



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

**Išmaniosios automobilių statymo atstumo sistemos
realizavimas bei atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo
tyrimas, pagrįstas „Bluetooth Low Energy“ technologija**

Baigiamasis magistro projektas

Žygimantas Takulinskas

Projekto autorius

Prof. dr. Egidijus Kazanavičius

Vadovas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Išmaniosios automobilių statymo atstumo sistemos realizavimas bei atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo tyrimas, pagrįstas „Bluetooth Low Energy“ technologija

Baigiamasis magistro projektas

Programų sistemų inžinerija (kodas 6211BX011)

Žygimantas Takulinskas

Projekto autorius

Prof. dr. Egidijus Kazanavičius

Vadovas

Prof. dr. Agnius Liutkevičius

Recenzentas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Žygimantas Takulinskas

Išmaniosios automobilių statymo atstumo sistemos realizavimas bei atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo tyrimas, pagrįstas „Bluetooth Low Energy“ technologija

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autorius 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.

Žygimantas Takulinskas

Patvirtinta elektroniniu būdu

Žygimantas Takulinskas. Išmaniosios automobilių statymo atstumo sistemos realizavimas bei atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo tyrimas, pagrįstas „Bluetooth Low Energy“ technologija. Magistro baigiamasis projektas. Vadovas prof. dr. Egidijus Kazanavičius. Kauno technologijos universitetas, informatikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Programų sistemų inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: daiktų internetas, atstumo įvertinimo ir padėties nustatymas, išmanioji automobilių statymo sistema, „Bluetooth“ technologija, „LoRa“ technologija, BLE technologija, „Android“, „iOS“.

Kaunas, 2021. 69 p.

Santrauka

Šio magistrinio darbo tikslas: sukurti išmaniają automobilių statymo bei jų padėčių įvertinimo sistemą, atlikti atstumo ir vietos nustatymo tyrimą, paremtą „Bluetooth Low Energy“ technologija. Sistema sudaryta iš tarpusavyje sąveikaujančių programinės ir aparatinės įrangos dalių – tai vairuotojams skirta išmanioji programėlė, automobilio nustatymo jutiklio bei išmaniosios žymos. Programinė įranga realizuota Java ir C kalbomis, panaudojant „Java Spring“, „Android Studio“ karkasus bei „Arduino“ technologijas. Aparatinė įranga sudaryta iš pasirenkamo automobilio atpažinimo jutiklio, mikroprocesoriaus ir „Bluetooth“ bei LoRaWAN ryšio modulių. Ši sistema išsiskiria iš daugumos rinkoje esančių panašių produktų dėl funkcionalumo, leidžiančio nustatyti tikslų automobilio stovėjimo laiką. Projektas geba autentifikuoti vartotoją, nustato jo poziciją, veikia realiu laiku. Darbo metu atliktas „Bluetooth Low Energy“ įrenginių, atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo tyrimas. Iširtos ir išbandytos trys skirtingos atstumo įvertinimo, kampo nustatymo bei daugiašalio įvertinimo paieškos metodikos, ištestuoti joms – sukurti algoritmai, skirti įvertinti gautų duomenų patikimumą. Tačiau didžiausias proveržis – gautas tikslumas, pritaikius daugiakrypčių ir blokuojamų signalų prevenciją, suteikiančią galimybę ignoruoti aplinkoje esančius kūnus. Sukurta sistema gali būti naudojama: sprendžiant automobilių pertekliaus problemas, daiktų interneto tinklo plėtrai, objektų paieškai ir taikant ryšio signalo stiprumo metodikas – vietos nustatymui.

Žygimantas Takulinskas. Smart Parking System Realization and Research of Distance Estimation and Positioning Based on Bluetooth Low Energy Technology. Master's Final Degree Project. Supervisor prof. dr. Egidijus Kazanavičius. Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Software systems engineering.

Keywords: Internet of Things, Distance Estimation and Positioning, Smart Parking System, „Bluetooth“ technology, „LoRa“ technology, BLE technology, „Android“, „iOS“.

Kaunas, 2021. 69 p.

Summary

The aim of this master's thesis is to develop smart parking system and perform and determine a research of distance estimation and positioning based on Bluetooth low energy technology. The system consists of interoperable software and hardware components - a smart application for drivers, a vehicle detection sensor and a smart tag. The software is developed with Java and C languages using Java Spring, Android Studio frameworks and Arduino technologies. The hardware consists of an optional car identification sensor, a microprocessor and Bluetooth and LoRaWAN communication modules. This system differs from most similar products on the market in its functionality, which allows you to determine the exact parking time of the car. The project is able to authenticate the user, determine his position, works in real time. A study of Bluetooth Low Energy devices, distance estimation and positioning was performed during the work. Three different search methods for distance estimation, determination and multilateral estimation have been investigated and tested, and algorithms have been developed to evaluate the reliability of the data. However, the biggest breakthrough is the accuracy obtained by applying multi-directional and blocked signal prevention, which makes it possible to ignore the bodies in the environment. The developed system can be used: for solving the problems of car surplus, for the development of the Internet of Things network, for the search of objects and for the application of communication signal strength methodologies - for location determination.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	13
1. Analitinė dalis	14
1.1. Projekto tikslas ir adresatas	14
1.2. Išmaniosios automobilių statymo sistemos vizija	14
1.3. Išmaniosios automobilių statymo sistemos įranga	15
1.3.1. Aparatinė sistemos įranga.....	15
1.3.2. Programinė sistemos įranga.....	15
1.4. Egzistuojantys sprendimai	16
1.4.1. „CrossPark“ sistema	16
1.4.2. „MobiDev - Smart Parking Solution“ sistema	17
1.4.3. „uniPark“ sistema	18
1.4.4. „NB-IoT“ sistema	19
1.4.5. Egzistuojančių sprendimų analizės apibendrinimas.....	19
1.5. Situacijos Lietuvoje įvertinimas	21
1.6. Padėties nustatymas radijo bangomis	21
1.6.1. Mažos energijos „Bluetooth“ technologija.....	21
1.6.2. „Bluetooth Low Energy“ radijo sąsaja	22
1.6.3. „Bluetooth Low Energy“ protokolai.	23
1.6.4. Mažos energijos „Bluetooth“ technologijos pritaikymas išmaniosiose žymose	23
2. Projektinė dalis	26
2.1. Projekto paskirtis	26
2.2. Sistemos paskirtis ir panaudos atvejai.....	26
2.3. Bendrieji išmaniosios automobilių statymo sistemos apribojimai	27
2.3.1. Reikalavimai išmaniosios automobilių statymo sistemos išvaizdai.....	28
2.3.2. Reikalavimai sistemos stiliui.....	28
2.3.3. Reikalavimai naudojimosi paprastumui	29
2.3.4. Personalizavimo ir kalbos konfigūravimo reikalavimai.....	29
2.3.5. Mokymosi reikalavimai.....	29
2.3.6. Suprantamumo ir mandagumo reikalavimai	30
2.3.7. Reikalavimai užduočių vykdymo greičiui.....	30
2.3.8. Darbo ir aplinkos saugos reikalavimai	31
2.3.9. Reikalavimai tikslumui.....	31
2.3.10. Reikalavimai patikimumui ir pasiekiamumui	31
2.3.11. Reikalavimai atsparumui trukdžiams ir klaidoms	32
2.3.12. Numatoma fizinė aplinka	32
2.3.13. Reikalavimai darbui su gretimomis sistemomis.....	32
2.3.14. Reikalavimai sistemos platinimo ir/ar gamybos formatui.....	33
2.3.15. Pritaikymui kitoms platformoms reikalavimai.....	33
2.3.16. Reikalavimai savisaugai nuo išorinių grėsmių	33

2.3.17. Atitikties standartams reikalavimai	34
2.3.18. Kitos potencialios problemos	34
2.4. Išmaniosios automobilių statymo sistemos architektūra	34
2.4.1. Išmaniosios automobilių statymo sistemos statinis vaizdas	35
2.4.2. Išmaniosios automobilių statymo sistemos paketų detalizavimas.....	35
2.4.3. Išmaniosios automobilių statymo sistemos būsenos diagramos.....	39
2.4.4. Išmaniosios automobilių statymo sistemos sekų diagramos	42
2.4.5. Išmaniosios automobilių statymo sistemos komponentų išsidėstymo vaizdas	47
3. Tyrimas ir eksperimentinė dalis.....	49
3.1. Esamas funkcionalumas	49
3.2. Atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo algoritmo kūrimas	49
3.2.1. Atstumo įvertinimo metodas	49
3.2.2. Kampo nustatymo metodas	50
3.2.3. Daugiašalio nustatymo metodas	51
3.3. Daugiakrypčių ir blokuojamų signalų prevencija.....	51
3.4. Išmaniosios automobilių statymo sistemos įgyvendinimas.....	52
3.4.1. Aparatinės įrangos platforma	52
3.4.2. Programinė įranga	53
3.5. Testavimo procesas	54
3.6. Eksperimentų rezultatai ir jų analizė	55
3.6.1. Atstumo įvertinimas metodika	55
3.6.2. Kampo nustatymo metodika.....	56
3.6.3. Daugiašalio nustatymo metodika	57
3.6.4. Metodikų palyginimas	58
Išvados	60
Literatūros sąrašas	61
Priedai.....	64
1 priedas. Išmaniosios programėlės vartotojo vadovas	64

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Aparatinė įranga	15
2 lentelė. Egzistuojančių sistemų palyginimas.....	20
3 lentelė. Klasikinio Bluetooth ir BLE skirtumai	24
4 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-01.....	28
5 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-02.....	28
6 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-03.....	28
7 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-04.....	29
8 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-05.....	29
9 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-06.....	29
10 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-07.....	30
11 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-08.....	30
12 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-09.....	30
13 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-09.....	31
14 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-10.....	31
15 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-11.....	31
16 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-12.....	32
17 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-13.....	32
18 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-14.....	32
19 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-15.....	33
20 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-16.....	33
21 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-17.....	33
22 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-18.....	34
23 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-19.....	34
24 lentelė. Skirtingų algoritmų, rezultatų lentelė	59

Paveikslų sąrašas

1 pav. Išmaniosios automobilių statymo sistemos vizija	14
2 pav. „CrossPark“ sistemos vizualus konceptas [3]	17
3 pav. „Smart Parking Solution“ įrenginių veikimo pavyzdys [4]	17
4 pav. „MobiDev – Smart Parking Solution“ komponentų schema [4].....	18
5 pav. „NB-IoT“ sistemos vizualus konceptas [6].....	19
6 pav. Pagrindiniai „Bluetooth 4.0“ dvigubo režimo lustų rinkinio komponentai.....	22
7 pav. BLE kanalo konfigūracija	23
8 pav. BLE švyturys „Apple AirTag“ [22]	24
9 pav. Panaudos atvejų diagrama	27
10 pav. Paketų diagrama	35
11 pav. Paketo Backend (Spring boot Rest Api) modelių diagrama	36
12 pav. Paketo Backend (Spring boot Rest Api) duomenų diagrama.....	36
13 pav. Paketo Backend (Spring boot Rest Api) direktorių diagrama.....	37
14 pav. Paketo Backend (Spring boot Rest Api) kontrolių diagrama.....	37
15 pav. Išmaniosios programėlės modelių diagrama	38
16 pav. Išmaniosios programėlės maketų diagrama	38
17 pav. Išmaniosios programėlės servisų diagrama	38
18 pav. Jutiklio klasių diagrama.....	39
19 pav. Registracijos, prisijungimo, atsijungimo būsenos diagramos	39
20 pav. Išmaniosios žymos įregistravimo, naujinimo, šalinimo būsenos diagramos	40
21 pav. Automobilio stovėjimo vietos rezervacijos, redagavimo atšaukimo būsenos diagramos	40
22 pav. Kelionės maršruto sudarymo būsenos diagrama	41
23 pav. Automobilų stovėjimo aikštelių bei paslaugų istorijos peržiūros, vartotojo informacijos naujinimo būsenos diagramos	41
24 pav. Automobilio aptikimo, įrenginio atpažinimo, informacijos perdavimo būsenos diagramos	42
25 pav. Vartotojo registracijos prie sistemos sekos diagrama	42
26 pav. Vartotojo jungimosi prie išmaniosios sistemos sekos diagrama	43
27 pav. Vartotojo atsijungimo nuo išmaniosios sistemos sekos diagrama	43
28 pav. Vartotojo informacijos naujinimo sekos diagrama	43
29 pav. Išmaniosios žymos įregistravimo sekos diagrama	44
30 pav. Išmaniosios žymos redagavimo sekos diagrama.....	44
31 pav. Išmaniosios žymos redagavimo sekos diagrama.....	45
32 pav. Automobilų stovėjimo aikštelių peržiūros sekos diagrama	45
33 pav. Automobilų stovėjimo vietos rezervacijos sekos diagramos	45
34 pav. Automobilų stovėjimo vietos rezervacijos pakeitimo sekos diagramos	46
35 pav. Automobilų stovėjimo vietos rezervacijos atšaukimo sekos diagrama.....	46
36 pav. Kelionės maršruto sudarymo sekos diagrama	46
37 pav. Kelionės maršruto sudarymo sekos diagrama	47
38 pav. Automobilio aptikimo, įrenginio atpažinimo, informacijos perdavimo	47
39 pav. Automobilio aptikimo, įrenginio atpažinimo, informacijos perdavimo.....	48
40 pav. Objekto padėties nustatymas remiantis atstumo įvertinimo principu	50
41 pav. Objekto padėties nustatymas remiantis trianguliacija	50
42 pav. Objekto padėties nustatymas remiantis daugiataškumo principu.....	51
43 pav. HM-10 siųstuvas ir „TTGO LoRa32 SX1276 OLED“ imtuvas	52

44 pav. Eksperimentas, atliekamas, automobilių stovėjimo aikštelėje	54
45 pav. Patikimumo bei vidutinio aptikimo greičio rezultatai, pagal atstumo įvertinimo metodiką	55
46 pav. Atstumo įvertinimo rezultatai, pagal atstumo įvertinimo metodiką.....	56
47 pav. Patikimumo bei vidutinio aptikimo greičio rezultatai, pagal kampo nustatymo metodiką..	56
48 pav. Atstumo įvertinimo rezultatai, pagal kampo nustatymo metodiką	57
49 pav. Patikimumo bei vidutinio aptikimo greičio rezultatai, pagal daugiašalio nustatymo principą	58
50 pav. Atstumo įvertinimo rezultatai, pagal daugiašalio nustatymo principą.....	58
51 pav. Objektų reakcija į aplinkoje esančius kūnus	59

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

IoT – Internet of Things (liet. *Daiktų internetas*);

OS – Operacinė sistema;

API – apibūdinimų, protokolų ir įrankių rinkinys;

IDE – Integrated Development Environment (liet. *Integruota kūrimo aplinka*);

BR – Basic Rate (liet. *Bazinė norma*);

EDR - Enhanced Data Rate (liet. *Patobulintas duomenų perdavimo greitis*);

BLE – Bluetooth Low Energy (liet. *Mažos energijos „Bluetooth“*);

GFSK – Gaussian Frequency Shift Keying (liet. *Gauso dažnio perjungimo klavišas*);

LoRaWAN – Long Range Wide Area Network (liet. *Ilgo nuotolio, didelio ploto tinklas*);

RSSI – Received signal strength indication (liet. *Gauta signalo stiprumo indikacija*);

UUID - Universally unique identifier (liet. *Visuotinai unikalus identifikatorius*);

TTN – The Things of Network (liet. *Tinklo dalykai*);

DB – Duomenų bazė;

DBVS – Duomenų bazių valdymo sistema.

Terminai:

API – apibūdinimų, protokolų ir įrankių rinkinys, kuris yra programinės įrangos tarpininkas, leidžiantis programoms kalbėtis tarpusavyje.

BLE – Bluetooth Low Energy (liet. *Mažos energijos „Bluetooth“*), tai belaidžio asmeninio tinklo technologija, sukurta veikti „Bluetooth“ technologijos pagrindu, skirta mažai energijos suvartojantiems išmaniems įrenginiams.

IDE – Integrated Development Environment (liet. *Integruota kūrimo aplinka*), tai specializuota kūrimo aplinka, leidžianti programuotojams rašyti, kurti programinę įrangą.

„Bluetooth“ – nedidelio nuotolio bevielio ryšio technologijos standartas, skirtas keistis duomenimis tarp stacionariųjų ir mobiliųjų įrenginių.

„LoRa“ – patentuota mažos galios plačiajuosčio tinklo moduliavimo technika, pagrįsta išsišakojančio spektro moduliacijos metodais.

Programinės įrangos karkasas – (eng. *software framework*), esminė programinės įrangos konstrukcija, suteikianti formą bei prasmę kuriamai programuojamai įrangai.

„**Android**“ – mobili operacinė sistema, skirta lietimo ekrano pagrindu veikiančioms mobiliesiems įrenginiams, pavyzdžiui, išmaniesiems telefonams ir planšetiniams kompiuteriams.

„**iOS**“ – mobili operacinė sistema, sukurta „Apple Inc.“, išimtinai savo aparatinei įrangai. Tai operacinė sistema, valdanti daugelį įmonės mobiliųjų įrenginių, įskaitant išmaniuosius telefonus ar kitus panašaus tipo įrenginius.

Daiktų internetas – fizinių objektų tinklas, sudarytas iš išmaniųjų įrenginių, pagrįstų veikti jutiklių ir programinės įrangos pagalba, kad būtų galima sujungti duomenis ir keistis jais su kitais prietaisais ir / ar sistemomis internete.

Išmanioji žyma – (eng. *Smart tag*), išmanusis prietaisas, skirtas lokalizavimui ir duomenų vientisumui patvirtinti.

„**Front End**“ – kūrimo sritis, apimanti vartotojo sąsajos dalį.

„**Back End**“ – kūrimo sritis, apimanti serverio programinę pusę, kuri turi sąsają tarp duomenų bazės ir naršyklės.

RSSI – Received signal strength indication (liet. *Gauta signalo stiprumo indikacija*), telekomunikacijų srityje gaunamo signalo stiprumo indikatorius, priimamojo radijo signalo galios matavimas.

UUID - Universally unique identifier (liet. *Visuotinai unikalus identifikatorius*), visuotinai unikalus identifikatorius yra 128 bitų skaičius, naudojamas identifikuoti informaciją kompiuterinėse sistemose.

Ivadas

Kelių transporto priemonių skaičius sparčiai viršija turimas automobilių stovėjimo vietas. Automobilių statymas tapo sunkiai išsprendžiama miesto plėtros problema. Valstybės įmonės, „Regitra“, tvarkančios Lietuvos Respublikos kelių transporto priemonių ir Lietuvos Respublikos kelių transporto priemonių vairuotojų registrus skelbia, kad 2019 metų duomenimis Lietuvoje šiuo metu registruota apie pusantro milijono lengvųjų automobilių [1], šis skaičius ir toliau auga, o šalis pagal tūkstančiui gyventojų priskiriamą automobilių kiekį užima net 24 vietą iš 191 tyrime dalyvavusių valstybių [2].

Transporto priemonių kiekiui išaugus žmonėms tampa vis sunkiau surasti laisvų stovėjimo vietų, automobiliams pastatyti. Ši problema tapo ypač aktuali didžiuosiuose miestuose, kur automašinių kiekis pats didžiausias. Vairuotojams yra vis sunkiau rasti, kur būtų galima palikti transporto priemonę, sugaištama gana daug laiko, išnaudojami resursai, galų gale ne visada įmanoma palikti automobilius arti kelionės tikslo. Visgi, miestuose gausu automobiliams skirtų stovėjimo aikštelių, kuriose laisvos vietos nėra optimaliai naudojamos. Suteikus galimybę išnaudoti visus turimus automobilių aikštelių resursus, sumažėtų ant gatvės paliekamų automobilių skaičius, jie būtų saugomi, o vairuotojai būtų užtikrinti dėl leistino transporto priemonių laikymo. Išmanių automobilių statymo sistemų dėka galima spęsti šią problemą. Šis sprendimas sudaro sąlygas suvaldyti automobilių aikštelėse esančių vietų skaičių, gana tiksliai apskaičiuoti stovėjimo laiką, padėti vairuotojams sutaupyti laiko bei resursų.

Šio projekto tikslas, remiantis daiktų internetu, sukurti išmaniąją transporto priemonių statymo sistemą skirtą Kauno technologijų universiteto Santakos slėnio automobilių stovėjimo aikštei, padaryti eksperimentą, kuriame palyginami skirtingi atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo metodai, remiantis „Bluetooth Low Energy“ technologija. Užsakovui verta finansuoti šį projektą, norint sumažinti studentų miestelio automobilių laikymo problemą. Šiuo metu dėl ypač mažo vietų skaičiaus automobiliams studentų transporto priemonės paliekamos gatvėse, neleistinose zonose. Uždaros universiteto aikštelės nėra tinkamai išnaudojamos, yra prieinamos tik darbuotojams. Ši sistema atvertų galimybę laisvai ir lanksčiai naudoti uždaras automobilių stovėjimo aikšteles tiek dėstytojams, tiek studentams.

Taigi apibendrinus, šio projekto pagrindinis tikslas – sukurti išmaniąją automobilių statymo sistemą, remiantis daiktų internetu, skirtą Kauno technologijų universiteto Santakos slėnio aikštei, bei padaryti eksperimentą, kuriame palyginami skirtingi atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo metodai šioje sistemoje, remiantis „Bluetooth Low Energy“ technologija.

1. Analitinė dalis

Skyriuje pateikiami projekto tikslai, išmaniosios automobilių statymo sistemos vizija, panašių sprendimų, komponentų bei sistemai įgyvendinti skirtų technologijų analizė.

1.1. Projekto tikslas ir adresatas

Projekto tikslai:

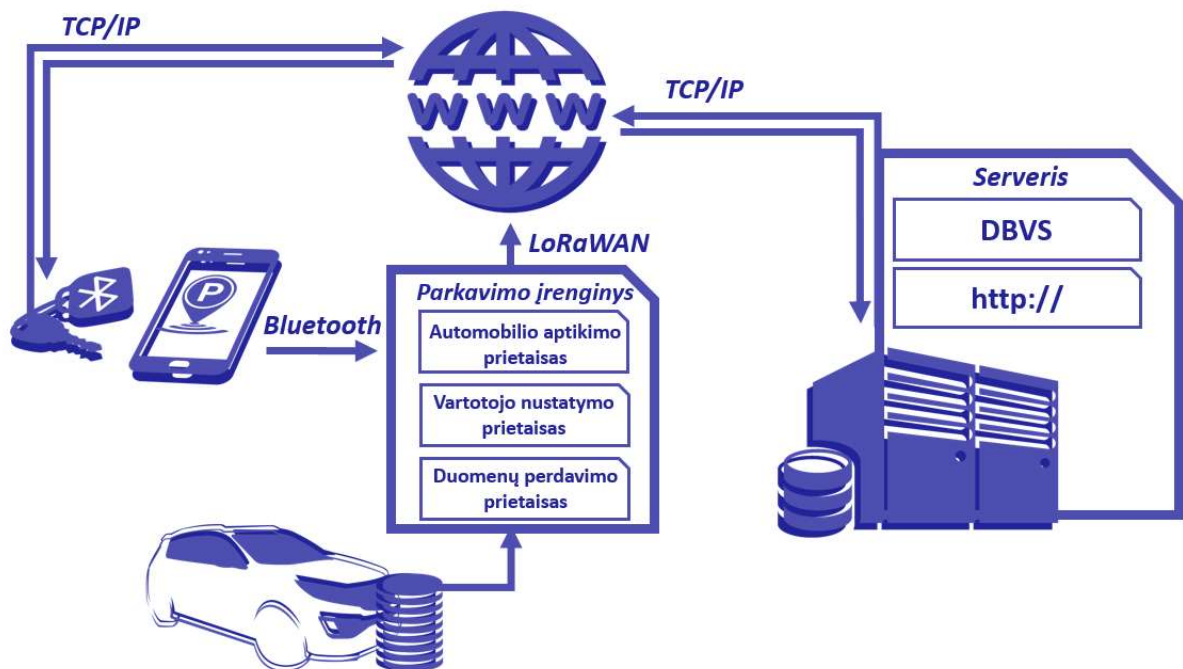
- KTU „Santakos“ slėniui priklausančiai automobilių stovėjimo aikšteliai sukurti išmaniają automobilių statymo sistemą, kuri padėtų valdyti lengvųjų transporto priemonių laikymą studentų miestelyje.
- Išmokyti pritaikyti daiktų interneto žinias praktikoje.
- Suprasti „Bluetooth“ bei LoRaWAN ryšio technologijas ir panaudoti jas praktikoje.
- Ištyri atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo metodus, pagrįstus „Bluetooth Low Energy“ technologija.
- Sukurti algoritmą išmaniųjų žymų paieškos algoritmą.

Potencialūs sistemos vartotojai:

- transporto priemonės vairuotojai;
- automobilių stovėjimo aikštelės savininkai.

1.2. Išmaniosios automobilių statymo sistemos vizija

Žemiau pavaizduotame 1 paveikslėlyje, pateikiama, sistemos vizija, jos komponentai, veikimo principas.



1 pav. Išmaniosios automobilių statymo sistemos vizija

Naudodamasis išmaniaja programėle vairuotojas gali patikrinti jam prieinamas automobilių stovėjimo aikšteles, tuo metu esantį laisvų ir / ar užimtų vietų skaičių, rezervuoti vietą parkavimo aikštelėje. Sistemos vartotojas privalo turėti išmanųjį prietaisą, kurio pagalba parkavimo aikštelėje esantys jutikliai nustato jo tapatybę, tai gali būti BLE siųstuvas arba išmanusis telefonas su įdiegta sistemos išmaniaja programėle. Pasistačius automobilį aikštelėje, automobilių aptikimo įrenginiai Bluetooth ryšio pagalba suranda ir identifikuoja, arčiausiai esančio vartotojo išmaniają žymą, patvirtinus vairuotojo tapatybę, pradedamas skaičiuoti stovėjimo laikas. Vairuotojui palikus aikštelę, paslauga užregistruojama kaip baigta, apskaičiuojamas stovėjimo laikas ir paslaugos kaina.

1.3. Išmaniosios automobilių statymo sistemos įranga

Skyriuje pateikiamos automobilių statymo sistemos realizacijai naudotos aparatinės ir programinės įrangos, jų komponentai.

1.3.1. Aparatinė sistemos įranga

Aparatinė įranga sudaryta iš dviejų įrenginių. Vieną jų, tai išmanųjį telefoną ar žymą sistemos naudotojas visuomet privalės turėti su savimi, šis įrenginys veiks žemo dažnio „Bluetooth“ ryšio protokolu, kuris padės patvirtinti vartotojo tapatybę. Tuo tarpu visose automobilių aikštelėse, esančiose stovėjimo vietose, bus pritvirtinti specialūs jutikliai, kurie atpažins automobilį, nustatys jo vairuotojo tapatybę ir perduos šią informaciją į serverį. Jutiklis veiks belaidžio „Bluetooth“ ryšio technologija, LoRaWAN ilgo nuotolio išmanių daiktų ryšio protokolu.

1 lentelė. Aparatinė įranga

Nr.	Pavadinimas	Paskirtis
1	Mikrovaldiklis su „Bluetooth“ bei LoRaWAN ryšio moduliais: „TTGO LoRa32 SX1276 OLED“.	Vartotojo nuskaitymui ir duomenų perdavimui.
2	Laisvai pasirenkamas automobilio nustatymo jutiklis	Automobiliui atpažinti.
3	Išmani žyma, veikianti remiantis „Bluetooth“ technologija.	Vartotojo tapatybės patvirtinimui.
4	Asmeninis kompiuteris su „Windows“ aplinka.	Aplinka, skirta sistemos serverio dalies veikimui užtikrinti.
5	Išmanusis įrenginys su „Android“ aplinka bei „Bluetooth“ technologija.	Aplinka, skirta vartotojo išmaniajai programėlei.

Projekte panaudota „TTGO LoRa32 SX1276 OLED“ plokštė [14]. Įrenginys pasižymi „ESP32“ mikrovaldikliu, kuris atsakingas už komandų bei procesų vykdymą. Plokštėje taip pat yra integruoti LoRaWAN bei „Bluetooth“ ryšio moduliai, išvestims atvaizduoti – OLED ekranas. Mikroschema prijungiama prie baterijos bei laisvai pasirenkamo automobilio nustatymo jutiklio, skirto automobiliui aptikti.

1.3.2. Programinė sistemos įranga

Programinė įranga sudaryta iš serverio, klientams ir vartotojams prieinamos mobiliosios programėlės. Išmanioji programėlė, skirta diegti į klientų bei vartotojų naudojamą technologijas, tai mobiliuosius telefonus ar kitus šią programėlę palaikančius prietaisus. Serveris talpinamas debesyse ar kokiam

nors specializuotame kompiuteryje. Šie įrankiai valdo išmanaus automobilių statymo sistemą, padeda atlikti visas teikiamas funkcijas.

Projektui realizuoti reikalinga programinė įranga:

- „Arduino IDE“, atviro kodo fizinio skaičiavimo platforma, skirta paprastoms plokščių išvestims bei įvestims programuoti [19].
- „Spring framework“, „Java“ platforma, skirta modernioms aplikacijoms kurti [16].
- Android Studio, oficialus įrenginys, Google leidžiamos „Android“ platformos, aplikacijoms kurti [20].
- „Bluetooth“, belaidžio ryšio protokolas, naudojantis nelicencijuotą ISM 2,4-2,485 GHz dažnį [12].
- „The Things Network“ – sistema, skirta sujungti ir užtikrinti LoRaWAN ryšio protokolu veikiančius įrenginius [15].
- „Google Maps“, Google žemėlapių peržiūros, valdymo sistema [21].

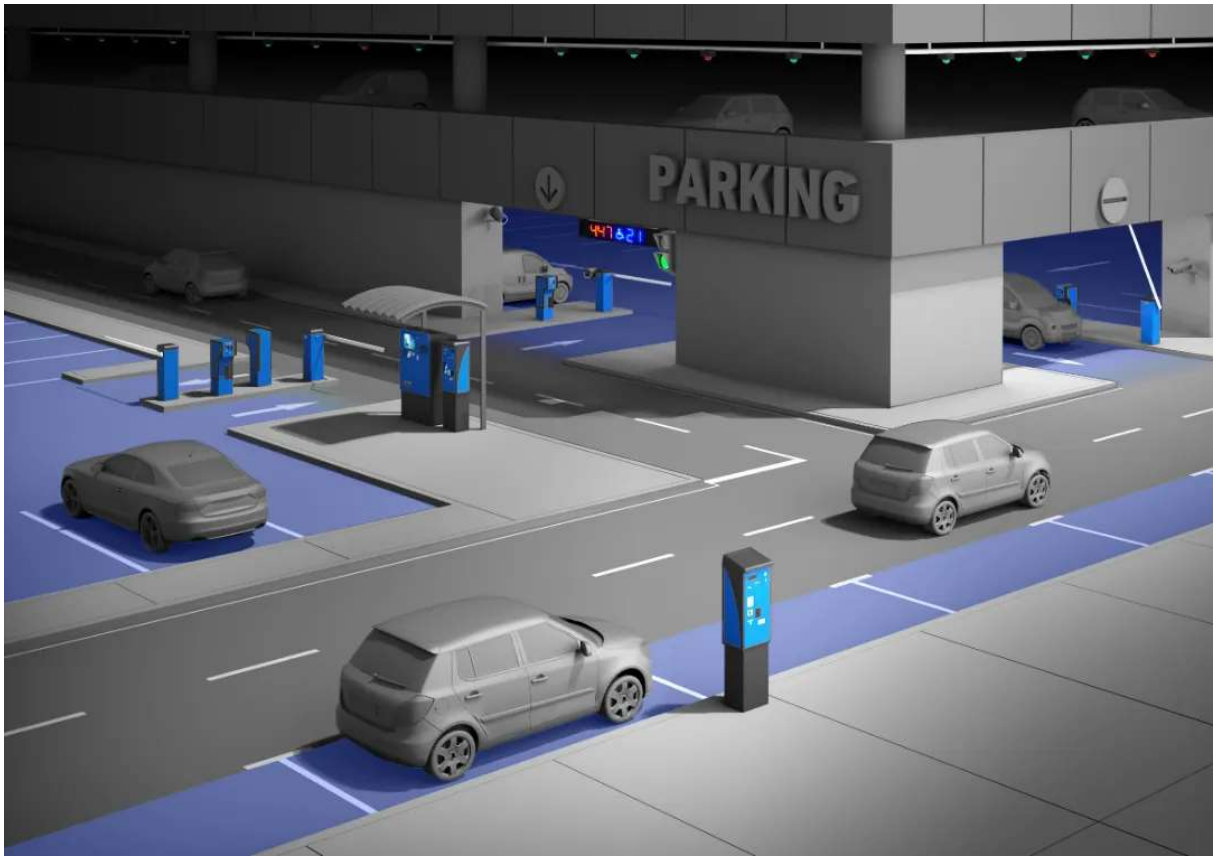
1.4. Egzistuojantys sprendimai

Transporto priemonių problema sprendžiama nuo automobilių atsiradimo laikų, tam buvo sukurta įvairiausių sprendimų. Visgi, dvidešimt pirmajame amžiuje automobilių kiekiui sparčiai išaugus, nebeapsieinama be interaktyviųjų sprendimų. Daiktų internetui augant, pradedami kurti išmanieji miestai, o išmaniosios aikštelės yra didelė viso to dalis. Todėl pamažu atsiranda įvairių pilnai funkcionuojančių ir realiaame gyvenime naudojamų išmanių automobilių statymo sistemų.

1.4.1. „CrossPark“ sistema

Čekijos įmonė „Cross“ kuria išmanias transporto priemonių aikšteles, taip pat kitus išmaniosius sprendimus transportui, kelių eismo kontrolei, automobilių spūsčių reguliavimui. Kompanijos sukurta „CrossPark“ sistema yra gana lanksti, ji taikoma tiek uždaroje, tiek atviroje automobilių aikštelėse, garažuose, todėl gali būti pritaikyta ir pastatytiems prie gatvės automobiliams [3].

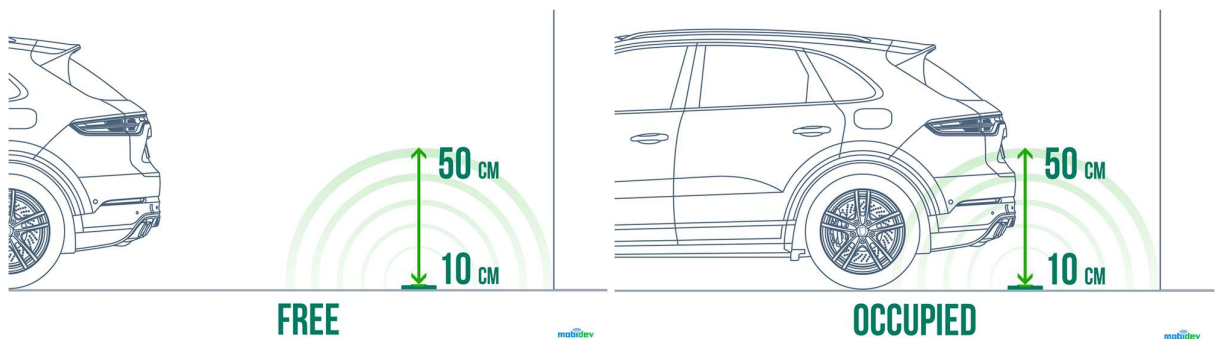
Sistema su specialiomis vaizdo kameromis surenka informaciją, registruoja įvažiuojančius ir išvažiuojančius automobilius. Taip pat jų pagalba nustatomi vairuotojų automobiliai bei nuotoliniu būdu stebima stovėjimo vietų būklė ir tvarka. Duomenys iš kamerų persiunčiami interneto pagalba į serverį, ten jie yra apdorojami ir atvaizduojami specialiaame sistemai valdyti sukurtame įrankyje, kur yra renkama informacija, sudaroma statistika, kuriamos ataskaitos, valdomi tarifai ir nuolaidos. Vizualus sistemos vaizdas matomas 2 paveikslėlyje.



2 pav. „CrossPark“ sistemos vizualus konceptas [3]

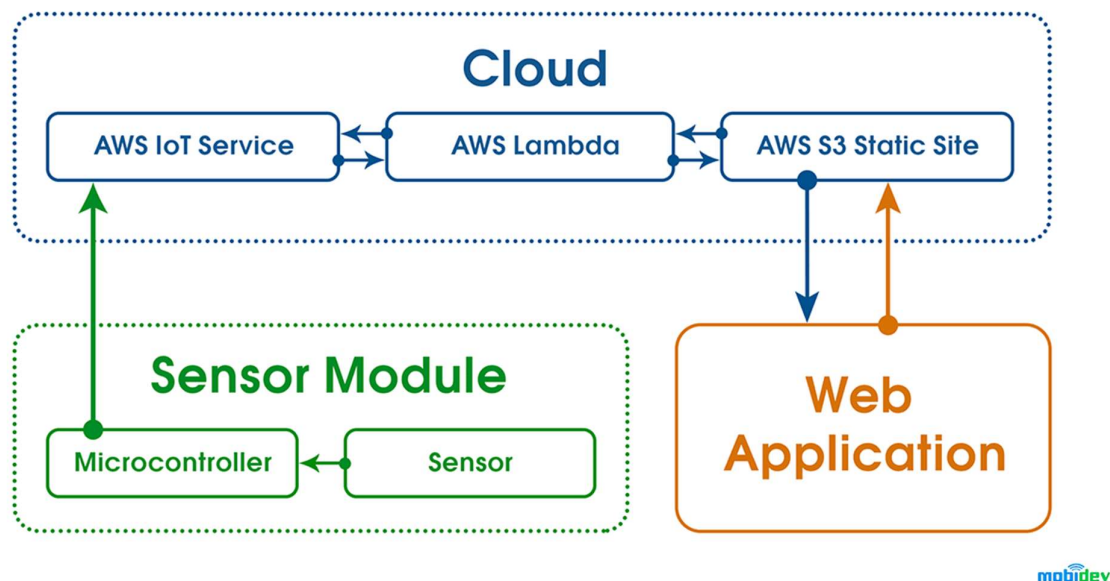
1.4.2. „MobiDev - Smart Parking Solution“ sistema

Tai daiktų internetu ir debesų kompiuterija pagrįstas sprendimas. Duomenys surenkami ir perduodami specialiais įtaisais, kurie yra įrengti aikštelėse, o visas jų apdirbimas vykdomas debesyse. Sistema naudoja kiekvienoje stovėjimo vietoje įmontuotą „ESP8266“ mikrovaldiklį, kuris sujungtas su „HC-SR04“ atstumo matavimo jutikliu. Įtaisas periodiškai matuoja atstumą iki artimiausios kliūtis, šiuo atveju iki automobilio apačios, visa tai vaizduojama 3 paveikslėlyje.



3 pav. „Smart Parking Solution“ įrenginių veikimo pavyzdys [4]

Užfiksavus automobilio būvį duomenys iš įrenginio, MQTT protokolu, perduodami į „Amazon“ debesis, kur yra saugomi bei apdorjami. Sistemos vartotojams ši informacija atvaizduojama per specializuotą interneto svetainę, kur rodomas laisvų ir užimtų vietų kiekis. Žemiau pateiktame 4 paveikslėlyje matomas „MobiDev – Smart Parking Solution“ komponentų schema vaizdas.



4 pav. „MobiDev – Smart Parking Solution“ komponentų schema [4]

Kai vairuotojas prie sistemos prisijungia, naudodamas internetinę programą, signalas siunčiamas į „Lambda“ funkciją. Jis nuskaityto jutiklio būsenos vertes iš „AWS IoT“ šėsėlio ir rodo stovėjimo vietas, atsižvelgdamas į būseną. Žalia spalva – laisva, raudona spalva – užimta vieta. Visgi ši sistema turi savo trūkumų – ji nepasižymi dideliu funkcionalumu, vartotojams rodomas tik aikštelės vaizdas, nėra galimybės rezervuoti vietą ar nustatyti sistemos naudotoją [4].

1.4.3. „uniPark“ sistema

Įmonės UAB "Unipark" platinama „uniPark“ išmanioji sistema yra gana lanksti, todėl plačiai naudojama ne tik oro uostuose, prekybos centruose ar įvairiose miestų zonose, bet ir privačiose aikštelėse, verslo įstaigose. Šiuo metu šis sprendimas yra populiariausias Baltijos šalyse.

Sistema nenaudoja jokių jutiklių automobiliams aptikti. Uždarose aikštelėse prie vartų įdiegtos specializuotos vaizdo kameros, skirtos automobilių numeriams nustatyti – tai vienintelis būdas nustatyti ar vairuotojai tikrai naudojasi aikštelės paslaugomis. Kadangi sistema nenaudoja jokių automobilio nustatymo jutiklių, o kameros statomos tik prie vartų – atskiros stovėjimo vietos nėra priskiriamos kaip kontroliuojami objektai. Sistemos pagrindiniu komponentu laikoma išmanioji programėlė. Išmaniaja programėle galima susimokėti už paslaugas, rezervuoti vietą automobiliui. Ji integruota su Google žemėlapiais, todėl programėlės pagalba lengva rasti aikšteles, kuriose įdiegta ši sistema. Registruojantis sistemos naudotojas privalo įvesti vairuojamos transporto priemonės registravimo numerius, pagal juos nustatoma vairuotojo tapatybė [5].

Nors sprendimas turi daugybę gana patogių funkcijų, šios sistemos negalima vadinti išmaniaja, kol jos veikimas priklauso nuo vartotojo pateikiamų komandų. Klientai patys turi atsižymėti, kada atvažiavo ar išvažiavo, tai pamiršus pinigai tam tikrą laiką tebeskaičiuojami. Taip yra sukeliama nepatogumų tiek vartotojams, tiek sistemos savininkams, platintojams.

1.4.4. „NB-IoT“ sistema

„NB-IoT“ sistema – tai 2017 m. pasirodęs „Huawei“, „China Unicom“, „Quectel“ ir „TransInfo“ bendras projektas. Šis sprendimas buvo sukurtas specialiai Šanchajaus miesto transporto laikymo problemai spęsti, projektui pasisekus sistema išplito ir kitose vietose. Šiame projekte „TransInfo“ teikė transporto laikymo paslaugas ir automobilių stovėjimo aikštelių valdymo platformą. „Huawei“ sukūrė tinklo įrenginius ir lustus. „Quectel“ sukūrė NB-IoT modulius, o „SutongInfo“ pateikė transporto priemonių detektorius, integruotus su „NB-IoT“ moduliais, China Unicom (Šanchajus) teikė E2E integracijos paslauga.



5 pav. „NB-IoT“ sistemos vizualus konceptas [6]

„NB-IoT“ magnetiniai transporto priemonių detektoriai sunaudoja mažai energijos, o jų budėjimo laikas yra nuo trejų iki penkerių metų. „NB-IoT“ bazinės stotys teikia plačią ir gilią aprėptį, o signalų pakanka vieno aukšto požeminei automobilių stovėjimo aikštei uždengti. „NB-IoT Smart Parking Solution“ skiriasi nuo mažojo nuotolio belaidžių technologijų, tokių kaip RF ar „ZigBee“, nes naudoja operatorių tinklus, kuriais gauti duomenys perduodami į debesų valdymo platformą. Sistema renka duomenis apie stovėjimą, užimtumą ir trukmę, perduoda šią informaciją paslaugų teikėjams. Tai pagerina mokesčių surinkimą ir sumažina ekonominius nuostolius. Vairuotojai gali gauti informaciją apie stovėjimo vietą realiu laiku. Pavyzdžiui, kai yra tik kelios stovėjimo vietos – vairuotojas yra iškart nukreipiamas į laisvą vietą, tai sumažina transporto priemonių spūstis. Be to, ši pagalba taupo darbo jėgą ir leidžia automobilių stovėjimo aikštelių paslaugų teikėjams tinkamai paskirstyti darbo jėgą nuo rinkliavų rinkimo iki automobilių stovėjimo priežiūros. Vienas sistemos minusas – ji neatitinka saugumo reikalavimų, todėl negali būti diegiama JAV ir Europos sąjungos valstybėse.

1.4.5. Egzistuojančių sprendimų analizės apibendrinimas

Šioje dalyje išanalizuoti ir aprašyti rinkoje jau egzistuojantys išmanieji automobilių statymo sprendimai, išsiaiškinti skirtumai, būdai kuriais įmonės sprendžia bei įgyvendina panašią idėją. Taip pat aprašyti visų paminėtų sprendimų veikimo principai, jų funkcionalumas, pliusai ir minusai, kaip jie išsiskiria ir kuo yra pranašesni viena už kitą.

Rinkoje esančių išmanių automobilių statymo sprendimų analizės metu atsižvelgta į šiuos kriterijus:

- **Įranga automobiliui aptikti** – šiuo kriterijumi siekta išsiaiškinti ar sistema turi galimybę nustatyti konkrečios automobilio stovėjimo vietos būseną.
- **Vartotojų identifikavimo metodai** – parodo ar išmanusis sprendimas gali nustatyti vartotojo tapatybę.
- **Duomenų perdavimo metodai** – parodo kokiais metodais sistema perduoda gautus duomenys.
- **Analizuoja surinktus duomenis** – šiuo kriterijumi siekta išsiaiškinti ar sprendimas turi galimybę analizuoti surinktus duomenis.
- **Taikomoji programinė įranga** – šis kriterijus skirtas išsiaiškinti kokio tipo programine įranga pateikiama sistema.
- **Rezervacijos funkcija** – kriterijus nusako ar sistema turi vietos rezervavimo funkciją.
- **Navigacija** – parodo ar sistema suderinta su navigacija, turi funkcionalumą parodantį kur žemėlapyje, galima rasti automobilių stovėjimo aikštelę.

2 lentelė. Egzistuojančių sistemų palyginimas

Kriterijus/Programa	„CrossPark“	„MobiDev - Smart Parking Solution“	„uniPark“	„NB-IoT“
Įranga automobiliui aptikti	Magnetiniai jutikliai	Atstumo matavimo jutikliai	-	Magnetiniai jutikliai
Vartotojų identifikavimo metodai	Automobilių valstybinių numerių atpažinimo algoritmai	-	Automobilių valstybinių numerių atpažinimo algoritmai	-
Duomenų perdavimo metodai	TCP/IP protokolas	MQTT, TCP/IP protokoliai	TCP/IP protokolas	NB-IoT sprendimas
Analizuoja surinktus duomenis	-	-	+	+
Vartotojui skirta taikomoji programinė įranga	Mobilioji programėlė, Interneto svetainė	Mobilioji programėlė	Mobilioji programėlė, Interneto svetainė	Mobilioji programėlė
Turi rezervacijos funkciją	-	-	+	-
Sistema suderinama su navigacija	-	-	+	+

Atlikus rinkoje esančių sprendimų tyrimą, nustatyti funkcionalumai, būdai kuriais įmonės siekia įgyvendinti panašią idėją, teigiami ir neigiami aspektai. Nustatyta, kad pats pranašiausias, didžiąją dalį iškeltų kriterijų atitikęs UAB „uniPark“ sprendimas, visgi tai vienintelis iš analizuotų sprendimų kuris neturi galimybės konkrečios parkavimo aikštelės būsenai nustatyti.

Taip pat, buvo pastebėta, kad dažniausiai automobiliams aptikti naudojami magnetiniai jutikliai, o vartotojai identifikuojami specializuotomis vaizdo kameromis, pasitelkiant automobilių valstybinių numerių atpažinimo algoritmus. Duomenys perduodami „TCP/IP“ bei „MQTT“ protokolų pagalba. „NB-IoT“ informaciją siunčia savo paties sukurtu belaidžio ryšio sprendimu. Nepaisant to, kad visi

sprendimai naudoja mobiliąsias programėles, ne visur naudojamos rezervacijos ar navigacijos funkcijos, o atsiskaitinėjimai vyksta tik mokėjimų terminalais.

Sukurta išmanioji automobilių statymo sistema turi vykdyti visus šiuos kriterijus, siekiama, kad dalis jų veiktų geriau, nei tirtose sistemose.

1.5. Situacijos Lietuvoje įvertinimas

Šiuo metu Lietuvoje išmanių automobilių statymo sprendimų yra gana mažai, stipriausias jų ir labiausiai išplitęs yra „uniPark“. Produktas naudojamas tik didžiuosiuose ir kurortiniuose Lietuvos miestuose: Vilniuje, Kaune, Trakuose, Šiauliuose, Palangoje bei Nidoje. Sistema diegiama verslo įstaigose, prekybos centruose, įvairiose miestų zonose, privačiose aikštelėse. Mažiau žinomos sistemos dažniausiai yra diegiamos: parduotuvėse, viešbučiuose ir tik didžiuosiuose šalies miestuose. Lietuvoje šiuo metu yra 103 miestai, o beveik visi išmanieji sprendimai dalinai padengia tik 3 didžiausius.

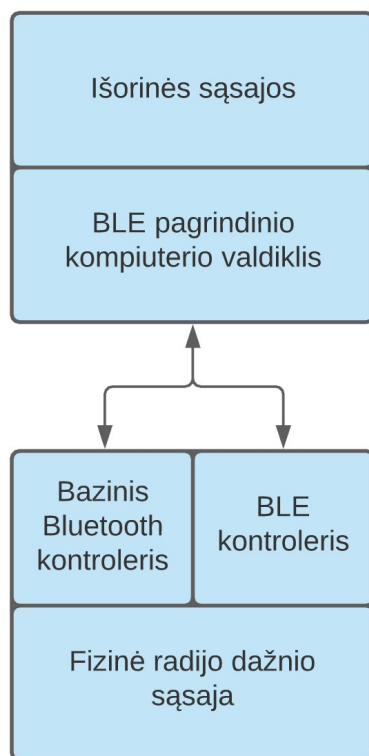
Verslo galimybės. Ir toliau augant automobilių skaičiui, žmonėms bus vis sunkiau surasti kur pasistatyti automobilį. Sukūrus naują automobilių statymo sprendimą bus galima pastatyti naujų aikštelių ir atnaujinti senas. Pinigai šiems sprendimams įgyvendinti būtų surenkami iš gaunamų mokesčių. Žinoma, konkurencijos nebus išvengta, dėl Lietuvos rinkoje įsitvirtinusios „uniPark“ sistemos, tačiau viena įmonė negali aprėpti viso tinklo ir vienos įmonės šiuo metu tikrai neužtenka. Konkurencijai didėjant ir produktui augant bus galima svarstyti galimybę plėstis ir diegti kuriamą sistemą į mažesnių miestų aikšteles, kur šiuo metu problemos taip pat yra aktualios, bet nėra sprendžiamos, nes „uniPark“ dirba tik didžiuosiuose Lietuvos miestuose.

1.6. Padėties nustatymas radijo bangomis

Skyriuje pateikiamas „Bluetooth 4.0“ standartas ir radijo ryšio koncepcijos, naudingos norint suprasti objekto padėties nustatymą, šio funkcionalumo galimybes ir apribojimus.

1.6.1. Mažos energijos „Bluetooth“ technologija

„Bluetooth Low Energy“ (liet. Mažos energijos „Bluetooth“) skiriasi nuo ankstesnio, dažnai vadinamo klasikinio „Bluetooth“ bazinės normos ir sustiprinto duomenų perdavimo greičio (BR / EDR) protokolų, tačiau abu šie protokolai gali būti palaikomi vieno įrenginio. „Bluetooth 4.0“ specifikacija leidžia įrenginiams įgyvendinti BLE ir BR / EDR protokolus. Žemiau esančiame 6 paveikslėlyje pateikiama „Bluetooth 4.0“ lusto komponentai [9].



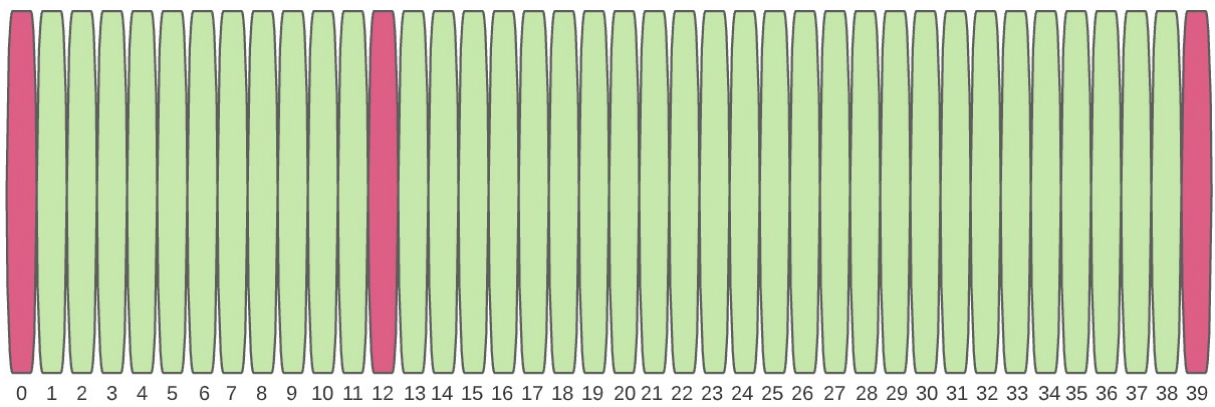
6 pav. Pagrindiniai „Bluetooth 4.0“ dvigubo režimo lustų rinkinio komponentai

„Bluetooth Low Energy“ technologija veikia tais pačiais 2,4 GHz radijo dažniais, kaip ir numatytasis „Bluetooth“ protokolas, tai leidžia dviem režimais veikiantiems įrenginiams dalintis vienu radijo bangų įrenginiu, visgi tam naudojama kur kas paprastesnė moduliavimo sistema.

BLE taip pat turi miego režimo funkciją. Įrenginys gali pabusti iš miego režimo, išsiųsti paketą ir tada grįžti miegoti, darbą atlikdamas greičiau nei spartusis „Bluetooth“ protokolas. BLE naudoja maždaug 6 ms, tuo tarpu senesni standartai naudoja daugiau nei 100 ms intervalus. Siunčiant nedidelius duomenų paketus, tai ne tik veikia nuskaitymo laiką, bet ir optimizuoja energijos sąnaudas, taip prailginant akumulatoriaus veikimo trukmę.

1.6.2. „Bluetooth Low Energy“ radijo sąsaja

Vienas didžiausių pokyčių nuo senojo „Bluetooth“ standarto yra radijo sąsaja. BLE vis dar yra 2,4 GHz ISM juostoje, tačiau vietoj to, kad būtų padalinta į septyniasdešimt devynis 1 MHz pločio kanalus, BLE naudoja po 40 kanalų, kurių kiekvienas yra 2 MHz pločio. Siekiant sutrumpinti nuskaitymo laiką, leidžiami transliuojami kanalai sutrumpinami iki trijų, kaip parodyta 7 paveiksle.



7 pav. BLE kanalo konfigūracija

Naudojama moduliavimo schema yra Gauso dažnio perjungimo klavišas (GFSK), tas pats, kuris naudojamas „Bluetooth“ mažo greičio duomenų režime. Tačiau kanalo pralaidumas skiriasi, todėl fizinio sluoksnio sąveika tampa neįmanoma.

1.6.3. „Bluetooth Low Energy“ protokolai.

BLE atstumo įvertinimo protokolai, naudojami pamestų daiktų lokalizacijai.

1.6.3.1. „iBeacon“ protokolas

„iBeacon“, tai kompanijos „Apple“ sukurtas protokolas, leidžiantis išmaniųjų telefonų programoms nuskaityti švyturėlio perduodamus signalus tam tikrame diapazone ir aptikti skleidžiamą turinį. Rekomenduojama naudoti, kai įmonė siekia vykdyti „Bluetooth“ rinkodaros kampanijas per savo programas. „Beaconstac SDK“ yra paprastas būdas įgalinti artumo rinkodarą ir vietos analizę per „iBeacon“ suderinamą BLE tinklą [11].

1.6.3.2. „Eddystone“ protokolas

„Eddystone“, tai „Google“ sukurtas atvirojo kodo protokolas. Jis skirtas „Android“ operacinę sistemą veikiantiems išmaniesiems įrenginiams. Android įrenginiai nuskaityti „Eddystone“ URL ir rodo bet kokį turinį, perduodamą „Bluetooth“ švyturėliu, neatsižvelgiant į tai, ar juose įdiegta speciali programinė įranga [10].

1.6.4. Mažos energijos „Bluetooth“ technologijos pritaikymas išmaniosiose žymose

BLE švyturiai – išmaniosios žymos, mažas „Bluetooth“ radijo siųstuvas, maitinamas baterijomis. „Beacon“ gavo šį pavadinimą (liet. Švyturėlis) dėl savo funkcionalumo kuris labai primena uostuose stovinčius švyturius. Šie maži įtaisai nepertraukiamai perduoda „Bluetooth“ energijos (BLE) signalus, kurie gali būti aptikti išmaniųjų telefonų ar kitų Bluetooth įrenginių pagalba. Prie išmaniosios žymos neįmanoma nei prisijungti, nei perduoti kokios nors informacijos, ją galima tik aptikti. Dėl to ši technologija sunaudoja labai mažai energijos, o mažos baterijos gali užtekti net iki keleto metų [7]. Žemiau pateiktame 10 paveikslėlyje vaizduojamas komercinis BLE švyturys, sukurtas „Apple“ kompanijos.



8 pav. BLE švyturys „Apple AirTag“ [22]

Veikimas. Pats „Beacon“ įtaisas yra labai paprastas. Kiekvienas įrenginys sudarytas iš centrinio procesoriaus, radijo ryšio modulio bei maitinimo elementų. Jis veikia pakartotinai siunčiant identifikatorių, kurį aptinka Bluetooth protokolu veikiantys įrenginiai, paprastai tai mobilūs telefonai, ar kiti išmanieji įrenginiai.

UUID – Universally unique identifier (liet. visuotinai unikalus identifikatorius) tai numeris, kurį išmanusis telefonas atpažįsta kaip unikalų švyturėlį. Šie unikalūs numeriai sukuriami automatiškai, todėl BLE technologija yra atspari dublikatams [12].

Skaitymo diapazonas priklauso nuo aparatinės įrangos galimybių. Vidutiniškai „Bluetooth“ žemos energijos švyturėliai gali perduoti ryšio signalus iki 80 metrų. Šis signalas iš švyturio gali aktyvuoti specifinius veiksmus, susijusius su vieta (pvz. atrakinti vartus ir kt.) [8].

Žemiau pateikta 3 lentelė. Klasikinio Bluetooth ir BLE skirtumai. Čia vaizduojami skirtumai tarp klasikinio Bluetooth ir BLE (Bluetooth Low Energy).

3 lentelė. Klasikinio Bluetooth ir BLE skirtumai

	Bluetooth	BLE
Duomenų perdavimo sparta	2-3 Mbps	200 Kbps
Duomenų perdavimo laikas	Vidutiniškai 100 ms	Vidutiniškai 3-6 ms
Energijos sąnaudos	Apie 30 mA	Iki 15 mA
Panaudojimas	Naudojame įrenginiams, kuriems reikalingas nuolatinis duomenų srautas, pavyzdžiui, ausinės.	Naudojama kur nereikia nuolatinio duomenų srauto perdavimo, pavyzdžiui, autorizavimas, daiktų sekimas.

1.6.4.1. „Bluetooth Low Energy“ technologijos plusai:

- Paprasta eksploatacija;
- nebrangu realizuoti;
- užtikrinamas saugumas;
- mažas energijos sunaudojimas;
- stiprus ryšio signalas;
- veikimas realiu laiku;
- itin didelis suderinamumas.

1.6.4.2. „Bluetooth Low Energy“ technologijos minusai:

- Negali būti naudojami ypač dideliems atstumams;
- labai mažas duomenų perdavimo kiekis.

2. Projektinė dalis

Skyriuje pateikiama išmaniosios automobilių statymo sistemos projektinė dalis, jos paskirtis, panaudojimo atvejai, reikalavimai ir projektavimas.

2.1. Projekto paskirtis

Šio projekto tikslas, sukurti išmaniają transporto priemonių statymo sistemą, remiantis daiktų internetu, skirtą Kauno technologijų universiteto Santakos slėnio automobilių aikštei [23]. Sukurta sistema padeda valdyti: automobilių paskirstymą, jų srautus, informuoja vartotojus apie esamų, laisvų, vietų skaičių. Įdiegtas sprendimas padėtų plėsti daiktų interneto tinklą studentų miestelyje, universitetui būtų teikiama realiu laiku surinkta informacija.

Šiam tikslui įgyvendinti pasitelkti mažos galios, tačiau apimantis didelį plotą LoRaWAN, „Bluetooth“ ryšio protokolai. Protokoliai padeda identifikuoti vartotojus bei perduoti surinktą informaciją sistemos tinkle. Protokoliai veikia tarp automobilių aikštelėje esančių komunikacijos prietaisų ir vartotojų išmaniųjų įrenginių, pavyzdžiui išmanųjį telefoną.

Taigi, pagrindinė sistemos problema yra vairuotojų atpažinimas, kuri sudaryta iš:

- objekto aptikimo;
- objekto vietos nustatymo;
- identifikavimo;
- informacijos mainų.

Išsprendus šią problemą – galima realizuoti išmanią automobilių statymo sistemą, gebančią nustatyti ir patvirtinti vairuotojo tapatybę, pagal jo naudojamą išmanųjį įrenginį.

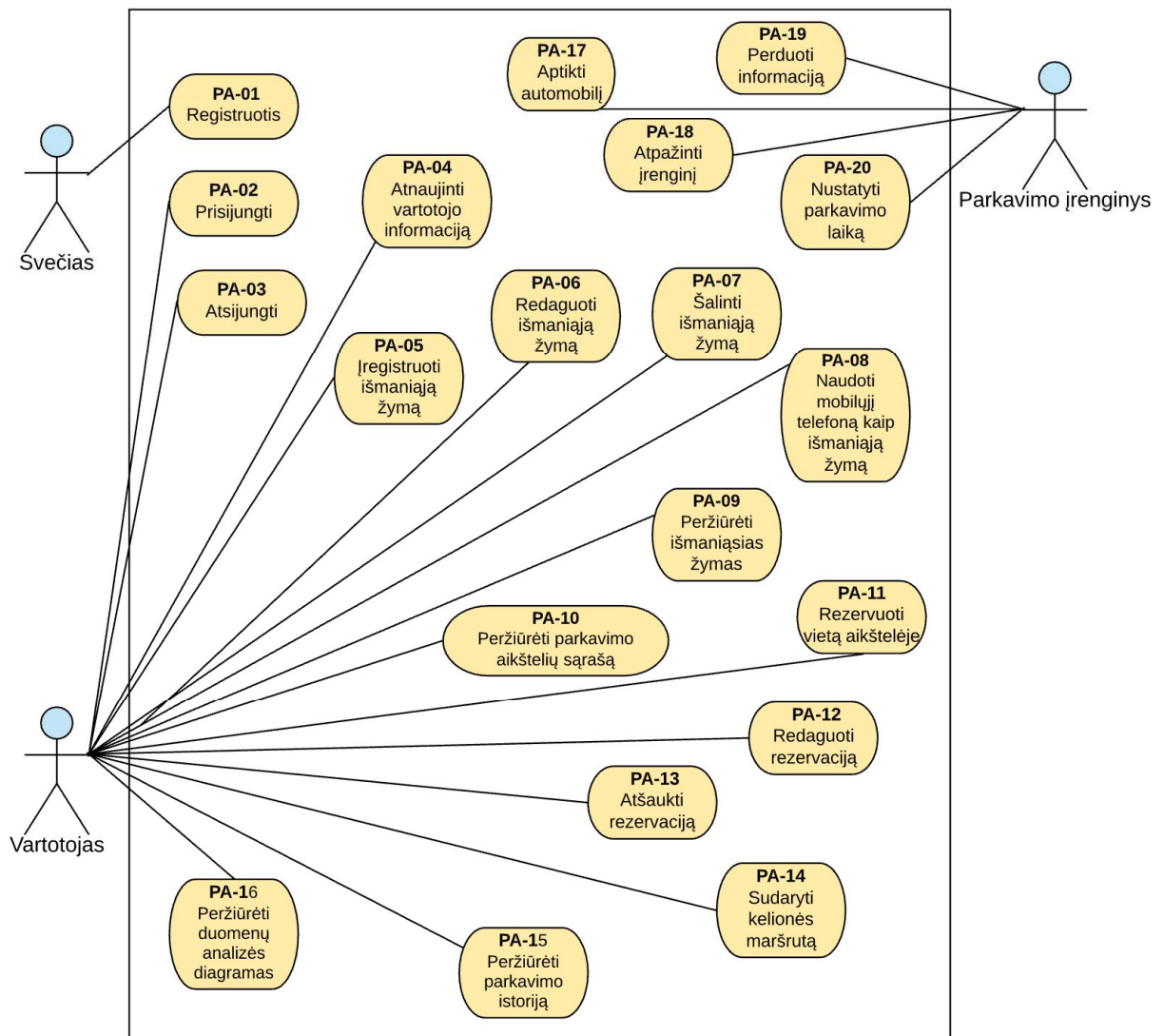
2.2. Sistemos paskirtis ir panaudos atvejai

Kuriama sistema, veiks visuose „Android“ išmaniuosiuose įrenginiuose, turinčiuose „Bluetooth“ ryšį. Jos paskirtis vartotojų nustatymas ir informacijos perdavimas realiu laiku [24].

Išmanios parakavimo sistemos panaudojimo atvejai:

1. Registruotis – sistemos svečias gali susikurti paskyrą, kuri leis naudotis teikiamomis paslaugomis.
2. Prisijungti – registruotas sistemos naudotojas gali prisijungti prie išmaniosios programėlės.
3. Atsijungti – registruotas sistemos naudotojas gali atsijungti nuo išmaniosios programėlės.
4. Peržiūrėti paskyros duomenis – vartotojas gali peržiūrėti bei atnaujinti asmeninius duomenis.
5. Įregistruoti išmaniąją žymą – vartotojas gali įregistruoti išmaniąją žymą.
6. Redaguoti išmaniąją žymą – vartotojas gali atnaujinti išmaniosios žymos informaciją.
7. Šalinti išmaniąją žymą – vartotojas gali ištrinti nenaudojamą išmaniąją žymą.
8. Naudoti mobilųjį telefoną kaip išmaniąją žymą – vartotojas gali panaudoti išmanųjį įrenginį kaip išmaniąją žymą.
9. Peržiūrėti išmaniąsias žymas – vartotojas gali savo peržiūrėti išmaniąsias žymas.
10. Peržiūrėti automobilių aikštelių sąrašą – vartotojas gali peržiūrėti sistemoje esančių parakavimo aikštelių sąrašą.
11. Rezervuoti vietą aikštelėje – vartotojas gali rezervuoti vietą automobilių aikštelėje.
12. Redaguoti rezervaciją – vartotojas gali keisti rezervaciją.
13. Atšaukti rezervaciją- vartotojas gali atšaukti rezervaciją.

14. Sudaryti kelionės maršrutą – vartotojas gali sudaryti kelionės maršrutą į pasirinktą automobilių aikštelę.
15. Peržiūrėti parkavimo istoriją – vartotojas gali peržiūrėti paslaugų istoriją.
16. Peržiūrėti duomenų analizės diagramas – vartotojas gali peržiūrėti duomenų analizės rezultatus.
17. Aptikti automobilį – sistema gali aptikti automobilį.
18. Atpažinti įrenginį – sistema gali atpažinti vartotojo išmaniają žymą.
19. Perduoti informaciją – sistema gali perduoti informaciją LoRaWAN ryšiu.
20. Nustatyti parkavimo laiką – sistema gali apskaičiuoti, transporto priemonės stovėjimo laiką.



9 pav. Panaudos atvejų diagrama

Aukščiau pateiktame 9 paveikslėlyje vaizduojama išmanios automobilių statymo sistemos panaudojimų atvejų diagrama.

2.3. Bendrieji išmaniosios automobilių statymo sistemos apribojimai

Bendrieji sistemos funkcijų apribojimai – nefunkciniai reikalavimai, nurodo bei apibrėžia kuriamos sistemos veikimą, jos išvaizdą. Svarbiausi bei didžiausią naudą teikiantys reikalavimai pateikiami žemiau esančiose lentelėse.

2.3.1. Reikalavimai išmaniosios automobilių statymo sistemos išvaizdai

4 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-01

Reikalavimas :	NF-01	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Vartotojo grafinė sąsaja turi būti naudojama pirkėjų reprezentuojančių spalvų gama. Šiuo atveju: violetinė, rožinė, žydra, pilka, balta, juoda. Taip pat turi būti naudojama „Dark theme“, tamsi tema.				
Pagrindimas:	Turi būti reprezentuojamas KTU universitetas. Tamsi tema yra dabartinis standartas, programėlė privalo turėti pasirinkimą pakeisti spalvų temą.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Turi būti akcentuojama kiekviename lange. Pvz. mygtukuose antraštėje, paraštėje ir t.t.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	4		
Prioritetas:	2	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

5 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-02

Reikalavimas :	NF-02	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	6
Aprašymas:	Grafinėje sąsajoje tam tikras pateikiamas tekstas turi būti nudažomas, paryškintas, pabraukiamas.				
Pagrindimas:	Vartotojui lengviau orientuotis.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Pagrindiniai žodžiai išskiria nuo kitų mažiau svarbių, tekste.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	4		
Prioritetas:	2	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.2. Reikalavimai sistemos stiliui

6 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-03

Reikalavimas :	NF-03	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Grafinė vartotojo sąsaja turi būti aiški, neapkrauta.				
Pagrindimas:	Mobilioji programėlė skirta vairuotojų auditorijai. Dažniausiai jų dėmesys nukreiptas į kelionę, jos laiką. Grafinė sąsaja turi būti pakankamai aiški, suprojektuota taip, kad vartotojas galėtų atlikti norimas funkcijas neprarasdamas daug laiko.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Kiekviename sistemos lange turi būti aiškus rišlus tekstas ir/ar paveikslėliai reprezentuojantys tam tikras užduotis.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	3		
Prioritetas:	2	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.3. Reikalavimai naudojimosi paprastumui

7 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-04

Reikalavimas :	NF-04	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Sistema turi būti lengva naudotis žmonėms su baziniais IT bei minimalias skaitymo, rašymo įgūdžiais.				
Pagrindimas:	Efektyvumo lygis mažėja kai vartotojui sunku ar neaišku kaip naudotis programėle.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	90% sėkmingas visos programėlės funkcijų pasinaudojimas pirmu bandymu turint bazinius IT bei minimalius skaitymo rašymo įgūdžius.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	3		
Prioritetas:	2	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.4. Personalizavimo ir kalbos konfigūravimo reikalavimai

8 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-05

Reikalavimas :	NF-05	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Sistema turi veikti pagal numatytąją kalbą.				
Pagrindimas:	Efektyvumo lygis mažėja kai programėlė veikia vartotojui nepažįstama kalba.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	90% sėkmingas pasinaudojimas pirmu bandymu turint bazinius IT bei minimalius skaitymo rašymo įgūdžius.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Prioritetas:	2	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.5. Mokymosi reikalavimai

9 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-06

Reikalavimas :	NF-06	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Sistema galima naudotis asmenims, kurie nėra apmokyti ją naudoti.				
Pagrindimas:	Jei vartotojams bus per sunku naudoti programėle – jie atsisakys ją naudoti.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	90% sėkmingas pasinaudojimas pirmu bandymu turint bazinius IT bei minimalius skaitymo rašymo įgūdžius.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	3		
Prioritetas:	2	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.6. Suprantamumo ir mandagumo reikalavimai

10 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-07

Reikalavimas :	NF-07	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Pranešimai turi būti aiškūs ir formalūs.				
Pagrindimas:	Naudojimo efektyvumas kris jai pranešimai bus klaidingi, supainiojantys.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	90% sėkmingas pasinaudojimas pirmu bandymu turint bazinius IT bei minimalius skaitymo rašymo įgūdžius.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	3		
Prioritetas:	2	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.7. Reikalavimai užduočių vykdymo greičiui

11 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-08

Reikalavimas :	NF-08	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Einant per programėlės langus ar atliekant kokią nors užduotį rezultatai pateikiami neilgiau kaip per 5 sec.				
Pagrindimas:	Vartotojai yra nekantrūs.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Einant per programėlės langus ar vykdant užduotis rezultatai gaunami per 5 sec.				
Užsakovo pasitenkinimas:	4	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

12 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-09

Reikalavimas :	NF-09	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Sistema turi gebėti nustatyti automobilio vairuotoją greičiau nei per 1 minutę.				
Pagrindimas:	Svarbus paslaugos naudojimo tikslumas.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Vartotojui atsistojus į automobilį stovėjimo vietą, įrašas į duomenų bazę turi būti įrašytas greičiau nei per minutę.				
Užsakovo pasitenkinimas:	4	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.8. Darbo ir aplinkos saugos reikalavimai

13 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-09

Reikalavimas :	NF-09	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Sistema turi gebėti nustatyti automobilio vairuotoją, greičiau nei per 1 minutę.				
Pagrindimas:	Svarbus paslaugos naudojimo tikslumas.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Vartotojui atsistojus į automobilių stovėjimo vietą, įrašas į duomenų bazę turi būti įrašytas greičiau nei per minutę.				
Užsakovo pasitenkinimas:	4	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.9. Reikalavimai tikslumui

14 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-10

Reikalavimas :	NF-10	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	6, 8, 9, 10, 11
Aprašymas:	Pinigų reikšmės turi būti nurodomos „Currency“, o laiko „ISO-8601“ formatai.				
Pagrindimas:	Vartotojas gali apsigauti, nesuprasti pateikiamos pinigų ar laiko reikšmės. Tai yra standartas Lietuvoje.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Pinigai sistemoje vaizduojami „Currency“ o laikas „ISO-8601“ formatais, pagal atitinkamą Lietuvos standartą.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	2		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.10. Reikalavimai patikimumui ir pasiekiamumui

15 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-11

Reikalavimas :	NF-11	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Programėlė turi veikti bet kuriame tinkle.				
Pagrindimas:	Vartotojas gali keliauti, todėl interneto tinklas nuolatos keičiasi.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Programėlė veikia visuose saugiuose interneto tinkluose.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.11. Reikalavimai atsparumui trukdžiams ir klaidoms

16 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-12

Reikalavimas :	NF-12	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	6, 8, 9, 10, 11
Aprašymas:	Įvykus sistemos klaidai produktas turi įspėti vartotoją bei kitus už produktą atsakingus asmenis.				
Pagrindimas:	Vartotojai jaučia nepatogumą kai sistema veikia ne taip kaip turėtų.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Jei darbo metu nutrūksta sistemos veikimas, išmetamas tam tikras klaidos pranešimas.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	2		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.12. Numatoma fizinė aplinka

17 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-13

Reikalavimas :	NF-13	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Programėle galima saugiai naudotis automobilyje.				
Pagrindimas:	Vartotojui (vairuotojui), bet kada gali prireikti pasinaudoti išmania automobilių stovėjimo sistema.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Programėlė neatvaizduoja konfidencialios informacijos, ją galima naudotis pasitelkiant laisvų rankų įrangą.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	3		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.13. Reikalavimai darbui su gretimomis sistemomis

18 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-14

Reikalavimas :	NF-14	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Sistema turi galėti keistis duomenimis per Rest Api užklausas.				
Pagrindimas:	Tai supaprastina integraciją su kitomis sistemomis.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Sistema išsiunčia Rest tipo užklausas į kitą sistemą ir gauna atsaką iš jos.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	3		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.14. Reikalavimai sistemos platinimo ir/ar gamybos formatui

19 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-15

Reikalavimas :	NF-15	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	6, 8, 9, 10, 11
Aprašymas:	Mobilioji programėlė turi būti platinama .apk formatu.				
Pagrindimas:	Šie formatai yra mobiliųjų programėlių standartas. Jie privalomi norint įkelti programėlę į parduotuvę.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Sistemos komponentas sugeneruojamas į .apk formatą.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	4		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.15. Pritaikymui kitoms platformoms reikalavimai

20 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-16

Reikalavimas :	NF-16	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Produktas skirtas naudojimui išmaniuoju įrenginiu.				
Pagrindimas:	Vartotojams yra patogiu, kai sistema yra pakankamai lanksti ir prieinama iš daugelio įrenginių.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Sistema veikia naudojantis išmaniuoju įrenginiu.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	4		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.16. Reikalavimai savisaugai nuo išorinių grėsmių

21 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-17

Reikalavimas :	NF-17	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Mobilioji programėlė vykstant duomenų mainams su kitomis sistemos dalimis turi naudoti atpažinimo žymas (andl. token), kurie nustato siunčiamas užklausas.				
Pagrindimas:	Sistema turi būti apsaugota nuo išorinės programinės įrangos grėsmių.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Sistemoje naudojami (angl. Bearer token) nustatantys siunčiamą informaciją.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.17. Atitikties standartams reikalavimai

22 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-18

Reikalavimas :	NF-18	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Sistema turi veikti su LoRaWAN ir „Bluetooth“ ryšio technologijomis				
Pagrindimas:	Šios technologijos yra būtinos perduoti duomenis dideliu atstumu.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Sistemos komponentai vekia LoRaWAN bei „Bluetooth“ ryšio technologijomis.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.3.18. Kitos potencialios problemos

23 lentelė. Nefunkcinis reikalavimas, NF-19

Reikalavimas :	NF-22	Reikalavimo tipas:	V10a	PA:	Visi
Aprašymas:	Sistemos komponentai gali dirbti -20°C +30°C oro temperatūros diapazone.				
Pagrindimas:	Dalis sistemos diegiama lauke, todėl turi gebėti veikti sudėtingomis oro sąlygomis.				
Šaltinis:	Žygimantas Takulinskas.				
Atitikimo kriterijus:	Parenkami tinkami aparatinės įrangos komponentai sistemos darbui atlikti.				
Užsakovo pasitenkinimas:	5	Užsakovo nepasitenkinimas:	5		
Prioritetas:	3	Konfliktai:	Nėra		
Istorija:	Sukurtas: 2020-03-08				

2.4. Išmaniosios automobilių statymo sistemos architektūra

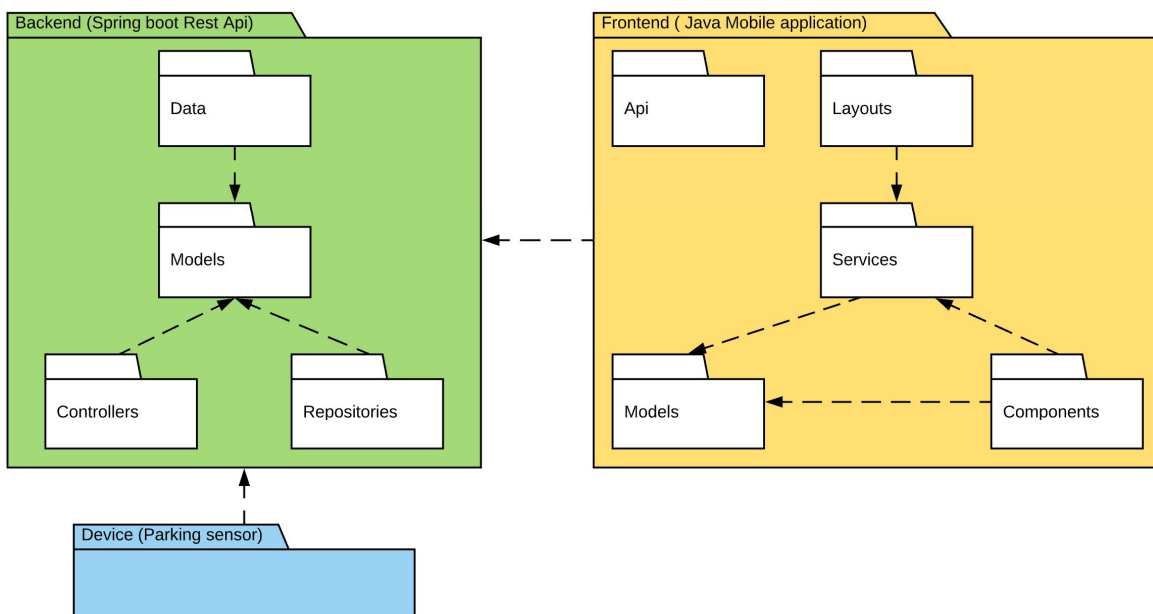
Kuriamos sistemos architektūrai iliustruoti naudojama UML kalba. Architektūra pateikta pasitelkiant keletu skirtingų vaizdavimo būdų, UML diagramų, kurios leidžia į projektą pažvelgti skirtingu kampu.

Detaliai sistemos architektūrai pateikti naudojamos šios UML vaizdavimo diagramos:

- paketų ir klasių diagramos, statiniui vaizdui pateikti;
- sekų, būsenų ir veiklos diagramos, dinaminiam vaizdui perteikti;
- išdėstymo diagrama, architektūros išsidėstymui atvaizduoti;
- duomenų bazės schema, duomenų vaizdui.

2.4.1. Išmaniosios automobilių statymo sistemos statinis vaizdas

Projekto architektūros skaidymas į paketus vaizduojamas žemiau pateiktame 10 paveikslėlyje. Čia projektas padalintas į 3 pagrindines dalis: „Back End“ (Spring boot Rest Api), „Front End“ (Java Mobile applications) ir Device (Parking sensor).



10 pav. Paketų diagrama

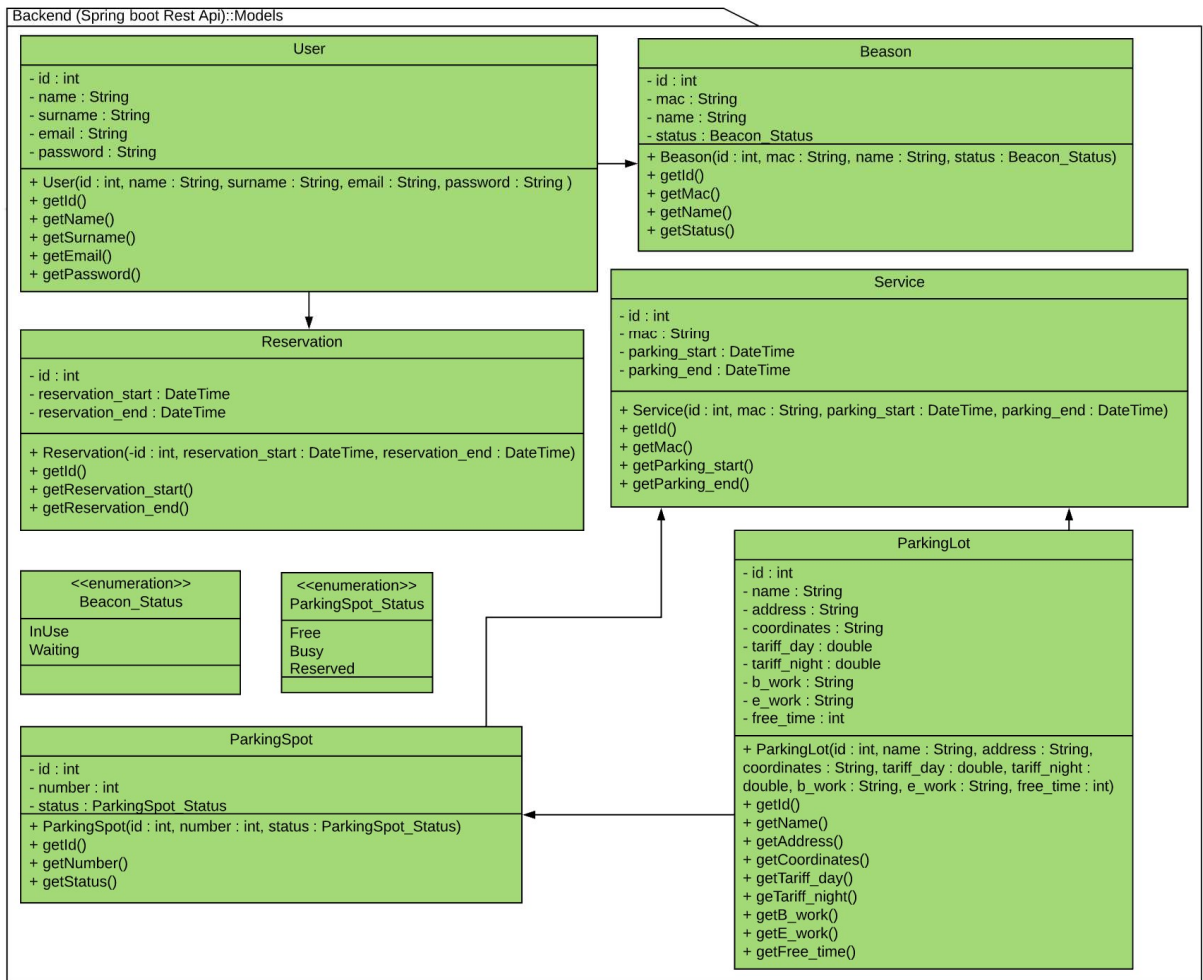
Backend (Spring boot Rest Api) – pagrindinė projekto dalis, komponentas apjungiantis kitus paketus į vieną sistemą. „Back End“ bus pasiekiamas iš išorės bei atliks pagrindines sistemos funkcijas.

Frontend (Java Mobile application) – projekto dalis, skirta sistemos vaizdavimui. Ji veiks tarsi tiltas tarp vartotojo ir sistemos teikiamų funkcijų.

Device (Parking sensor) – programinė projekto dalis, kuri sukurta valdyti aparatinę įrangą, reguliuoja valdiklius, jutiklius esančius automobilių stovėjimo aikštelėse.

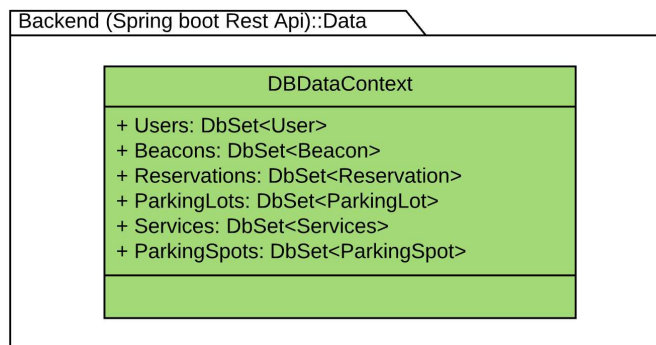
2.4.2. Išmaniosios automobilių statymo sistemos paketų detalizavimas

Žemiau pateiktame 11 paveikslėlyje vaizduojami „Back End“ (Spring boot Rest Api) naudojami modeliai jų kintamieji bei metodai.



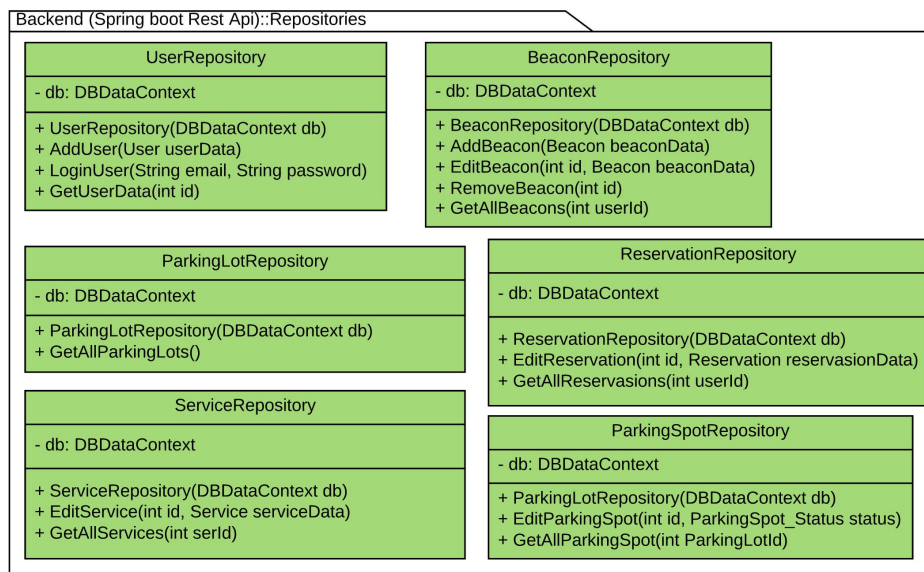
11 pav. Paketo Backend (Spring boot Rest Api) modelių diagrama

12 paveikslėlis, vaizduoja paketo klasę DBDataContext, ji skirta susieti duomenų bazėje esančias lenteles su „Back End“ naudojamais modeliais.



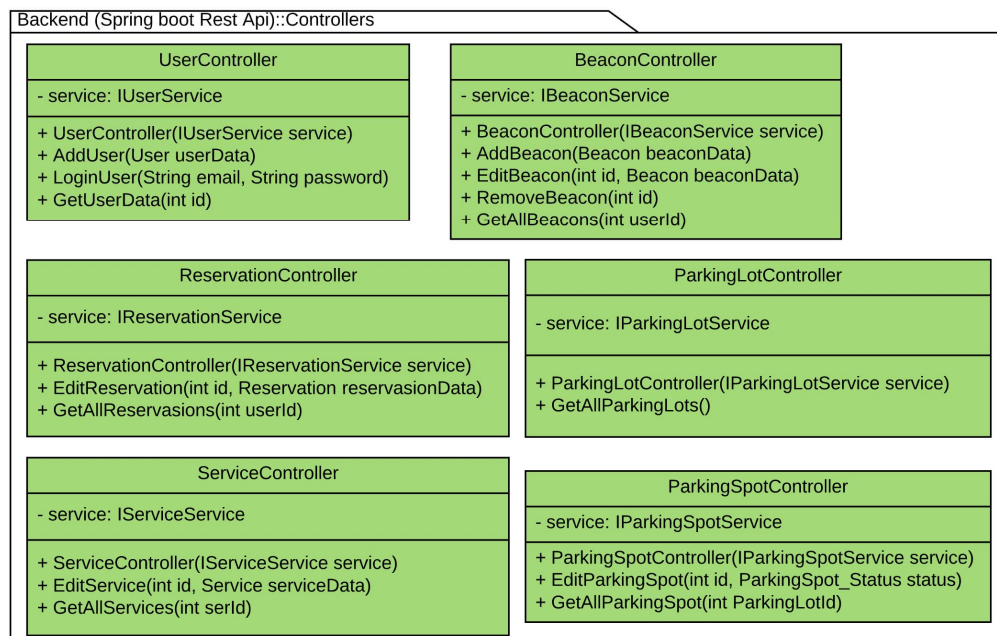
12 pav. Paketo Backend (Spring boot Rest Api) duomenų diagrama

Žemiau pateiktame 13 paveikslėlyje vaizduojamos Backend (Spring boot Rest Api) direktorių klasės. Šios klasės skirtos kryptis į Paketo Backend (Spring boot Rest Api)::Controllers klases. Čia įgyvendinamos pagrindinės sistemos funkcijos bei atliekami duomenų apdorojimo darbai.



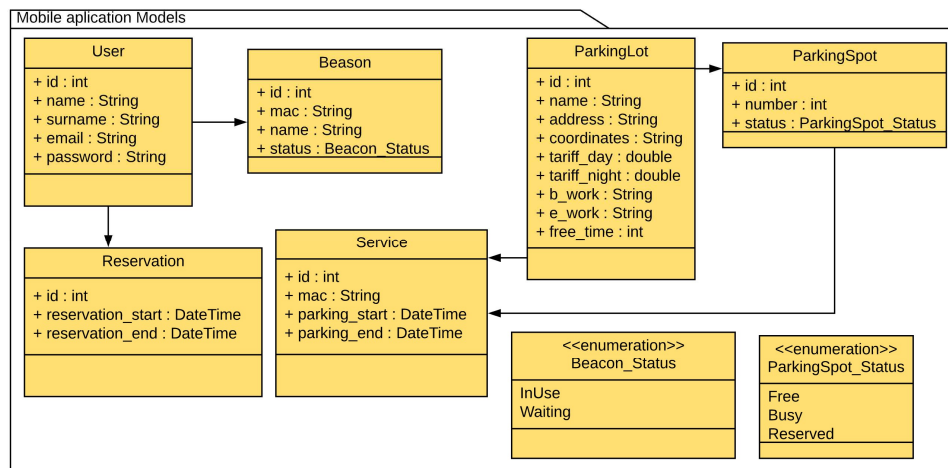
13 pav. Paketo Backend (Spring boot Rest Api) direktorių diagrama

14 paveikslėlyje pateikiamos Api controller klasės. Šios klasės skirtos atlikti duomenų mainams su išorės komponentais, išmaniaja programėle.



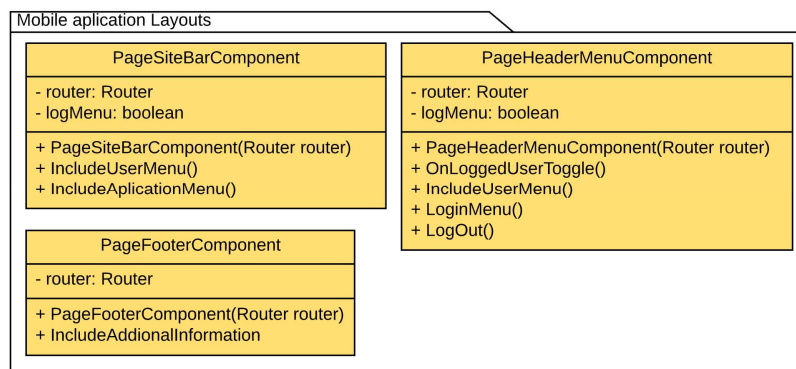
14 pav. Paketo Backend (Spring boot Rest Api) kontrolierių diagrama

15 paveikslėlyje vaizduojami išmaniojoje programėlėje naudojami modeliai, jų kintamieji bei metodai. Klasės analogiškos Api modeliams, skiriasi tik jų metodų aprašymas bei panaudojimas. Šios klasės naudojamos mobiliosiose programėlėse.



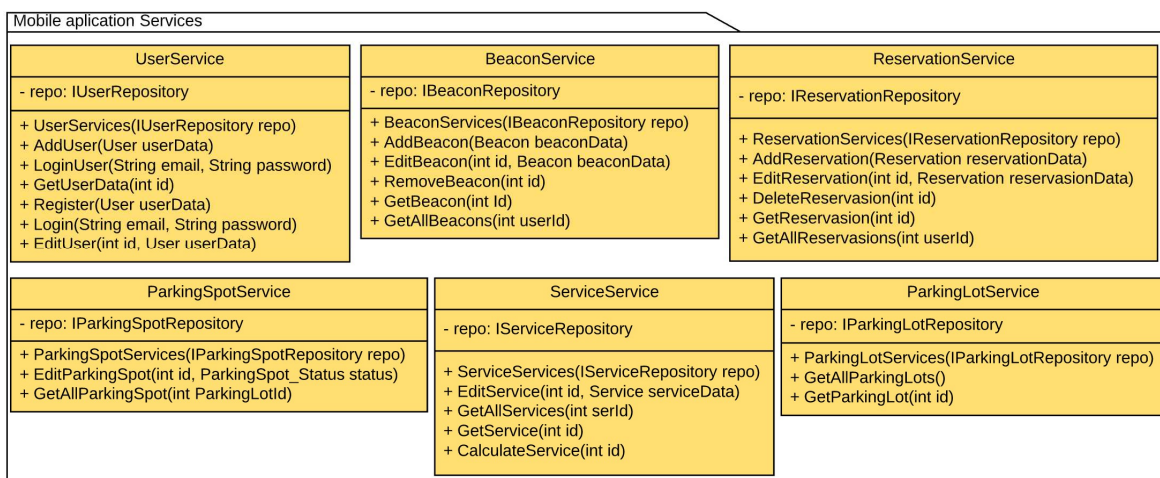
15 pav. Išmaniosios programėlės modelių diagrama

Paveikslėlyje 16 vaizduojamos klasės, kurios naudojamos kaip mobiliosios programėlės pagrindas. Jos apibrėžia atsikartojančių sistemos komponentų vaizdavimą.



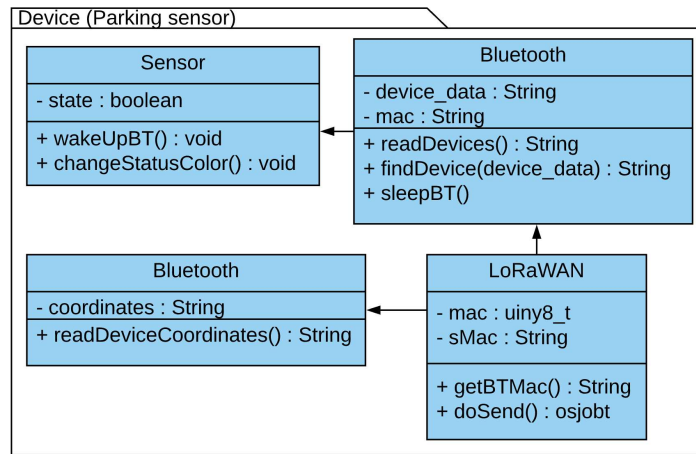
16 pav. Išmaniosios programėlės maketų diagrama

Žemiau pateiktame paveikslėlyje vaizduojamos mobiliosios programėlės, naudojamos servisų klasės. Pagrindinė jų užduotis kreiptis į sistemos Backend (Spring boot Rest Api) kontrolierių klases. Šios klasės veikia tarsi tiltas tarp sistemos Backend ir „Front End“ dalių.



17 pav. Išmaniosios programėlės servisų diagrama

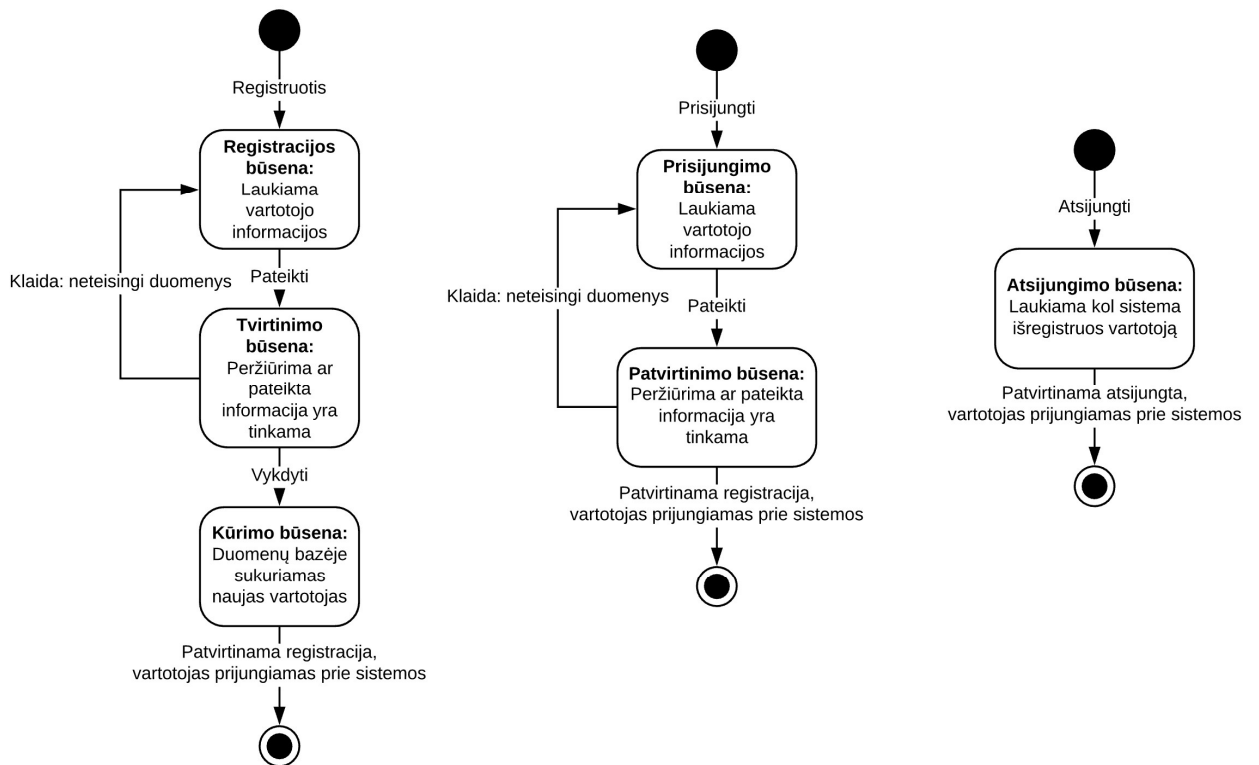
18 paveikslėlyje vaizduojamos pagrindinės aparatinėje sistemos dalyje naudojamos klasės. Jos parašytos specializuota Arduino kalba, kuri paremta C pagrindu. Šios klasės skirtos aparatinės įrangos, jutiklio funkcionalumui valdyti.



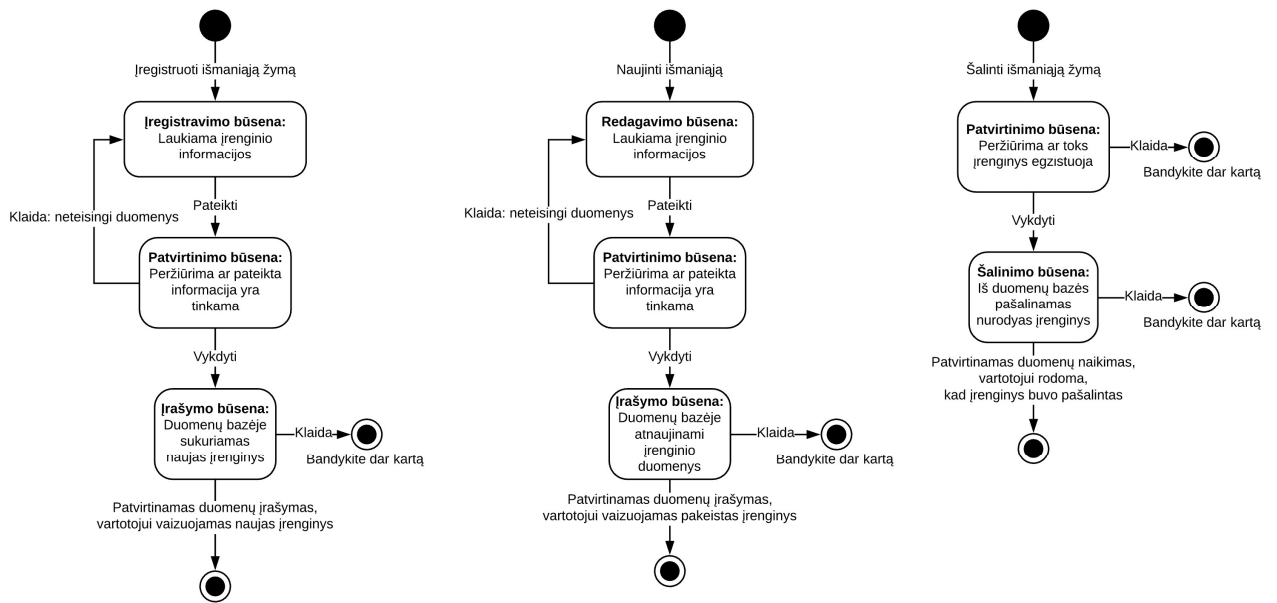
18 pav. Jutiklio klasių diagrama

2.4.3. Išmaniosios automobilių statymo sistemos būsenos diagramos

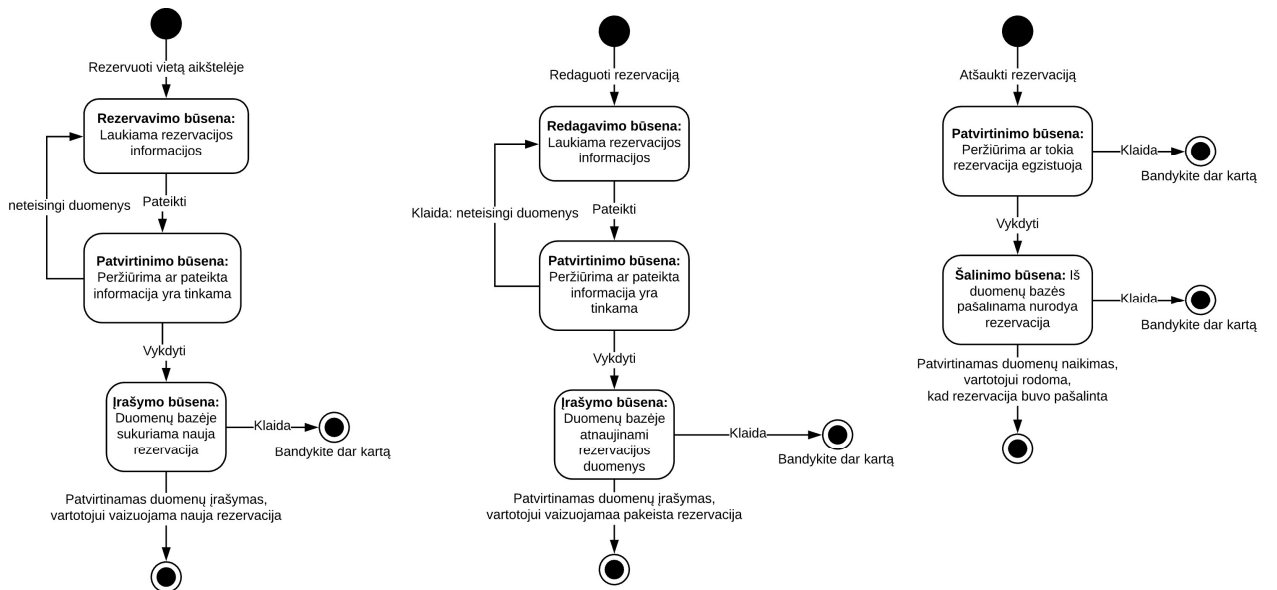
Žemiau pateikiamos pagrindinių sistemos būsenų diagramos (žr. Pav. 19-24):



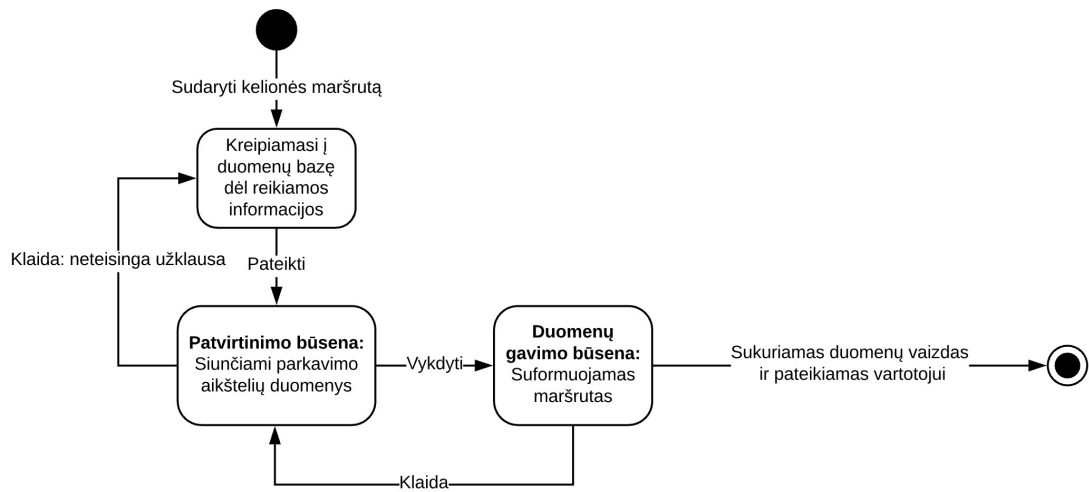
19 pav. Registracijos, prisijungimo, atsijungimo būsenos diagramos



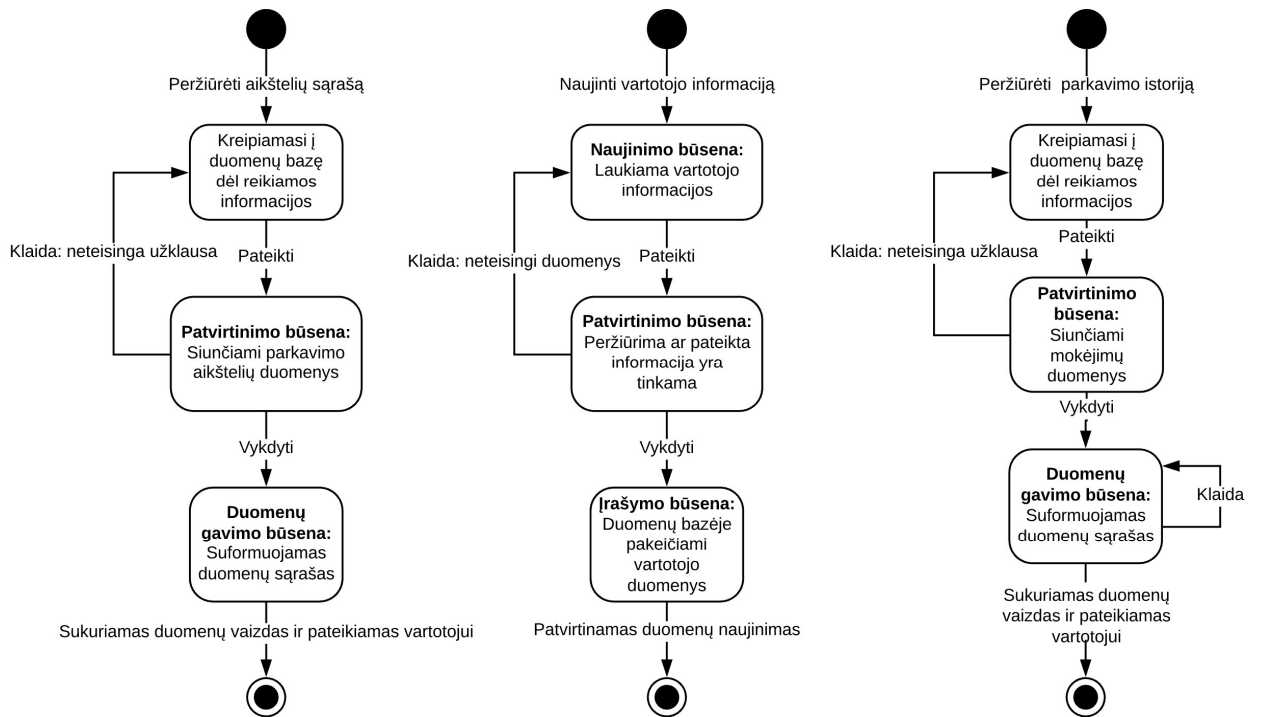
20 pav. Išmaniosios žymos įregistravimo, naujinimo, šalinimo būsenos diagramos



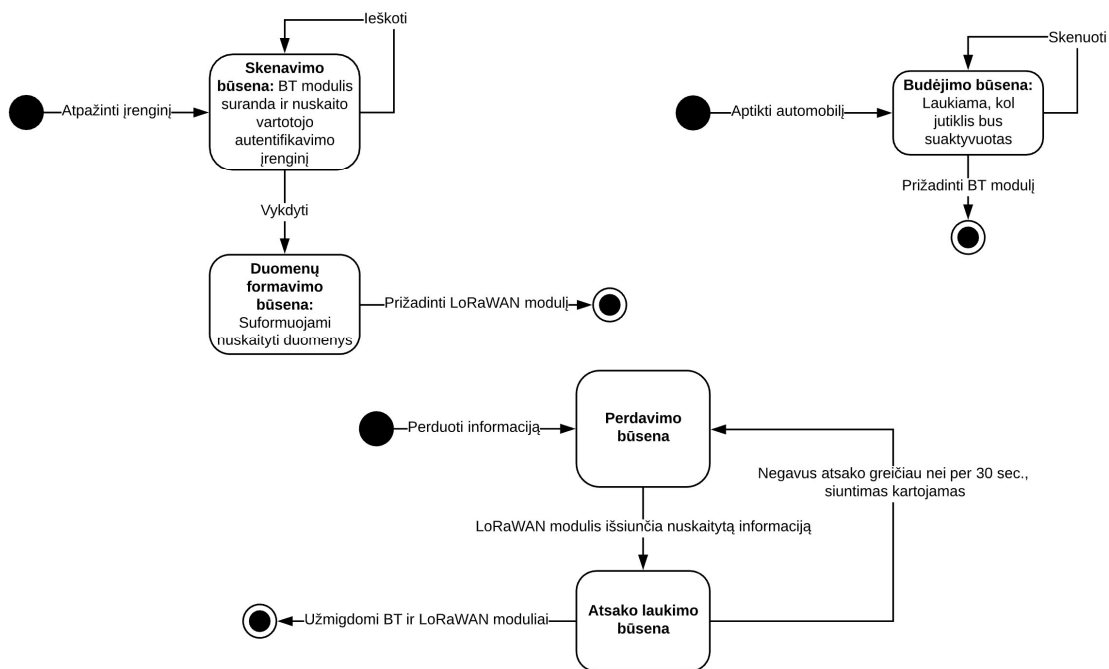
21 pav. Automobilio stovėjimo vietos rezervacijos, redagavimo atšaukimo būsenos diagramos



22 pav. Kelionės maršruto sudarymo būsenos diagrama



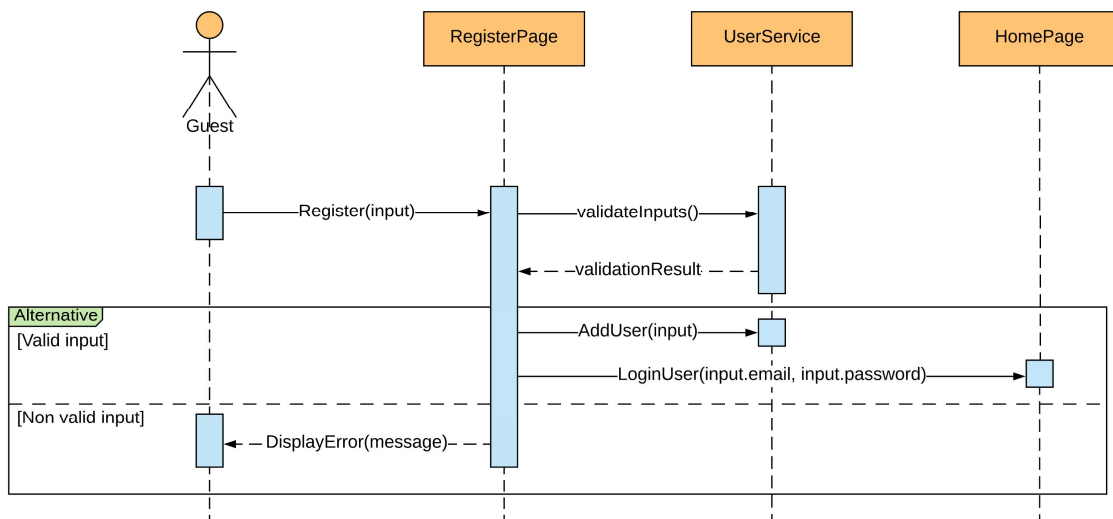
23 pav. Automobilių stovėjimo aikštelių bei paslaugų istorijos peržiūros, vartotojo informacijos naujinimo būsenos diagramos



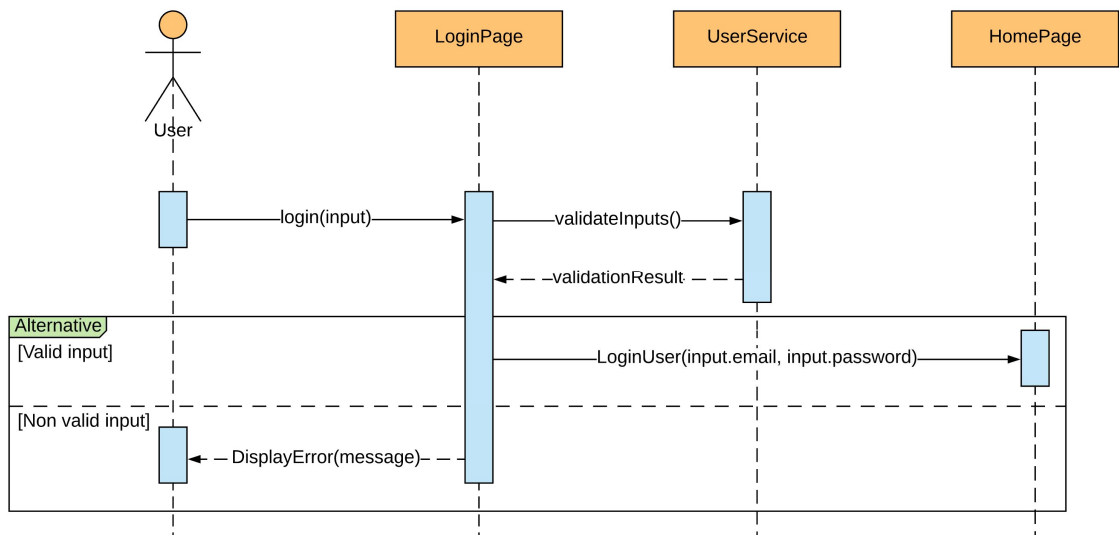
24 pav. Automobilio aptikimo, įrenginio atpažinimo, informacijos perdavimo būsenos diagramos

2.4.4. Išmaniosios automobilių statymo sistemos sekų diagramos

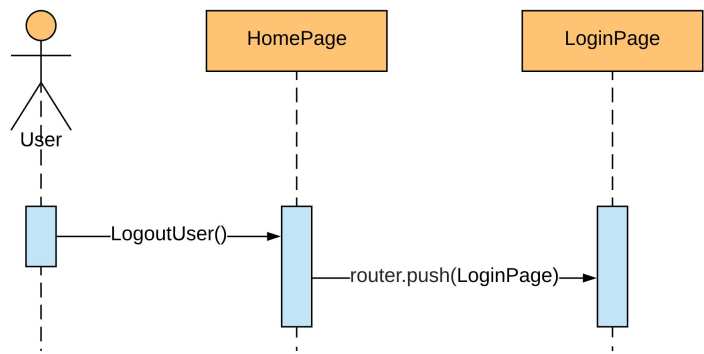
Žemiau pateikiamos sistemos sekų diagramos (žr. Pav. 25-38):



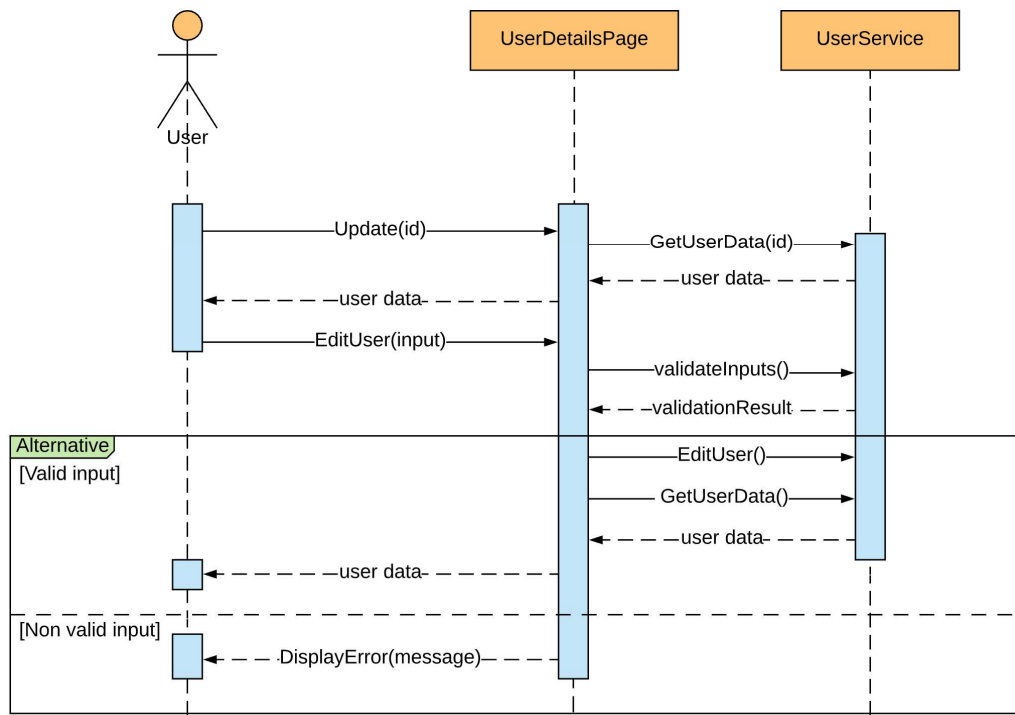
25 pav. Vartotojo registracijos prie sistemos sekos diagrama



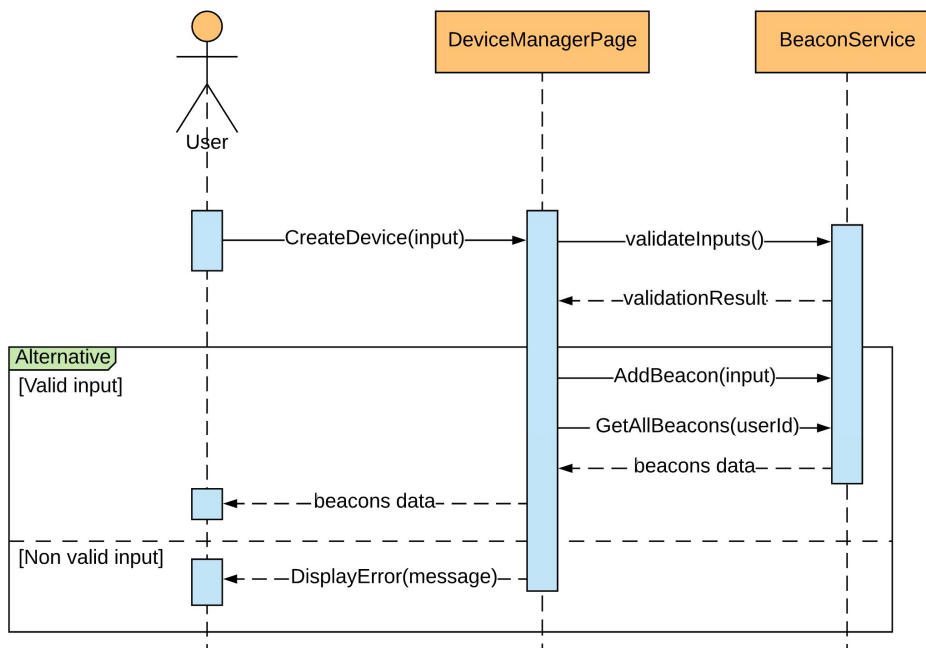
26 pav. Vartotojo jungimosi prie išmaniosios sistemos sekos diagrama



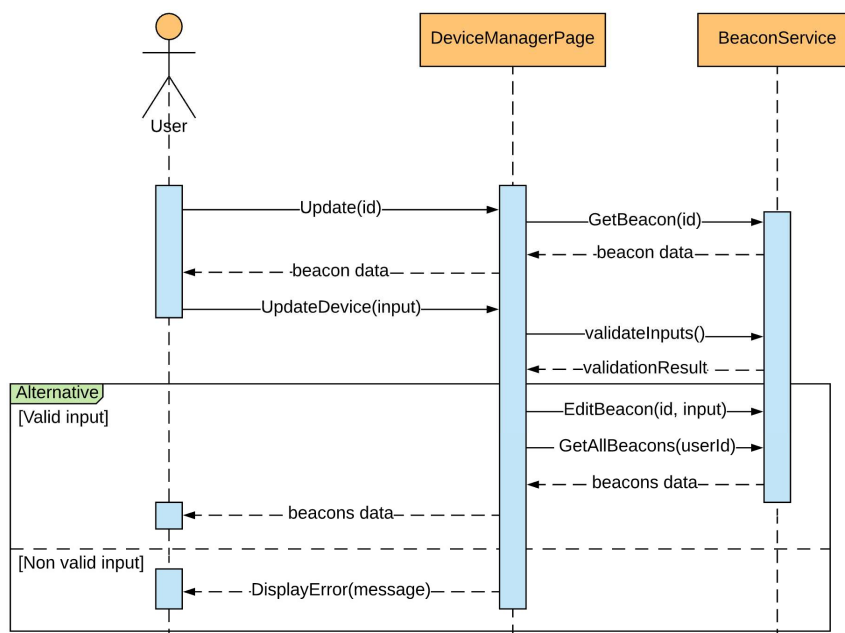
27 pav. Vartotojo atsijungimo nuo išmaniosios sistemos sekos diagrama



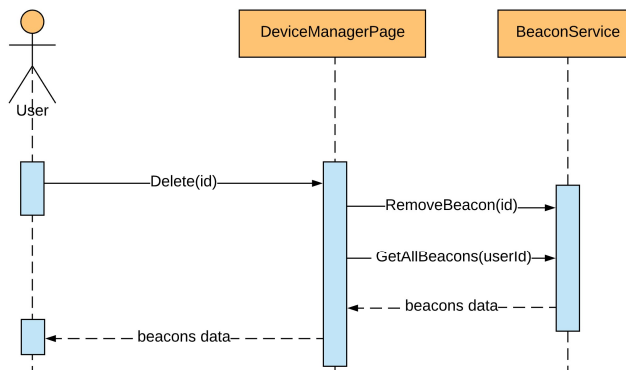
28 pav. Vartotojo informacijos naujinimo sekos diagrama



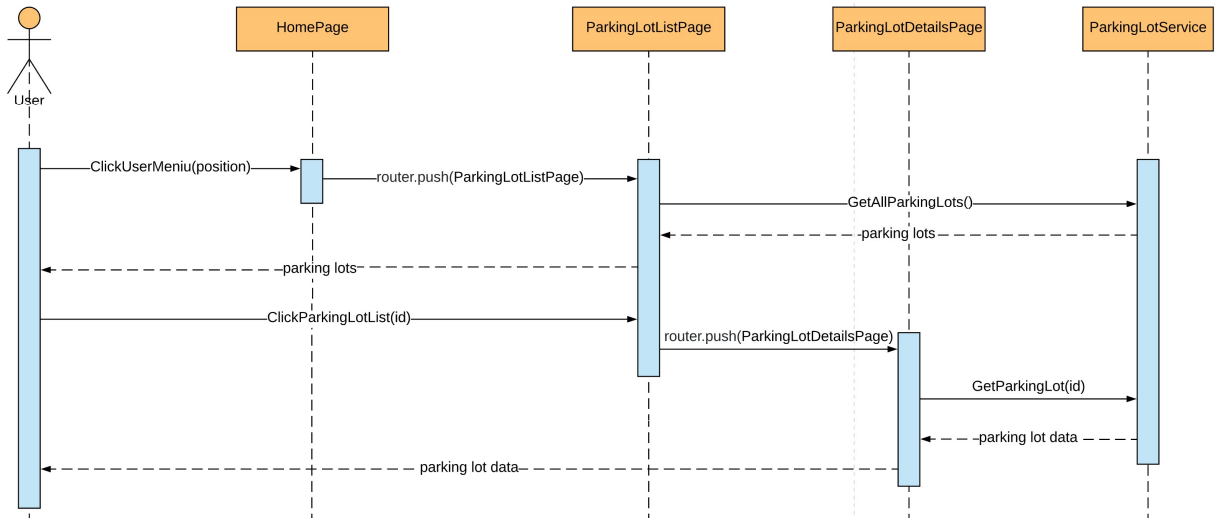
29 pav. Išmaniosios žymos įregistravimo sekos diagrama



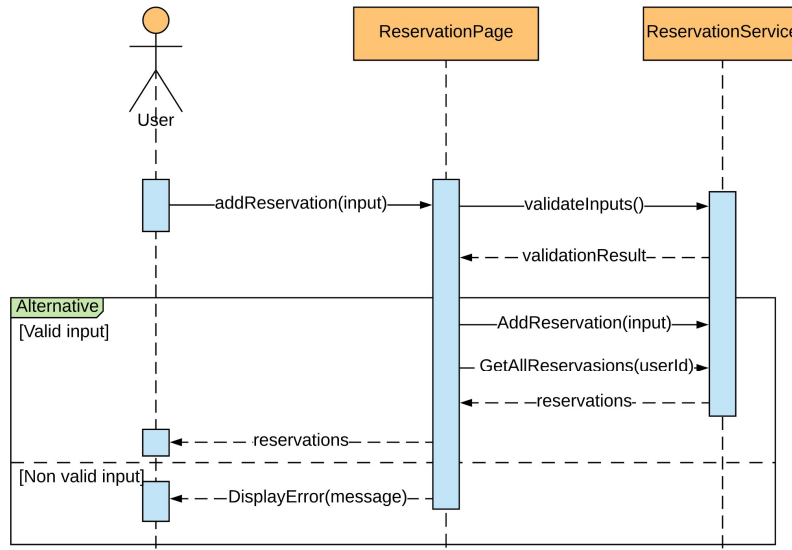
30 pav. Išmaniosios žymos redagavimo sekos diagrama



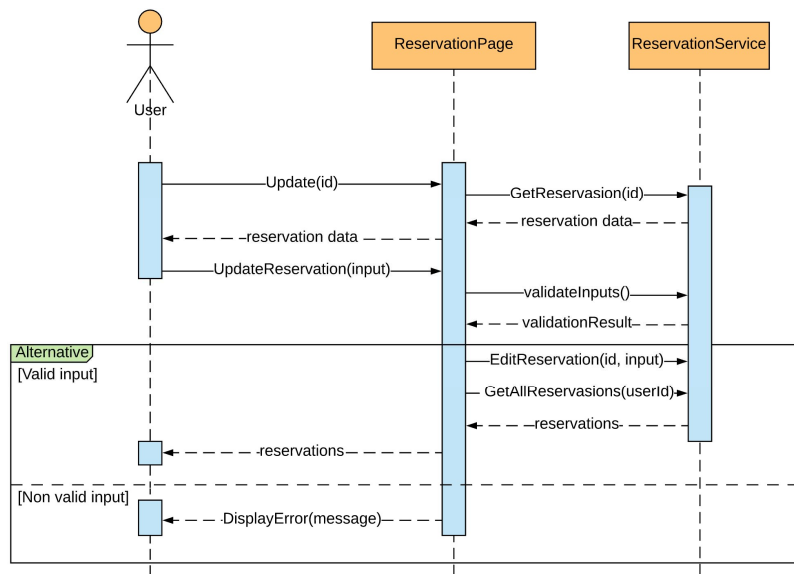
31 pav. Išmaniosios žymos redagavimo sekos diagrama



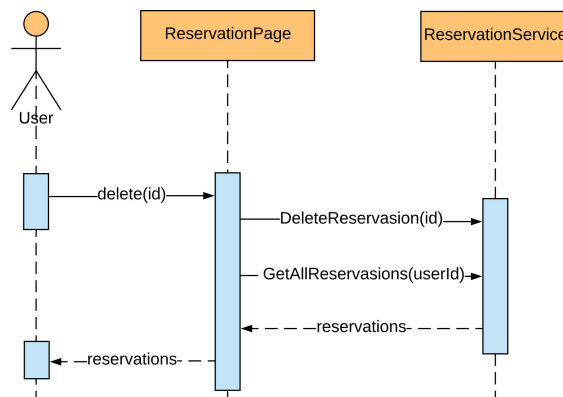
32 pav. Automobilių stovėjimo aikštelių peržiūros sekos diagrama



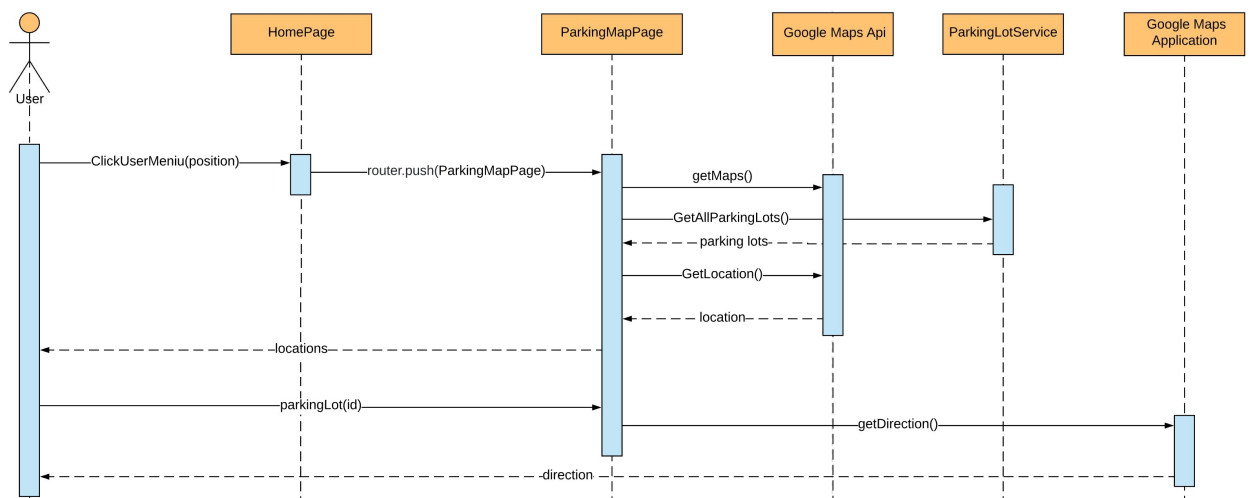
33 pav. Automobilių stovėjimo vietos rezervacijos sekos diagramos



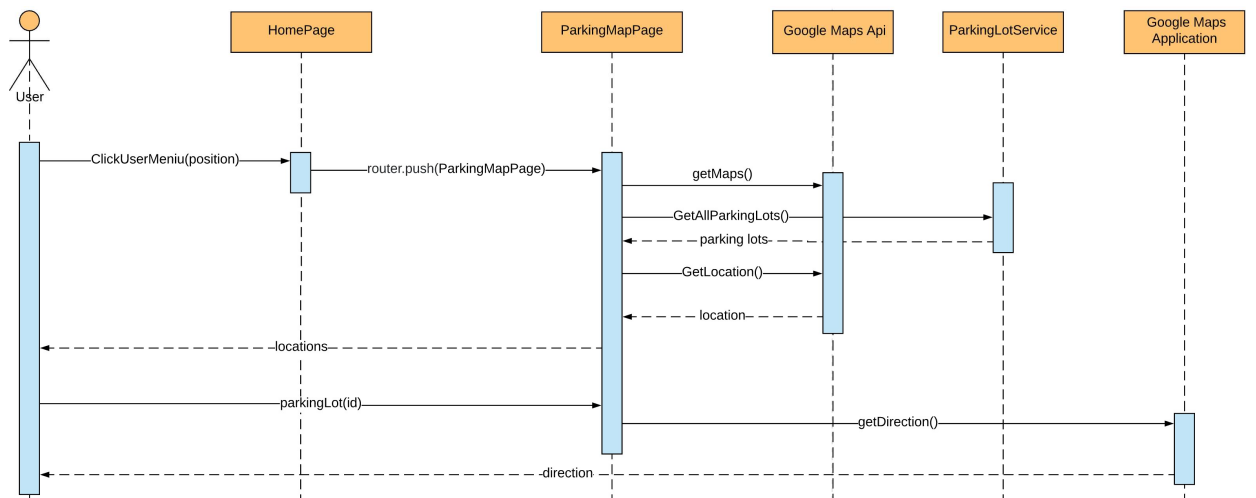
34 pav. Automobilių stovėjimo vietos rezervacijos pakeitimo sekos diagramos



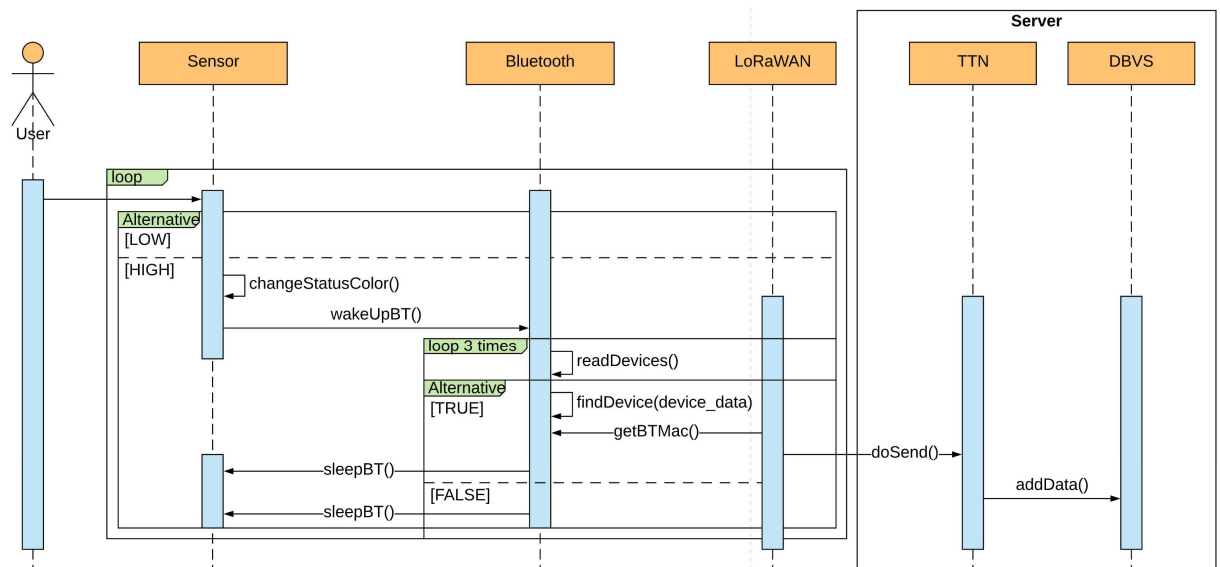
35 pav. Automobilių stovėjimo vietos rezervacijos atšaukimo sekos diagrama



36 pav. Kelionės maršruto sudarymo sekos diagrama



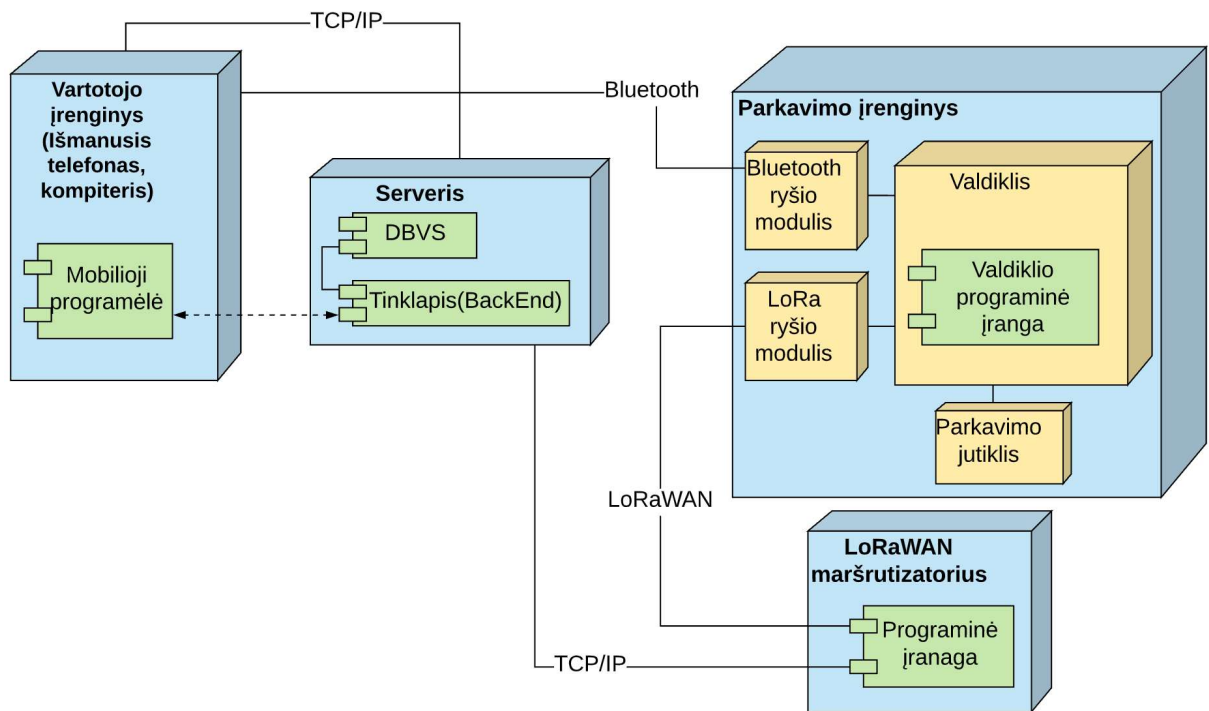
37 pav. Kelionės maršruto sudarymo sekos diagrama



38 pav. Automobilio aptikimo, įrenginio atpažinimo, informacijos perdavimo

2.4.5. Išmaniosios automobilių statymo sistemos komponentų išsidėstymo vaizdas

Žemiau pateiktame 39 paveikslėlyje vaizduojamas sistemos vaizdas, pateikiamos pagrindinės sistemos dalys, jų sandara ir priklausomybės tarp komponentų. Diagramoje parodytos aparatinės ir programinės sistemos dalys, sąveika tarp jų.



39 pav. Automobilio aptikimo, įrenginio atpažinimo, informacijos perdavimo

Paveikslėlyje parodytos trys pagrindinės sistemos dalys bei LoRaWAN maršrutizatorius, kuris padeda išvelgti aiškesnį sistemos vaizdą.

Parkavimo įrenginys sudarytas iš prie mikrovaldiklio prijungtų „Bluetooth“ ir LoRaWAN ryšio modulių bei jutiklio, automobiliams aptikti.

Serveris susideda iš vartotojui nematomos sistemos dalies tinklapio „Back End“ ir duomenų bazių valdymo sistemos. Šiame pakete įgyvendinami pagrindiniai sistemos funkcionalumai.

Vartotojo įrenginys, tai sistemai skirtą programėlę palaikantis įrenginys.

3. Tyrimas ir eksperimentinė dalis

Šiame skyriuje pateikiamas sistemos tyrimas ir eksperimentinė dalis. Vykdomo metu taikomos įvairios poveikio priemonės, siekiant išsiaiškinti bei pagal gautus rezultatus įvertinti sistemos ir jos funkcijų veiksmingumą.

3.1. Esamas funkcionalumas

Projekto metu buvo sukurtos programinė bei aparatinė įrangos, skirtos daiktų interneto automobilių aptikimo sistemai sukurti, pagrįstai atstumo ir padėties nustatymu remiantis „Bluetooth Low Energy“, technologija. Šios sistemos kūrimą galima skirstyti į keletą pagrindinių etapų:

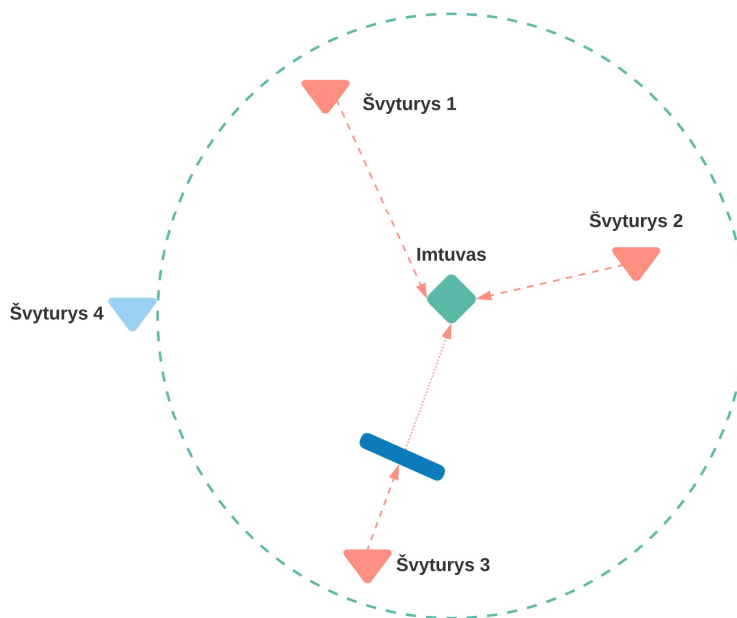
1. Pirmiausia ištiriami ir išbandomi panašūs atvirojo kodo sprendimai, nustatomi veikimo principai, pagrindiniai funkcionalumai.
2. Atlikus tyrimą buvo nustatoma – kokių funkcionalumu kuriama sistema turės pasižymėti, pradėta sprendimų bei sistemos komponentų analizė.
3. Pasirinkus reikiamus įrankius bei technologijas buvo parašytas pirmas programinis kodas, kurio paskirtis įvertinti bei nustatyti aplinkui esančių, „Bluetooth“ protokolu veikiančių, įrenginių padėtį.
4. Kitas etapas – sukurti veikiančią automobilių statymo sistemą kuri, remtūsi „Bluetooth“ technologija bei anksčiau parašytu sprendimo kodu.
5. Sukurtą sistemą taip pat reikėjo integruoti su daiktų interneto LoRaWAN protokolu veikiančia technologija, kuri padeda išplėsti daiktų interneto tinklą iki 10 km spinduliu.
6. Paskutinis etapas buvo skirtas automobilių aptikimo jutiklio prototipui realizuoti ir parašyti jam skirtą programinį kodą.

3.2. Atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo algoritmo kūrimas

Kuriant atstumo įvertinimo bei padėties nustatymo algoritmą, susidurta su problema, kaip aparatinės įrangos apribojimai. Kūrimo metu turėjo būti atsižvelgiama, kad parašytas programinis kodas turi veikti su mikrovaldikliais, kurie neturi didelės duomenų apdorojimo galios, yra gana ribotos atminties bei nėra skirti sudėtingoms funkcijoms realizuoti. Taigi, algoritmo sudėtingumas yra gana aktualus: kuo didesnis ir sudėtingesnis jis yra – tuo ilgiau trunka atstumo, padėties nustatymas, bet ir dėl to gali būti pasiekiamas didesnis tikslumas; kuo algoritmas paprastesnis – tuo greičiau jis veikia, tačiau tai gali paveikti gautų rezultatų tikslumą. Iš to kyla problema parašyti algoritmą taip, kad duomenų rinkimas truktų ne ilgiau kaip 1 minutę ir būtų pasiekiamas bent 90% tikslumas.

3.2.1. Atstumo įvertinimo metodas

Paprasčiausia padėties nustatymo forma yra patikrinti, ar objektas, kurį reikia pastatyti, yra radijo bangomis dengiančioje zonoje, neatsižvelgiant į RSSI ar atvykimo laiką. Skiriamoji geba yra tokia pati kaip radijo transliacija, nes būtų galima atskirti tik dvi esamas ir nedalyvaujančias šalis. Norint padidinti tikslumą, galima sujungti kelis radijo imtuvus skirtingose vietose ir panaudoti jų aprėpties sričių persidengimą, norint nustatyti labiausiai tikėtiną objekto padėtį. Atstumą tarp įrenginių įvardija gaunama RSSI vertė [25]. Atstumo įvertinimo principas vaizduojamas **40** paveikslėlyje.

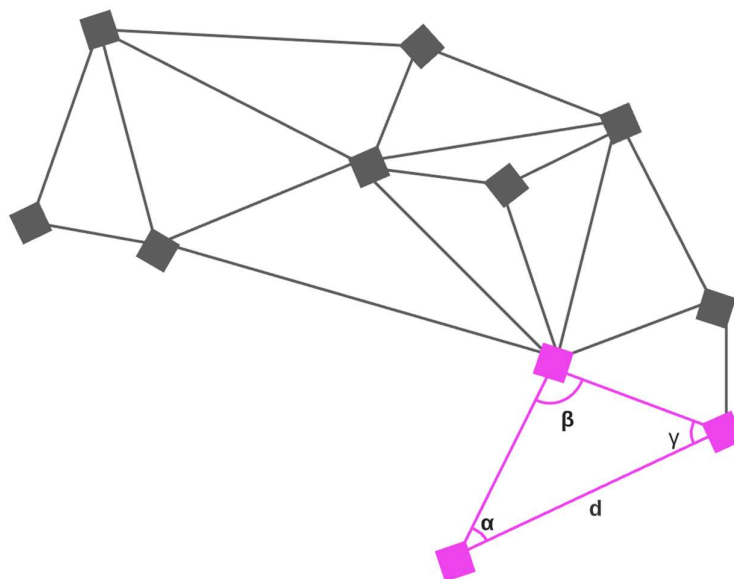


40 pav. Objekto padėties nustatymas remiantis atstumo įvertinimo principu

Siųstuvas imtuvas gauna visų aplinkui esančių įrenginių signalus [26]. Vis dėlto jei tarp dviejų „Bluetooth“ įrenginių atsiranda trečias objektas, kuris gali paveikti ryšio stiprumą, šio principo patikimumas eksponentiškai mažėja. Todėl šis metodas nėra patikimas, objektais apkrautoje aplinkoje.

3.2.2. Kampo nustatymo metodas

Proceso metu nustatoma objekto padėtis, ji gaunama atsižvelgiant į ateinančio signalo kampą [27]. Norint tai nustatyti yra reikalingas tam tikras siųstuvo ir / arba imtuvo krypties lygis, kaip antenos ar keleto jų matricos. Paprastai vienu matavimo atveju negalima nustatyti informacijos apie atstumą. Atlikus du ir / ar daugiau matavimų iš aplinkui esančių objektų, kurių koordinatės yra žinomos, galima rasti ir trečiojo objekto vietą, tai vadinama trianguliacija, pateikta 41 paveikslėlyje.

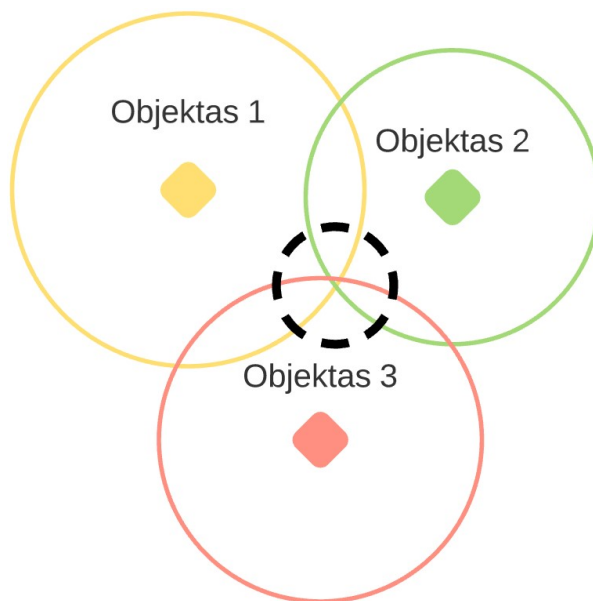


41 pav. Objekto padėties nustatymas remiantis trianguliacija

Iš pradžių buvo manyta, kad šalia esantys prietaisai tik įsiterps ir trikdytų atstumo nustatymo procesą. Visgi remiantis šiuo sprendimu yra sukuriamas vidinis „Bluetooth“ protokolu veikiantis daiktų interneto tinklas, kuriame objektai sąveikaudami tarpusavyje, padeda gauti žymiai tikslesnius rezultatus. Kuo daugiau objektų tinkle – tuo gaunami duomenys yra tikslesni.

3.2.3. Daugiašalio nustatymo metodas

Daugiašališkumas, tai vieno objekto padėties nustatymas naudojant kelis diapazono matavimus [29]. Jei diapazono matavimai atliekami iš kelių žinomų vietų, kiekvienas matavimas gali būti vertinamas kaip galimų padėčių apskritimas arba sfera išmatuotame diapazone. Sujungus kelis tokius matavimus ir apskaičiavus matavimų sankirtą gaunama padėtis. Principo pavyzdys pateiktas trimis švyturiais, visi išsidėstę skirtingu atstumu nuo objekto, žiūrėti 42 paveikslėlyje.



42 pav. Objekto padėties nustatymas remiantis daugiašališkumo principu

Kuo daugiau sferų liečia vienas kitą, tuo skaičiavimai yra tikslesni, tačiau tai daro įtaką rezultatų gavimo greičiui.

3.3. Daugiakrypčių ir blokuojamų signalų prevencija

Atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo metu buvo susidurta su kita didele problema – daugiakrypčių signalų ir/ar blokuojamų signalų perdavimu. Daugiakrypčiai, dar kitaip žinomi kelių takų sklaidimo efektai, yra viena didžiausių patalpų radijo ryšio problemų. Ši problema ypač aktuali tarp trumpųjų ryšio bangų, kaip „Bluetooth“, IRD ar 5G. Daugiakrypčius efektus sukelia tas pats signalas, kuris vienu metu yra gaunamas iš kelių krypčių. Kadangi kiekvienas signalo skleidžiamas kelias turi skirtingas kanalo charakteristikas, jis gali trukdyti kitai savo kopijai imtuve, tiek konstruktyviai, tiek destruktvyviai [30]. Skirtingi keliai kyla iš aplinkos fizinio išdėstymo ir medžiagų, todėl efektus sudėtinga modeliuoti, nes net nedideli matmenų pokyčiai ar medžiagos pakeitimas turi gana didelę įtaką kanalo savybėms.

Poveikis dar labiau sustiprėja, kai aplinką sudaro objektai, kurie nėra statiški, kaip automobiliai, žmonės, gyvūnai ar kiti judantys objektai. Kadangi sistema skirta automobilių statymo aikštei, kur aplinka yra, judri, greitai besikeičianti, dinamiška joje susiduriama su keletu problemų. Viena iš jų

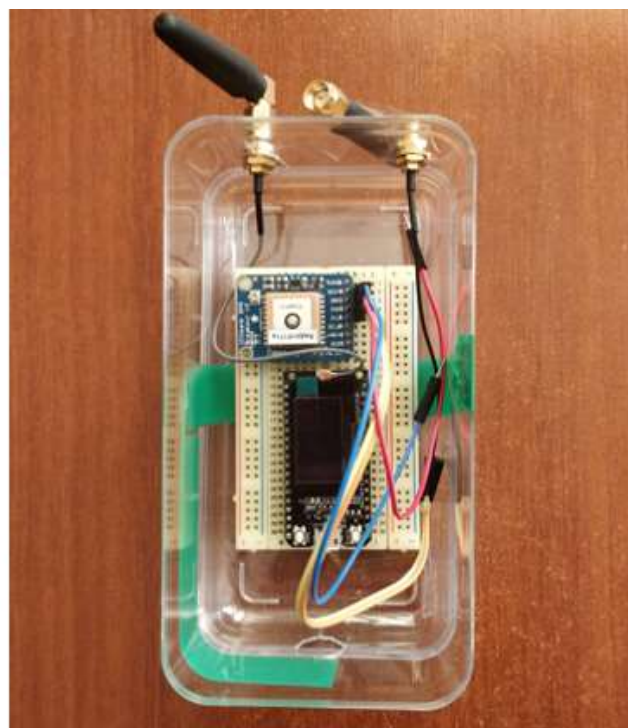
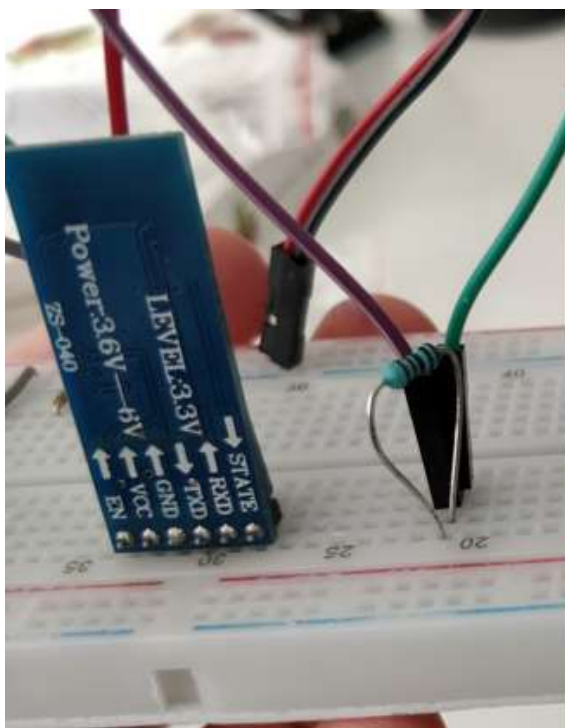
yra – signalo matymo linija gali būti užblokuota kokio nors objekto, kuris silpnina tiesiausio kelio signalą. Kitos problemos yra subtilesnės. Jos pasižymi ryšio išsklaidymo, nutraukimo savybėmis, kurios atsiranda susidūrus su įvairiomis kliūtimis. Kai kurios medžiagos yra linkusios atspindėti radijo bangas, o kitos tiesiog jas silpnina. Reikia atsižvelgti į tai, kad siųstuvai bus laikomi automobilių viduje, o imtuvai lauke, todėl įrenginiai bus atskirti skirtingo tipo ir storio, metalo ar stiklo medžiagomis. Kadangi realiai nustatyti medžiagos ir jos savybių praktiškai neįmanoma, kelių takų efektai yra geriau kompensuojami statistine prasme, rezultatus apskaičiuojant iš surinktų duomenų rinkinių. Norint išspręsti šią problemą, paprastai naudojami supaprastinimai ir nesistengiama tiksliai modeliuoti radijo aplinkos [33].

3.4. Išmaniosios automobilių statymo sistemos įgyvendinimas

Skyriuje pateikiamos tyrimo metu naudotos aparatinės bei programinės įrangos, aprašomi jų funkcionalumai, panaudojimo atvejai.

3.4.1. Aparatinės įrangos platforma

Visų atliktų bandymų ir eksperimentų metu naudoti keturi siųstuvai, dar kitaip vadinami žymomis arba švyturiais (eng. *beacons*). Švyturiai, tai „Bluetooth“ ryšiu veikiantys maži įrenginiai, kurie leidžiasi aptinkami, tačiau prisijungti prie jų neįmanoma. Trys iš jų, „DSD TECH HM-10 Bluetooth 4.0 BLE“ moduliai, buvo modifikuoti ir užprogramuoti, veikti kaip švyturiai, kurių paskirtis – skleisti BLE ryšį [34]. Kitas švyturys – išmanusis „Android“ telefonas. Projekto metu sukurta mobiliąja programėle taip pat imituojamas tokio siųstuvo veikimas. Ryšio signalams priimti buvo naudojama „TTGO LoRa32 SX1276 OLED“ plokštė, kuri pagrįsta ESP32 lustų rinkiniu. Imtuvas su USB jungtimi buvo prijungtas prie asmeninio kompiuterio, kad būtų galima lanksčiau nustatyti švyturius, panaudojant jį kaip radijo ryšio dažnio ekraną.



43 pav. HM-10 siųstuvai ir „TTGO LoRa32 SX1276 OLED“ imtuvas

43 paveikslėlyje vaizduojama sistemos tyrimo metu naudota aparatinė įranga. Kairėje yra „HM-10 BLE“ švyturys-siųstuvus, dešinėje – „TTGO LoRa32 SX1276 OLED“ mikrovaldiklis-imituvas.

3.4.2. Programinė įranga

Skyriuje pateikiama sistemos tyrimo ir eksperimentų metu naudota programinė įranga. Ši įranga yra suskirstyta į tris atskiras programas, kurios yra taikomos skirtinguose aparatinės įrangos objektuose.

3.4.2.1. Automobilio nustatymo jutiklis - imtuvas

Pagrindinė programinės įrangos dalis, algoritmas pagal kurį yra nustatomas atstumas tarp objektų, jų padėtis, yra imtuvo valdiklyje. Pats imtuvas vykdo C kalba parašytą programą, kuri surenka arčiausiai esančių BLE įrenginių skleidžiamus neapdorotus paketus ir nustato arčiausiai esančio švyturio UUID. Galiausiai surinkti identifikavimo numeriai perduodami LoRaWAN ryšiu. Valdiklio programa veikia tarsi virtualus nuoseklusis prievadas, su kuriuo sąveikauja kompiuteryje įrašytas „Arduino“ įrankis. Tokiu būdu, realiu laiku, kompiuterio ekrane galima stebėti kaip yra nustatomi aplinkui esantys BLE įrenginiai.

Norint dar labiau padidinti informacijos apdirbimo spartą, buvo parašyta nedidelė biblioteka, kuri tvarkė pagrindines visų eksperimentų metu reikalingas funkcijas, tokias kaip, nuskaitymo įjungimas ir išjungimas bei efektyvus plokštės modulių paskirstymas. Buvo pridėtas gana ribotas funkcionalumas, kuris padeda tinkamai koduoti ir iššifruoti gaunamus paketus, tačiau to buvo greitai atsisakyta, nes tai reikalavo daug laiko, o realios naudos vietos nustatymo algoritme praktiškai nebuvo.

Viena centrinė dalis, būdinga visiems eksperimentams, buvo gaunamų paketų dekodavimas. Šie paketai buvo išsiųsti iš švyturių, o biblioteka išskyrė švyturio UUID ir RSSI vertę. Tai buvo vienintelės vertės naudojamos eksperimentų metu. Bet koks klaidų poveikis inicializuojant turėtų vienodai paveikti visus eksperimentus.

Iš švyturio gaunami duomenų paketai, saugo jo pavadinimą ir transliacijos ID bei unikalų UUID numerį. Transliacijos ID yra tiesiog mažas pranešimas, siunčiamas su kiekviena transliacija, siekiant identifiкуoti švyturį. Naudojant tokį vartotojo pasirenkamą raktą, o ne kažką unikalų, kaip įrenginio universalųjį unikalų identifikatorių UUID ar serijos numerį, turėtų būti lengviau pakeisti sugedusius švyturius lauke. Visgi automobilių aptikimo sistemoje UUID yra daug praktiškesnis, nes nereikia generuoti atskirų, papildomų identifikacijos numerių.

Inicializavimo daliai BLE valdikliui reikia nusiųsti signalą, kad jis pabustų. Signalas yra tarsi trigeris, kurį galima imituoti mygtuko paspaudimu. Sistemoje, šis trigeris aktyvinamas transporto priemonei atsistojus į stovėjimo vietą, jutiklis įvertina, automobilio buvimą bei pasiunčia signalą, kuris aktyvuoja imtuvą ieškoti BLE švyturių.

3.4.2.2. Išmanioji žyma – siųstuvus

Švyturiai paleidžia programą, kuri nuolat transliuoja savo unikalų identifikavimo numerį. Siekiant sumažinti energijos suvartojimą, švyturiai skleidžia ne vieną nenutrūkstantį signalą, o daugybę kas 500 ms skleidžiamų trumpų. Transliaciją buvo ketinama siųsti tik žemiausiu iš trijų galimų kanalų. Dėl skirtingų naudojamų aparatinės įrangos platformų negalima naudoti tos pačios programos

visiems švyturiams, vietoj to buvo parašytos trys skirtingos programos. Kadangi programų sudėtingumas yra mažas, tai neturėtų turėti įtakos bendram sistemos našumui.

Sprendimo naudoti tik vieną skelbiamą kanalą idėja yra sumažinti sklaidą, kurią sukelia nedideli kanalų savybių pokyčiai skirtingiems dažniams. Tai taip pat sumažina paliekamų pėdsakų sudėtingumą, nes priešingu atveju kiekvienas švyturys turi būti vertinamas tris kartus, po vieną kiekvienam dažniui.

3.4.2.3. Išmanioji „Android“ programėlė – siųstuvas

Mobilioji programėlė, tai tarsi vartotojo sąsaja su sistema. Ji skirta valdyti ir įgyvendinti visas su automobilio statymo sistema susijusias funkcijas. Visgi ji taip pat turi funkcionalumą kuris tam tikram laikui gali paversti išmanųjį įrenginį BLE švyturiu. Šis funkcionalumas įgyvendintas pasinaudojant „Android Studio“ įrankyje esančiomis „Bluetooth“ ryšio bibliotekomis. Taip pat reikia pastebėti, kad šiuo režimu įrenginys veikia kaip švyturys, todėl apriojama galimybė naudotis „Bluetooth“ funkcionalumu, nes dėl to negalima ieškoti kitų įrenginių ir / ar jungtis prie jų.

3.5. Testavimo procesas

Didžioji dalis matavimų buvo atliekami automobilių stovėjimo aikštelėje, automobiliais ar kitais objektais apstatytoje erdvėje. Švyturiai buvo atskirai išdėstyti per eksperimentui pasirinkto ploto perimetrą. Kiekvieno bandymo metu keletas švyturių buvo laikomi automobiliuose ar kitose uždaroje patalpose. Imtuvas buvo prijungtas prie nešiojamojo kompiuterio arba paliekamas automobilių aikštelėje, kad ant jo būtų galima užvažiuoti. Kadangi sąranką ne visuomet sudarė nešiojamasis kompiuteris, imtuvas buvo maitinamas atskira didelės talpos baterija. Žemiau pateiktame 44 paveikslėlyje, vaizduojamas automobilių aikštelėje atliekamas BLE įrenginių atstumo įvertinimo eksperimentas.



44 pav. Eksperimentas, atliekamas, automobilių stovėjimo aikštelėje

Norint išbandyti atstumo įvertinimo bei padėties nustatymo funkcionalumą, paieškos procesas imituojamas daugybę kartų. Paprastai šis bandymas atliekamas rankiniu būdu, keičiant objektų išsidėstymą lauke ir stebint gaunamų rezultatų srautą. Gautas rezultatas yra unikalus švyturio UUID

numeris, RSSI – vertė, parodanti koku atstumu yra nutolęs švyturys bei skaičiavimo pradžios ir pabaigos laikai.

3.6. Eksperimentų rezultatai ir jų analizė

Šiame skyriuje pateikiami ir išsamiai paaiškinami, atlikti eksperimentai bei kokie rezultatai buvo pasiekti. Diagramose pavaizduoti prasčiausiai apskaičiuoto švyturio rezultatai, siekiant atskleisti minimalius tikėtinus rezultatus.

3.6.1. Atstumo įvertinimas metodika

Pirmieji matavimai buvo atlikti taikant atstumo įvertinimo principu parašytą programinį kodą.

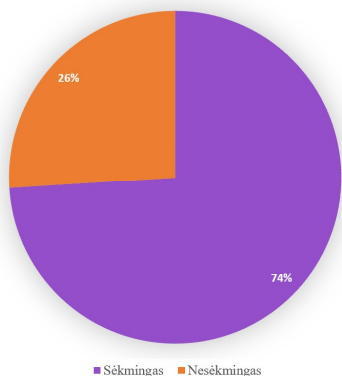
Kiti parametrai buvo:

- švyturių skaičius: 4;
- siųstuvų skaičius: 1;
- matavimo diapazonas: 1-3 metrai;
- bandymui skirtas laikas: 1 min.;
- objektų išsidėstymų perkonfigūravimas: 10 kartų;
- atliktų bandymų skaičius: 100.

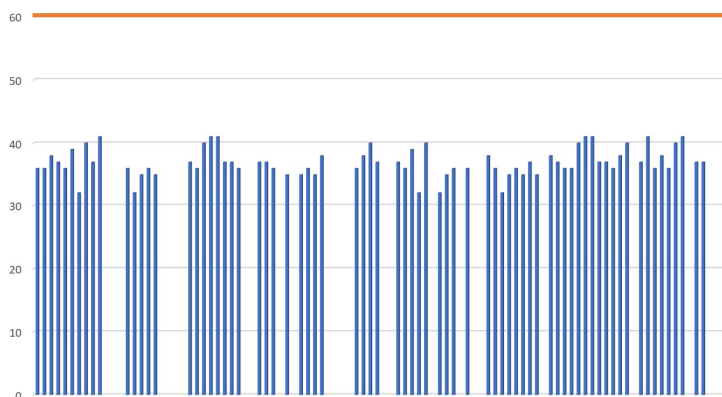
Tyrimo rezultatai:

- atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo tikslumas: 94,9%;
- įrenginio atpažinimo patikimumas: 74%;
- vidutinis aptikimo greitis: 36.9 sek.

Patikimumo testavimo rezultatai

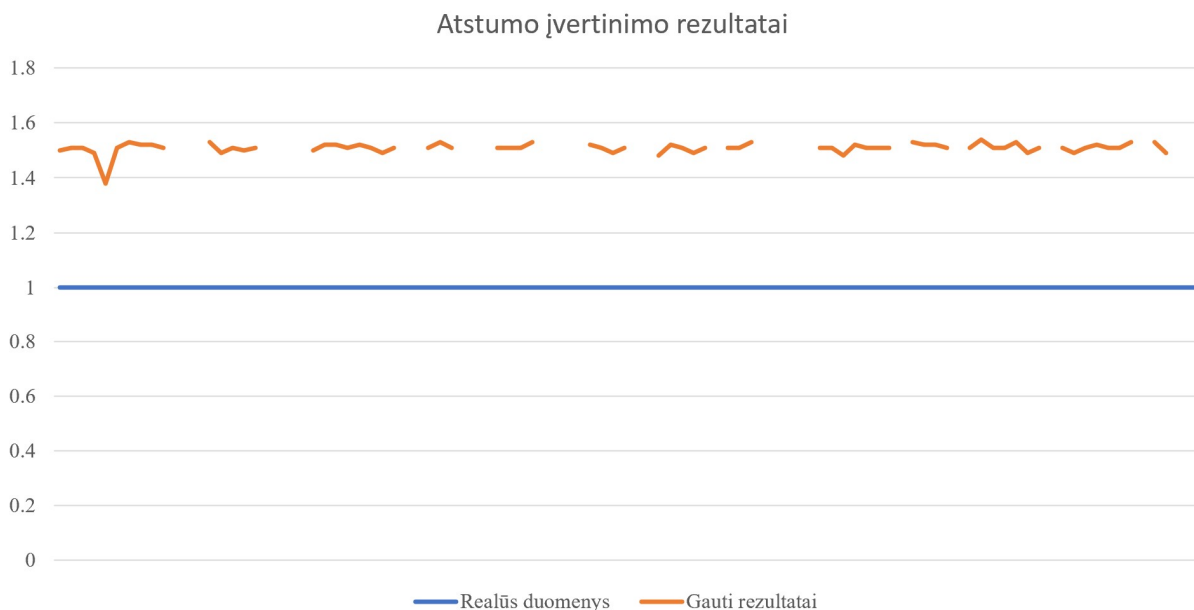


Vidutinio aptikimo greičio rezultatai



45 pav. Patikimumo bei vidutinio aptikimo greičio rezultatai, pagal atstumo įvertinimo metodiką

Rezultatas rodo, kad taikant šį sprendimą atstumas ir objekto padėtis nustatoma tik 49.9% tikslumu. Įrenginio atpažinimo tikslumas 74%, o vidutinis aptikimo greitis 36.9 sek.



46 pav. Atstumo įvertinimo rezultatai, pagal atstumo įvertinimo metodiką

3.6.2. Kampo nustatymo metodika

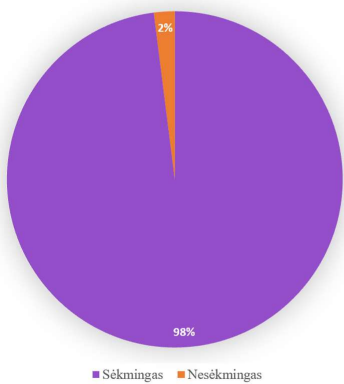
Kitas eksperimentas buvo atliktas taikant kampo nustatymo metodiką. Kiti eksperimento parametrai:

- švyturių skaičius: 4;
- siųstuvų skaičius: 1;
- matavimo diapazonas: 1-3 metrai;
- bandymui skirtas laikas: 1 min.;
- objektų išsidėstymų perkonfigūravimas: 10 kartų;
- atliktų bandymų skaičius: 100.

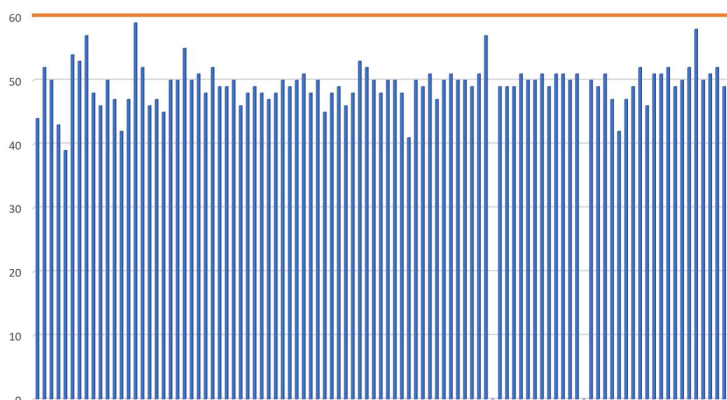
Tyrimo rezultatai:

- atstumo ir padėties nustatymo tikslumas bei įrenginio atpažinimo patikimumas: 99.4%;
- įrenginio atpažinimo patikimumas: 98%;
- vidutinis aptikimo greitis: 49.4 sek.

Patikimumo testavimo rezultatai



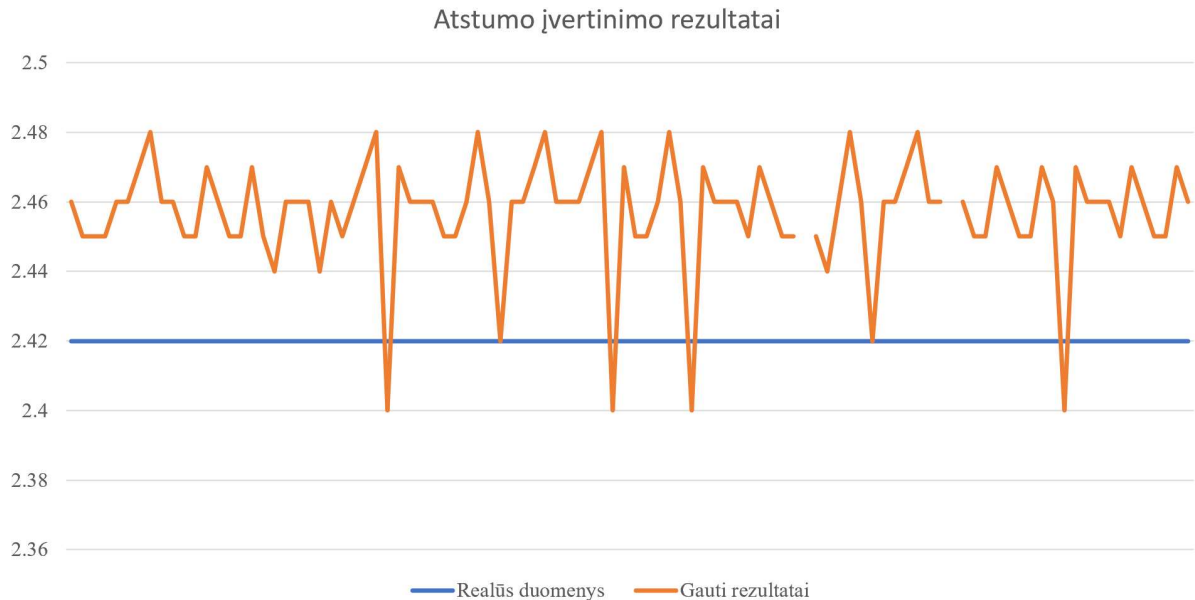
Vidutinio aptikimo greičio rezultatai



47 pav. Patikimumo bei vidutinio aptikimo greičio rezultatai, pagal kampo nustatymo metodiką

Gauti rezultatai rodo, kad taikant šį sprendimą įrenginio atpažinimo tikslumas siekia 98%, o vidutinis aptikimo greitis 49.4 sekundės, žiūrėti 47 paveikslėly.

Tuo tarpu atstumas ir objekto padėtis nustatoma net 99.4% tikslumu, o maksimali paklaida siekia 4 centimetrus.



48 pav. Atstumo įvertinimo rezultatai, pagal kampo nustatymo metodiką

3.6.3. Daugiašalio nustatymo metodika

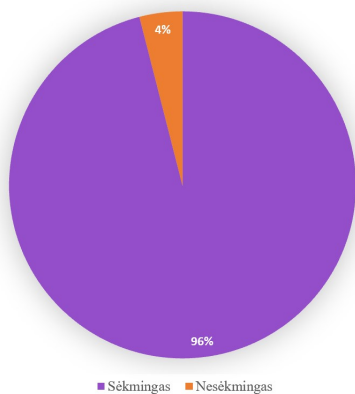
Paskutinis eksperimentas atliktas taikant pagal daugiašalio nustatymo metodiką, sukurtą programavimo kodą. Kiti eksperimento parametrai:

- švyturių skaičius: 4;
- siųstuvų skaičius: 1;
- matavimo diapazonas: 1-3 metrai;
- bandymui skirtas laikas: 1 min.;
- objektų išsidėstymų perkonfigūravimas: 10 kartų;
- atliktų bandymų skaičius: 100.

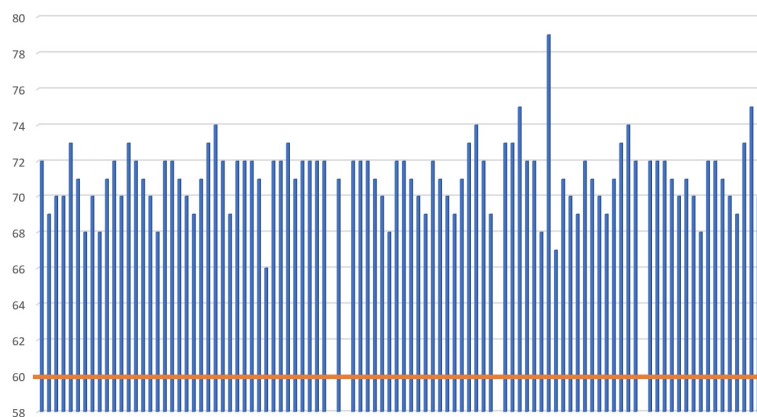
Tyrimo rezultatai:

- atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo tikslumas: 96.7%;
- įrenginio atpažinimo patikimumas: 96%;
- vidutinis aptikimo greitis: 71.1 sek.

Patikimumo testavimo rezultatai



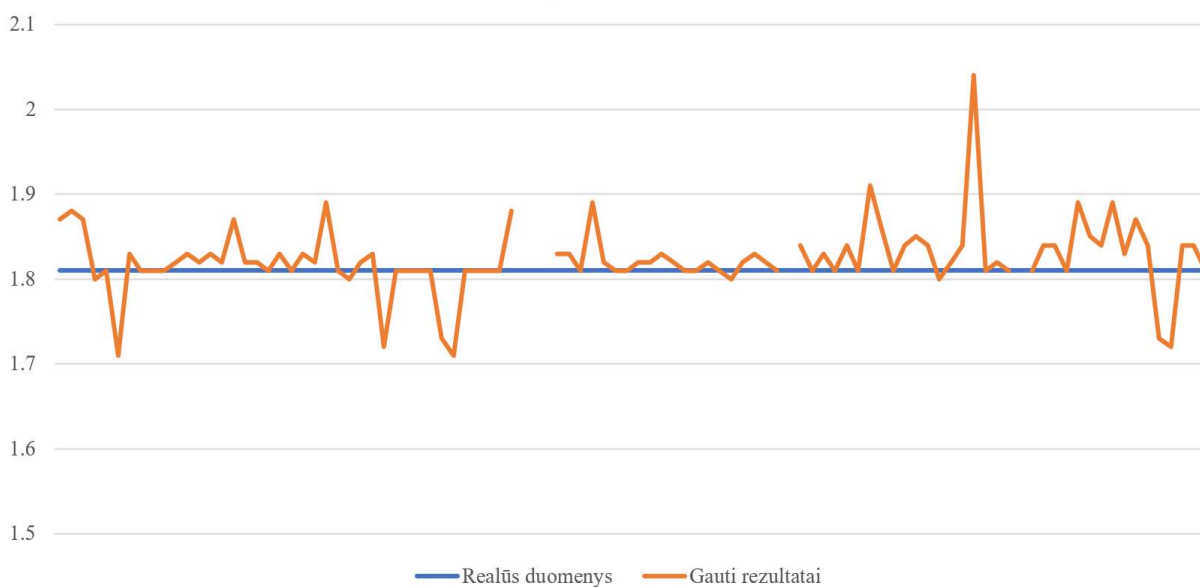
Vidutinio aptikimo greičio rezultatai



49 pav. Patikimumo bei vidutinio aptikimo greičio rezultatai, pagal daugiašalio nustatymo principą

Iš gautų rezultatų galima matyti, kad taikant šį sprendimą įrenginio atpažinimo tikslumas 96%, o vidutinis aptikimo greitis 71.1 sekundė.

Atstumo įvertinimo rezultatai



50 pav. Atstumo įvertinimo rezultatai, pagal daugiašalio nustatymo principą

Atstumas ir objekto padėtis nustatoma 96.7 % tikslumu, o maksimali paklaida siekia 10 centimetrų, rezultatai pateikti 50 paveikslėlyje esančioje atstumo įvertinimo diagramoje.

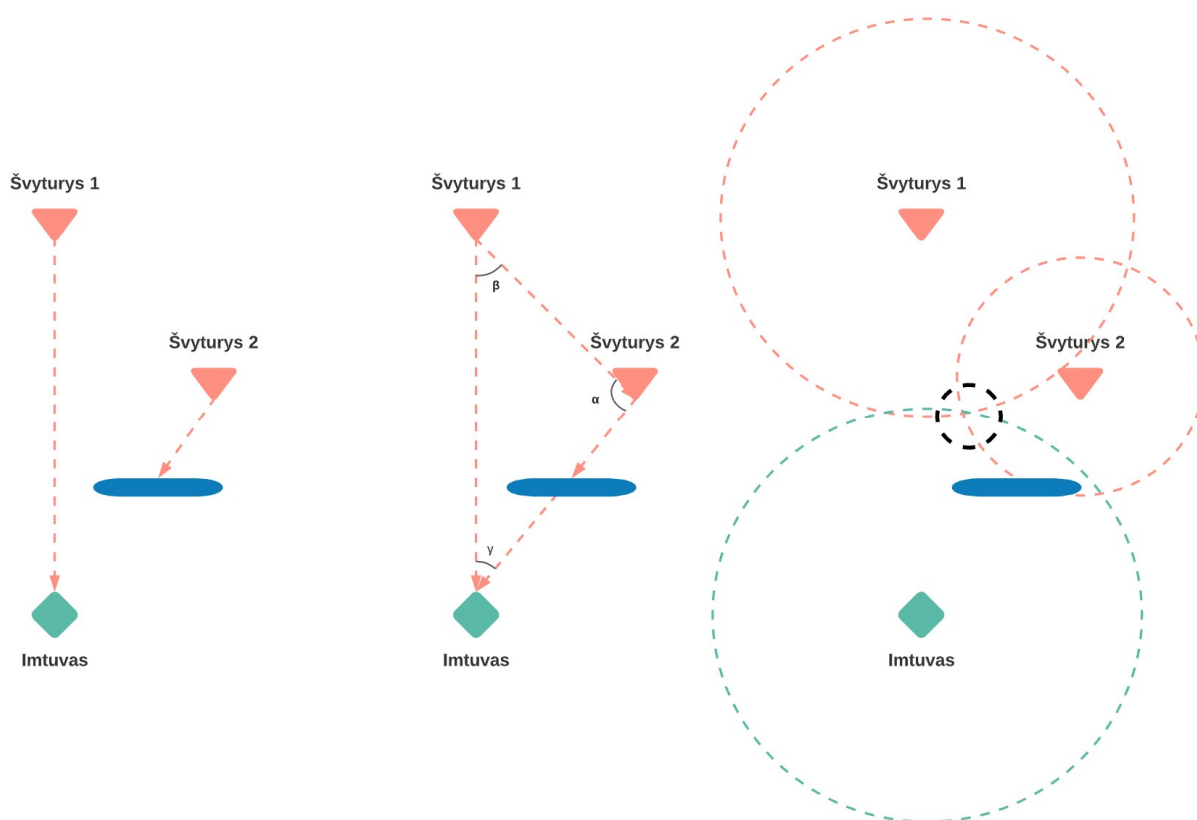
3.6.4. Metodikų palyginimas

Visi atliktų testų rezultatai pateikti 24 lentelėje, žemiau.

24 lentelė. Skirtingų algoritmų, rezultatų lentelė

Metodas	Atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo tikslumas, %	Įrenginio atpažinimo patikimumas, %	Vidutinis aptikimo greitis, sek.
Atstumo įvertinimo	94,9	74	36.9
Kampo nustatymo	99.4	98	49.4
Daugiašalio nustatymo	96.7	96	71.1

Gauti rezultatai parodė, kad įrenginio atpažinimo tikslumui daro įtaką objektų išsidėstymas tiriamoje aplinkoje. Geriausi rezultatai buvo iš eksperimentų, kurie buvo atliekami atviroje erdvėje. Visgi, taikant kampo ir daugiašalio nustatymo metodikas, daugeliu atvejų aplinkoje esančių kitų kūnų daromos paklaidos buvo pavykta išvengti. Paveikslėlyje galima pamatyti kaip taikant skirtingus algoritmus yra reaguojama į aplinkoje esančiu kūnus.



51 pav. Objektų reakcija į aplinkoje esančius kūnus

Paprasčiausias, atstumo įvertinimo algoritmas gana dažnai nesugeba nustatyti už objekto esančio švyturio, arba įvertina jį klaidingai. Daugiašalis nustatymas, nors ir yra daug patikimesnis, tačiau aptikti bei įvertinti švyturį užtrunka drastiškai ilgiau, leistina laiko riba trunka net 11 sekundžių ilgiau nei yra numatyta. Tuo tarpu matuojant atstumą pagal kampo nustatymo metodiką, buvo pasiekti tiksliausi rezultatai, kurie tai pat neviršija nustatytų laiko normatyvų. Todėl sukurtoje automobilių statymo sistemoje geriausia taikyti atstumo įvertinimo algoritmą paremtą kampo pagal objektų išsidėstymą nustatymo metodika.

Išvados

1. Atlikta rinkoje egzistuojančių sprendimų analizė, išbandyti prieinami produktai, nustatytas kuriamai sistemai būtinas funkcionalumas bei įgyvendinimui reikalingos technologijos.
2. Suprojektuota ir sukurta išmani automobilių statymo sistema, paremta „Bluetooth“ ir LoRaWAN protokolų funkcionalumu.
3. Ištirti trys atstumo įvertinimo ir padėties nustatymo metodikos. Sukurti algoritmai paremti veikti „BLE“ technologijos pagrindu.
4. Eksperimentai parodė, kad rezultatai labiau priklausė ne nuo naudojamos aparatinės ar programinės įrangų, bet nuo aplinkos kurioje jos buvo naudojamos. Uždarose ir / ar smarkiai objektais apkrautose erdvėse ryšys yra blokuojamas, todėl atstumo įvertinimas sudėtingėja.
5. Geriausi rezultatai gauti taikant kampo nustatymo metodikos pagrindu parašytą algoritmą. Tyrimo metu buvo pastebėta, kad atstumo ir padėties nustatymo tikslumas bei įrenginio atpažinimo patikimumas siekia 99.4%, įrenginio atpažinimo patikimumas 98%, o vidutinis švyturiu aptikimo greitis 49.4 sek.
6. Sistema sėkmingai realizuota įgyvendinant iškeltus funkcinius ir nefunkcinius reikalavimus.
7. Išmanioji automobilių statymo sistema gali būti toliau tobulinama, gerinant įrenginių atpažinimą įvairesnėse, sudėtingesnėse aplinkose bei išplečiant jos funkcionalumą veikti už „Android“ operacinės sistemos ribų.
8. Įsitikinta, kad daiktų internetas gali būti ir toliau plėtojamas sprendžiant panašias problemas. Sistema sugeba identifikuoti vairuotoją ir registruoti, jo naudojamą paslaugą greičiau nei per vieną minutę.
9. Sistemos aparatinės įrangos prototipas parengtas diegti į KTU Santakos slėniui priklausančia automobilių stovėjimo aikštelę.

Literatūros sąrašas

1. REGITRA: Atviri duomenys [interaktyvus]. 2019-11-01 [žiūrėta 2019-11-09]. Prieiga per: <https://www.regitra.lt/lt/atviri-duomenys/>
2. NATIONMASTER: Transport > Road > Motor vehicles per 1000 people: Countries Compared [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2019-11-09]. Prieiga per: <https://www.nationmaster.com/country-info/stats/Transport/Road/Motor-vehicles-per-1000-people/>
3. CROSS: COMPREHENSIVE PARKING SOLUTIONS [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-01-13]. Prieiga per: <https://www.cross-traffic.com/en/parking-systems/>
4. MOBIDEV: IOT BASED SMART PARKING SYSTEM DEVELOPMENT [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-01-13]. Prieiga per: <https://mobidev.biz/blog/iot-based-smart-parking-system>
5. UNIPARK: Programėlė [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2019-11-13]. Prieiga per: <https://mobidev.biz/blog/iot-based-smart-parking-system>
6. HUAWEI: IoT, Driving Verticals to Digitization, Building a strong ecosystem across verticals for win-win, Smart Parking [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2019-11-13]. Prieiga per: <https://www.huawei.com/minisite/iot/en/smart-parking.html>
7. ADARSH M., BEACONSTACK: BLE beacon technology made simple: A complete guide to Bluetooth Low Energy Beacons [interaktyvus]. 2019-06-18 [žiūrėta 2019-11-11]. Prieiga per: <https://blog.beaconstack.com/2018/08/ble-made-simple-a-complete-guide-to-ble-bluetooth-beacons/>
8. SILVA S., SOARES S., VALENTE A., FERNANDES T. R. Coexistence and interference tests on a Bluetooth Low Energy front-end. Informatika. 2014-10-09. Prieiga per: doi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6918312>
9. Mikhail GALEEV. Bluetooth 4.0: An introduction to Bluetooth Low Energy–Part I. EE|Times. [interaktyvus]. 2011-07-14 [žiūrėta 2021-05-08]. Prieiga per: <https://www.regitra.lt/lt/atviri-duomenys/>
10. Rodrigo V.M. PEREIRA, Fernando R. de SOUSA, Eduardo A. BEZERRA, Marcelo D. BEREJUCK. A Digital Implementation of Eddystone Standard Using IBM 180nm Cell Library. Informatika. 2017-11-23. Prieiga per: doi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8116574>
11. BURZACCA P., MIRCOLI M., MITOLO S., POLZONETTI A. “iBeacon” technology that will make possible Internet of Things. Informatika. 2015-10-01. Prieiga per: doi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7284237>
12. Bluetooth®: Atviri duomenys [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2021-05-02]. Prieiga per: <https://www.bluetooth.com/specifications/assigned-numbers/>
13. KOZAFORREST J. R. BENNETT H. III ANDRE D. KEANE M. A. Automated Design of Both the Topology and Sizing of Analog Electrical Circuits Using Genetic Programming. Informatika. 1998-09. Prieiga per: doi: https://www.researchgate.net/publication/2683028_Automated_Design_Of_Both_The_Topology_And_Sizing_Of_Analog_Electrical_Circuits_Using_Genetic_Programming
14. Microcontrollers Lab: TTGO LoRa32 SX1276 OLED Board with Arduino IDE [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2021-04-18]. Prieiga per: <https://microcontrollerslab.com/ttgo-lora32-sx1276-oled-board-pinout-getting-started-with-arduino-ide/>

15. The Things Network: Atviri duomenys [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-10-10]. Prieiga per: <https://www.thethingsnetwork.org/>
16. Spring Boot: Atviri duomenys [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-10-10]. Prieiga per: <https://spring.io/projects/spring-boot>
17. Lucidchart: Atviri duomenys [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-09-14]. Prieiga per: <https://www.lucidchart.com/>
18. UML Class Diagram Tutorial: Atviri duomenys [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-04-05]. Prieiga per: <https://www.visual-paradigm.com/guide/uml-unified-modeling-language/uml-class-diagram-tutorial/>
19. Arduino: The Arduino Playground. [interaktyvus]. 2018-12-31. [žiūrėta 2020-04-05]. Prieiga per: <https://playground.arduino.cc/>
20. ANDROID STUDIO: Android Studio provides the fastest tools for building apps on every type of Android device. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-02-27]. Prieiga per: <https://developer.android.com/studio>
21. Google Maps Platform: Google Maps Platform Documentation. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-04-01]. Prieiga per: <https://developers.google.com/maps/documentation>
22. Ivan GALEEV. Apple AirTag arrives for \$29, uses Ultra Wideband and does Emoji. GSMARENA. [interaktyvus]. 2021-04-20 [žiūrėta 2021-04-22]. Prieiga per: https://www.gsmarena.com/apple_airtag_finally_arrives_for_29_uses_ultrawideband_and_does_emoji-news-48753.php
23. KTU: Kauno Technologijos Universitetas: Slėnis „Santaka“. [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-11-07]. Prieiga per: <https://nivc.ktu.edu/slenis-santaka/>
24. Android: What is Android. [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-10-05]. Prieiga per: <https://www.android.com/what-is-android/>
25. Amos KINGATUA. Bluetooth Indoor Positioning and Tracking Solutions. Supplyframe Hardware. [interaktyvus]. 2020-03-26. [žiūrėta 2021-03-19]. Prieiga per: <https://medium.com/supplyframe-hardware/bluetooth-indoor-positioning-and-asset-tracking-solutions-8c78cae0a03>
26. Alessandro MONTANARI, Sarfraz NAWAZ, Cecilia MASCOLO, Kerstin SAILER. A Study of Bluetooth Low Energy Performance for Human Proximity Detection in the Workplace. Kompiuterių katedra. Kosmoso sintaksės laboratorija. 2017. Prieiga per: doi: https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/262927/Montanari_et_al-2017-IEEE_Pervasive_Computing-AM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
27. Christian FEIL. Indoor Positioning: Opportunities and Implementation Strategies of Bluetooth Low Energy. 2016. Prieiga per: doi: https://pdfs.semanticscholar.org/f512/d36cc1868eb32b1691bfe66ec9c1383213b2.pdf?_ga=2.9586869.1263345436.1620461649-1714676657.1620461649
28. Tamer DAG, Taner ARSAN. Received signal strength based least squares lateration algorithm for indoor localization. Kompiuterių inžinerijos skyrius. 2018-02. Prieiga per: doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790617308509?via%3Dihub>
29. Maxim SHCHEKOTOV. Indoor Localization Methods Based on Wi-Fi Lateration and Signal Strength Data Collection. 2015-04-20. Prieiga per: <https://www.fruct.org/publications/fruct17/files/Shc.pdf>

30. Miguel POVEDA-GARCÍA, Antonio GÓMEZ-ALCARAZ, David CAÑETE-REBENAQUE, Alejandro Santos MARTINEZ-SALA, José Luis GÓMEZ-TORNERO. RSSI-Based Direction-of-Departure Estimation in Bluetooth Low Energy Using an Array of Frequency-Steered Leaky-Wave Antennas. 2020-01-09. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/338495111_RSSI-Based_Direction-of-Departure_Estimation_in_Bluetooth_Low_Energy_Using_an_Array_of_Frequency-Steered_Leaky-Wave_Antennas
31. XiPeng XIAO. Multipath Fading. 2008. [žiūrėta 2021-03-21] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/multipath-fading>
32. Bruno PATTAN. Understanding Terrestrial Multipath Fading Phenomena. Microwaves&RF. [interaktyvus]. 2004-04-27. [žiūrėta 2021-03-19]. Prieiga per: <https://www.mwrf.com/technologies/systems/article/21840450/understanding-terrestrial-multipath-fading-phenomena>
33. Firas MOHAMMED, Ali AL-RAIE. Simulation of Multipath Fading Effects in Mobile Radio Systems. Elektronikos inžinerijos katedra. Prieiga per: https://www.microwavejournal.com/ext/resources/BGDownload/1/6/Multipath_Fading.pdf
34. Martyn CURREY. HM-10 Bluetooth 4 BLE Modules. Martyn Currey Mostly Arduino stuff. [interaktyvus]. 2017-01-05 [žiūrėta 2020-04-10]. Prieiga per: <https://www.regitra.lt/lt/atviriduomenys/>

Priedai

1 priedas. Išmaniosios programėlės vartotojo vadovas

1. Vartotojo prisijungimo prie sistemos langas

Tai pirmasis rodomas sistemos langas išjungus išmaniają programėlę. Vartotojo prisijungimo langas reikalauja įvesti registruoto vartotojo informaciją, el. pašto adresą bei slaptažodį.

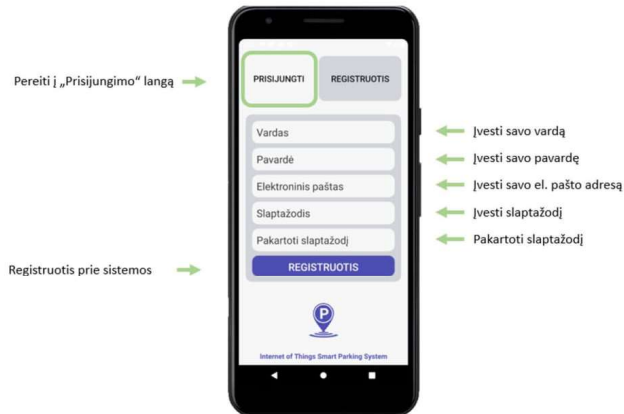


1 pav. Vartotojo registracijos langas

Prisijungimo prie sistemos funkcija paleidžiama spustelint mygtuką „Prisijungti“.

2. Vartotojo registracijos langas

Vartotojo registracijos langas, reikalauja teisingai užpildyti visus registracijos formoje esančius punktus.



2 pav. Vartotojo prisijungimo langas

Visa tai patvirtinama mygtuku registruotis „Registruotis“.

3. Namų langas

Šis langas skirtas peržiūrėti interaktyvią parkavimo aikštelių statistiką.



3 pav. Namų langas

Langas sudarytas iš interaktyvių diagramų kurios sudarytos iš parkavimo metu surinktų duomenų.

4. Sąrašo langas

Šis langas vaizduoja šiuo metu sistema besinaudojančių aikštelių sąrašą.

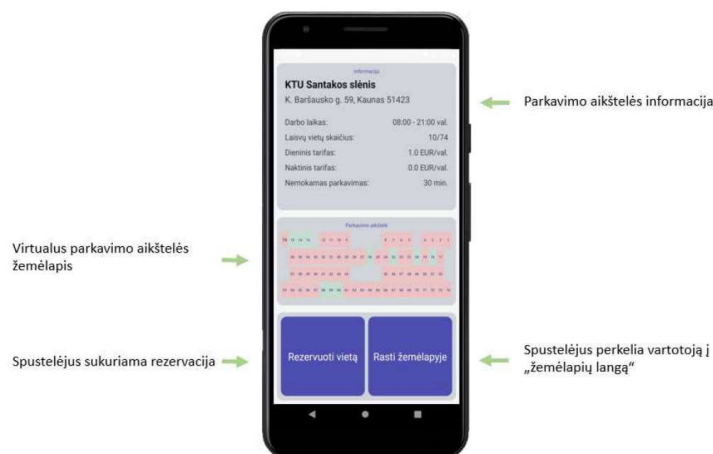


4 pav. Sąrašo langas

Sąrašo laukeliuose taip pat vaizduojama, tokia informacija kaip adresas ir darbo valandos.

5. Parkavimo aikštelės informacijos langas

Šis langas skirtas atvaizduoti detalią parkavimo aikštelės informaciją, virtualų žemėlapi.

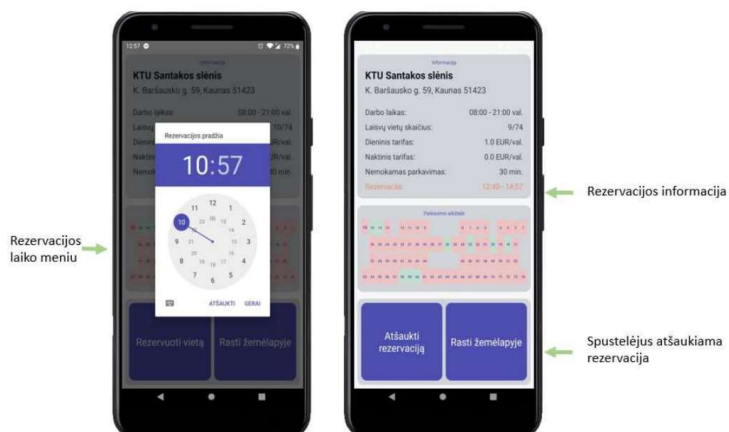


5 pav. Parkavimo aikštelės informacijos langas

Šis langas taip pat suteikia galimybę rezervuoti parkavimo vietą (einamosios dienos metu) bei pereiti į žemėlapių langą.

6. Parkavimo aikštelės informacijos langas vietos rezervavimas

Norint rezervuoti vietą aikštelėje reikia spustelėti lange esantį „Rezervuoti vietą“ mygtuką, kuris aktyvuoja laiko pasirinkimo meniu.

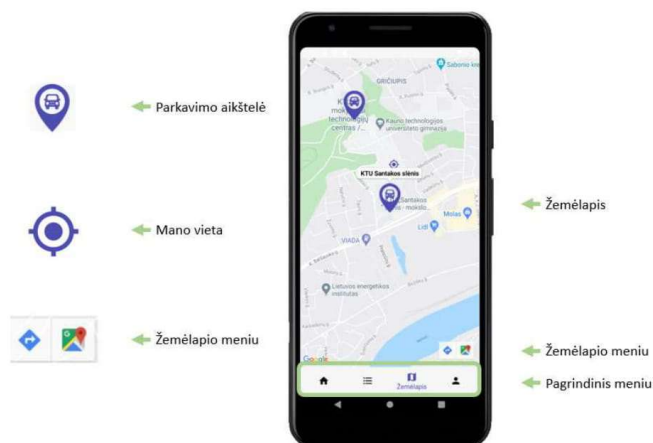


6 pav. Parkavimo aikštelės informacijos langas vietos rezervavimas

Atšaukti rezervaciją galima pasirinkus mygtuką „Atšaukti rezervaciją“ bei patvirtinant atšaukimo pranešimą.

7. Žemėlapis langas

Langas skirtas surasti parkavimo aikšteles žemėlapyje bei sudaryti maršrutą iki jų.



7 pav. Žemėlapis langas

Norint sudaryti maršrutą iki pasirinktos parkavimo aikštelės reikia pasirinkti pirmąjį žemėlapis meniu mygtuką. Antrasis mygtukas atidaro „Google Maps“ žemėlapius.

8. Vartotojo informacijos langas

Langas skirtas vartotojo informacijai valdyti.

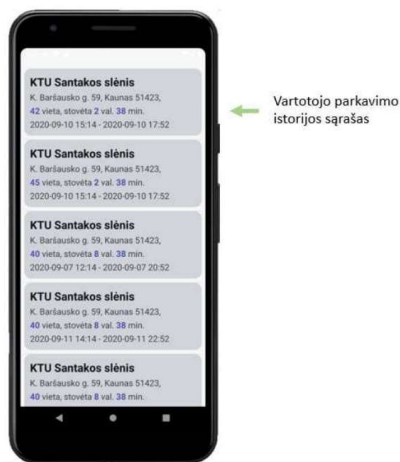


8 pav. Parkavimo aikštelės informacijos langas vietos rezervavimas

Šiame lange galima atnaujinti vartotojo duomenis, keisti programėlės stilių ir/ar kalbą, atsijungti nuo sistemos. Taip pat šis langas veda į vartotojo įrenginių bei istorijos langus.

9. Istorijos sąrašo langas

Šis langas vaizduoja vartotojo parkavimo istorijos sąrašą.

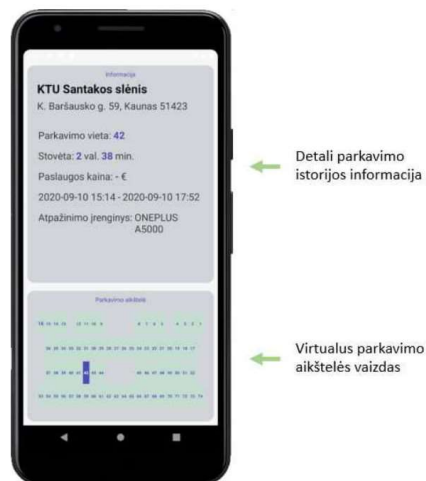


9 pav. Istorijos sąrašo langas

Sąrašo laukeliuose taip pat vaizduojama, tokia informacija kaip adresas, parkavimo vieta ir laikas.

10. Istorijos informacijos langas

Langas vaizduoja detalią parkavimo istorijos informaciją.

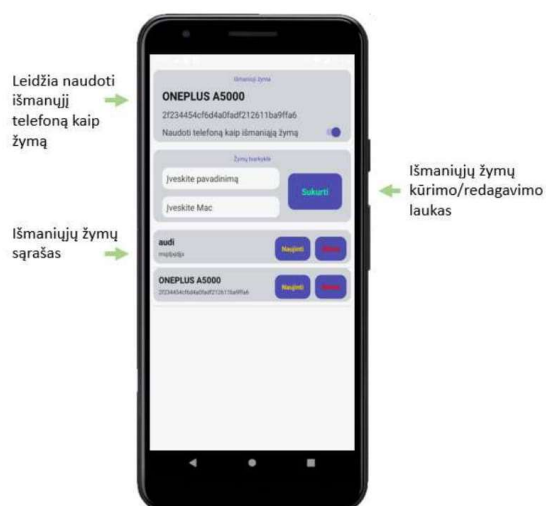


10 pav. Istorijos informacijos langas

Langas padalintas į dvi dalis, viršutinė skirta parkavimo istorijos informacijai pateikti. Apatinėje skiltyje vaizduojamas virtualus parkavimo aikštelės vaizdas su naudota parkavimo vieta.

11. Išmaniųjų žymų valdymo langas

Langas skirtas valdyti išmaniąsias žymas padedančias atpažinti vartotoją parkavimo aikštelėje.



11 pav. Išmaniųjų žymų valdymo langas

Langas padalintas į 3 skiltis, pirmoji suteikia galimybę naudoti mobilųjį įrenginį kaip išmaniąją žymą, antroji kurti redaguoti žymas. Trečioji skiltis vaizduoja visas vartotojui priklausančias žymas, taip leidžia pasirinkti kurią žymą norma naujinti ar šalinti.