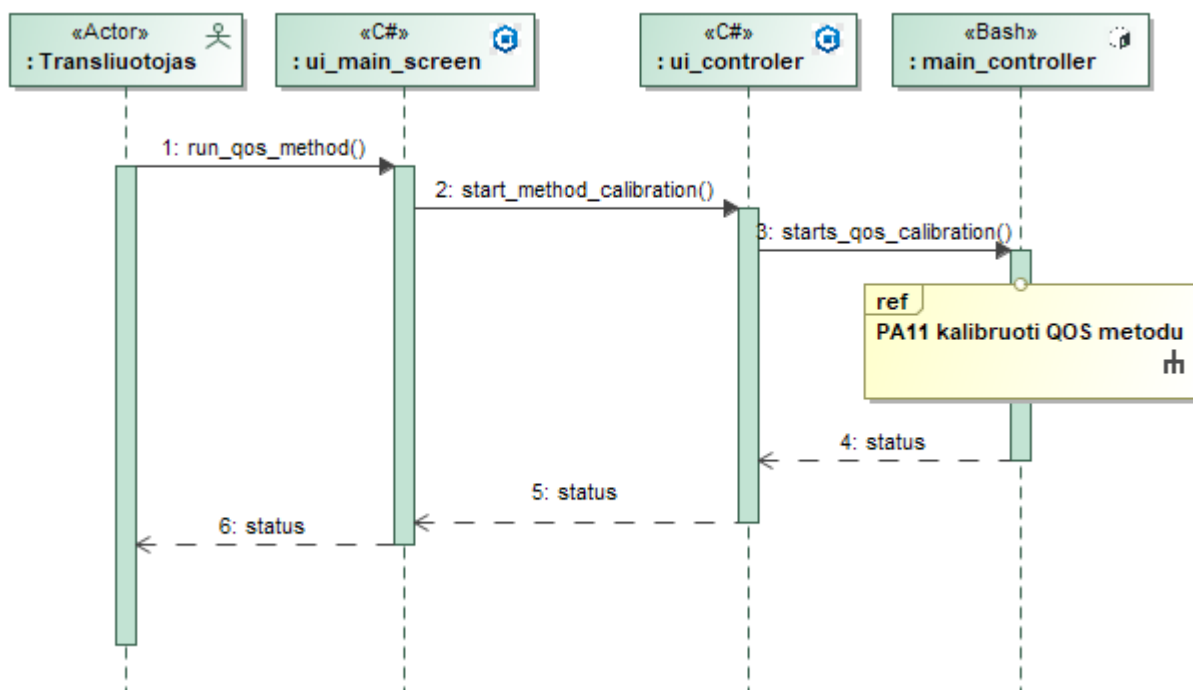
5.21 pav. PA 04 " Peržiūrėti testo rezultatus" sekų diagrama



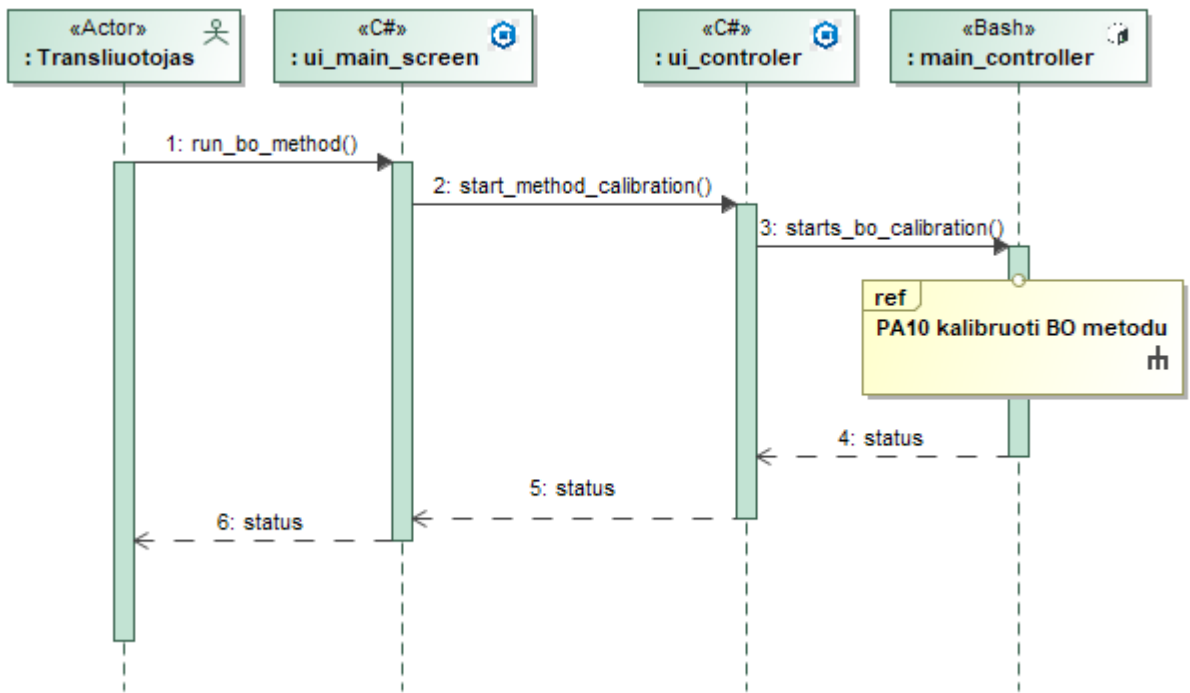
5.22 pav. PA 05 „Inicijuoti „LB kalibravimą““ sekų diagrama



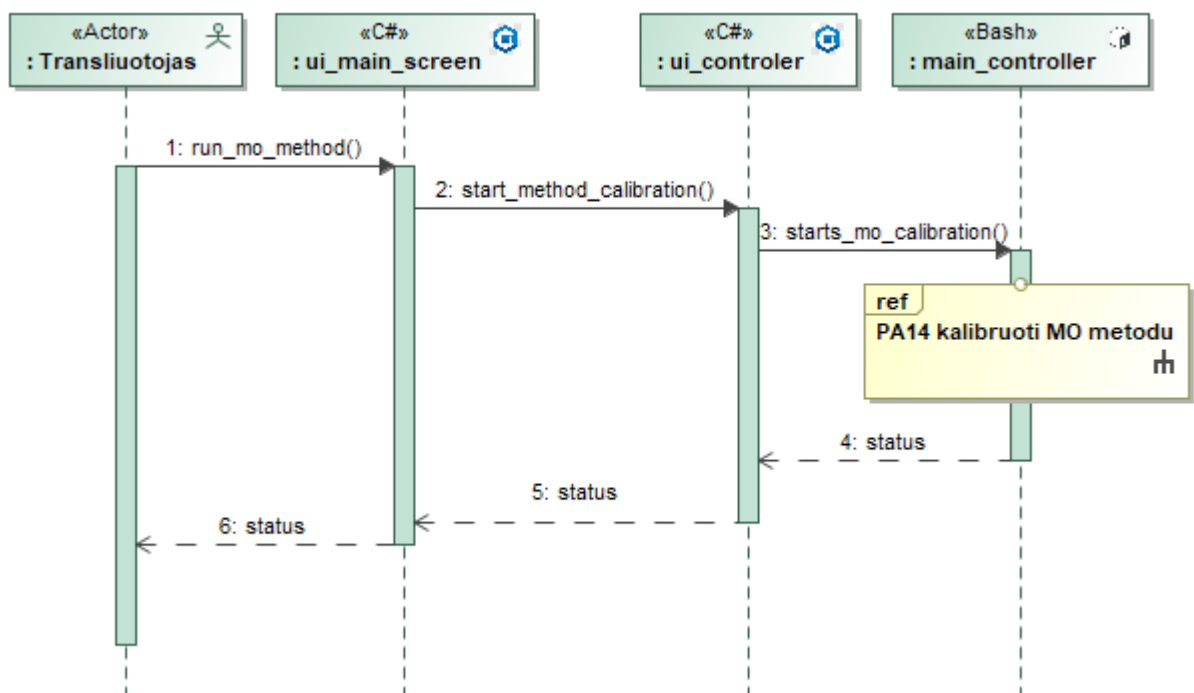
5.23 pav. PA 06 „Inicijuoti „CA“ kalibravimą“ sekų diagrama



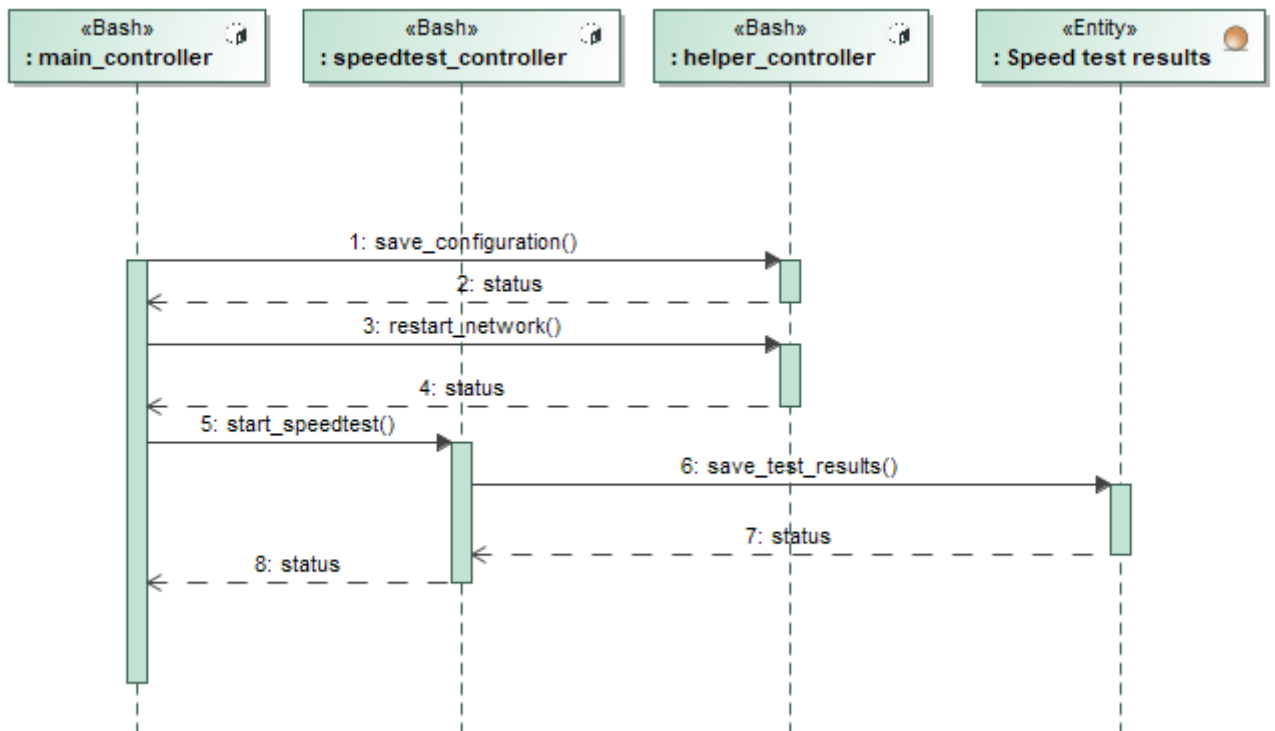
5.24 pav. PA 07 „Inicijuoti „QOS“ kalibravimą“ sekų diagrama



5.25 pav. PA 08 „Inicijuoti „BO“ kalibravimą“ sekų diagrama



5.26 pav. PA 9 „Inicijuoti „MO“ kalibravimą“ sekų diagrama



5.27 pav. PA 10 „Kalibruoti „BO“ metodu“ sekų diagrama