



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

**Transporto srauto objektų klasifikavimo neinvaziniu būdu,  
naudojant milimetrinių bangų radarą, tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Augustinas Babarskas**

Projekto autorius

**Prof. Dangirutis Navikas**

Vadovas

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

**Transporto srauto objektų klasifikavimo neinvaziniu būdu,  
naudojant milimetrinių bangų radarą, tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Elektronikos inžinerija (6211EX012)

---

**Augustinas Babarskas**

Projekto autorius

**Prof. Dangirutis Navikas**

Vadovas

**Doc. Mindaugas Knyva**

Recenzentas

---



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Augustinas Babarskas

## **Transporto srauto objektų klasifikavimo neinvaziniu būdu, naudojant milimetrinių bangų radarą, tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdamas kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasis 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;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalintas iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Augustinas Babarskas

*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Babarskas Augustinas. Transporto srauto objektų klasifikavimo neinvaziniu būdu, naudojant milimetrinių bangų radarą, tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Dangirutis Navikas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Elektronikos inžinerija, inžinerijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: radaras, dažniu moduluotas signalas, transporto srauto stebėseną, parametrizavimo algoritmai, transporto priemonių klasifikavimas.

Kaunas, 2022. 58 p.

## **Santrauka**

Magistrinio baigiamojo projekto tikslas ištirti skirtingų parametrizavimo algoritmų požymių išskyrimą ir jų įtaką transporto priemonių klasifikavimo algoritmams. Tyrimas atliekamas naudojant milimetrinių bangų radaru išmatuotus atsispindėjusius signalus nuo transporto priemonės dalių, jai pravažiuojant radaro matymo lauke.

Pirmoje darbo dalyje analizuojami literatūros šaltiniai. Apžvelgiami nekontaktiniai ir neinvaziniai jutikliai, naudojami transporto priemonių parametrų įvertinimui. Palyginami transporto priemonių klasifikavimo standartai, jų privalumai ir trūkumai.

Antroje dalyje aprašoma duomenų surinkimo sistema, jos parametrai ir matavimo metodika. Aprašoma, kaip apskaičiuotas darbo metu naudojamas dažniu moduluotas signalas apžvelgiama kiekvieno parametro svarba.

Trečioje dalyje aprašomi ir išanalizuojami specializuoti „DBScan“ algoritmai, naudojami transporto priemonių parametrizavimui t.y. transporto priemonės parametrų gavimui. Išanalizuojamas jų veikimas, naudojimo paskirtis, privalumai ir trūkumai.

Ketvirtoje dalyje atliekama pirminė duomenų analizė, norint eliminuoti netinkamai apskaičiuotas koordinates iš atsispindėjusio signalo nuo transporto priemonės dalies.

Toliau, penktoje dalyje tiriami „DBScan“ algoritmams naudojami parametrai.

Šeštoje dalyje tiriami specializuoti „DBScan“ algoritmai, jų įtaka TP sudarančių atsispindėjusio signalo išskaičiuotų taškų koordinatų suklastavimui ir išskaičiuotiems parametrams (ilgiui, pločiui, atsispindėjusio signalo stiprumui, NTKPAS skaičiui, greičiui).

Septintoje dalyje, transporto priemonės klasifikuojamos, naudojant gautus visų klasterizavimo algoritmų parametrus. Ištiriama parametrizavimo algoritmo svarba, transporto priemonių klasifikavimui.

Babarskas Augustinas. Non – Invasive Classification Of Traffic Flow Objects Using Milimeter – Wave Radar. Master's Final Degree Project / supervisor Prof. dr. Dangirutis Navikas; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Electronics Engineering, Engineering Science.

Keywords: radar, frequency modulated signal, traffic flow monitoring, parameterization algorithms, vehicle classification.

Kaunas, 2022. 58.

### **Summary**

The aim of the Master's thesis is to isolate all parameterization algorithms and their influence on vehicle classification algorithms. use the reflected signals measured by the millimeter-wave radar as the vehicle passes by the field of vision of the millimeter-wave radar.

The first part of the work analyzes the literature. Non-contact sensors for non-invasive vehicle performance evaluation are reviewed. More vehicle classification standards are compared for their advantages and disadvantages.

The second part describes the data collection system, its parameters and measurement methodology. Describe how the frequency modulated signal used during operation was calculated and the importance of each parameter.

The third part describes and analyzes the specialized DBScan algorithms used to parametrize vehicles, i.e. to obtain vehicle parameters. Their performance, purpose of use, advantages, disadvantages are analyzed.

In the fourth part, a preliminary data analysis is performed to remove the incorrectly calculated coordinates from the reflected part of the vehicle.

The fifth examines the parameters of the DBScan algorithms.

In the sixth part, specialized DBScan algorithms are investigated for their influence on the clusterized and subtracted parameters (length, width, reflected signal strength, number of NTKPAS, velocity) of the reflected coordinates of the reflected signal forming the TP.

In the seventh part, vehicles are classified using all parameters obtained by clustering algorithms. The importance of the parameterization algorithm and vehicle classification is investigated.

## Turinys

<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>7</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Literatūros analizė.....</b>	<b>9</b>
1.1. Bekontakčių, neinvazinių transporto priemonių klasifikavimui naudojamų jutiklių analizė.....	9
1.2. Transporto priemonių klasifikavimas.....	11
1.3. Milimetrinių bangų radaro dažniu moduluoto signalo parametrų skaičiavimas .....	12
1.4. Signalų lango funkcijos pasirinkimas.....	14
1.5. TP NTKPAS klasterizavimo algoritmų analizė .....	16
<b>2. Duomenų surinkimas .....</b>	<b>19</b>
2.1. Duomenų surinkimo įrenginys .....	19
2.2. Milimetrinių bangų radaro ir duomenų surinkimo programinė įranga.....	19
2.3. Milimetrinių bangų radaro dažniu kintančio signalo parametrų apskaičiavimas ir lango funkcijos parinkimas .....	21
<b>3. Klasifikavimo parametrai ir transporto priemonių klasterizavimo algoritmai.....</b>	<b>26</b>
3.1. „DBScan“ algoritmai.....	26
3.2. Standartinis „DBScan“ algoritmas pagal juostų skaičių .....	27
3.3. Specializuotas „DBScan“ algoritmas pagal juostų skaičių .....	28
3.4. Specializuotas „DBScan“ algoritmas pagal transporto priemonės greitį .....	28
3.5. Transporto priemonių klasifikavimo parametrai .....	29
<b>4. Duomenų analizė .....</b>	<b>31</b>
4.1. TP minimalaus atstumo iki milimetrinių bangų radaro analizė.....	31
4.2. Transporto priemonės NTKPAS pirminis apdorojimas .....	33
<b>5. „DBScan“ algoritmo parametrų analizė .....</b>	<b>35</b>
5.1. Tinkamiausio maksimalaus atstumo tarp NTKPAS nustatymas.....	35
5.2. Tinkamiausio maksimalaus greičio tarp NTKPAS analizė .....	36
<b>6. Specializuotų „DBScan“ algoritmų tyrimas .....</b>	<b>38</b>
6.1. Klasterizavimas pagal maksimalų skirtumą atstumo tarp gretimų NTKPAS .....	38
6.2. Klasterizavimas pagal juostų skaičių.....	39
6.3. Klasterizavimas pagal greičio skirtumą arba greičio vektoriaus kryptį .....	41
6.4. Klasterizavimas pagal greičio vektoriaus kryptį ir juostų skaičių.....	43
<b>7. Transporto priemonių klasifikavimas .....</b>	<b>46</b>
7.1. Klasifikavimas kai matymo lauke yra viena TP .....	46
7.1.1. Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus kryptį arba maksimalaus greičio skirtumą .....	46
7.1.2. Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus kryptį ir juostų skaičių .....	51
7.1.3. Klasifikavimo algoritmų tikslumo palyginimas .....	55
7.2. Klasifikavimas kai dvi TP yra matymo lauke .....	55
<b>Išvados .....</b>	<b>58</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>59</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>60</b>
1 priedas. Klasterizavimo pagal greičių skirtumus rezultatai.....	60
2 priedas. Klasterizavimo pagal greičio vektoriaus kryptį rezultatai .....	64
3 priedas. Greičio vektoriaus krypties ir juostų skaičiaus algoritmo rezultatai.....	68
4 priedas. Matlab programinis kodas.....	72

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

TP – transporto priemonė;

DFT – (angl. discrete Fourier transform) diskretinė Furjė transformacija;

MIMO – (angl. „Multiple - input and multiple - output”) siųstuvas ir imtuvas turi daugiau negu vieną anteną;

NTKPAS – nustatytos taško koordinatės pagal nuo objekto dalies atsispindėjusį signalą.

### Terminai:

**Klasteris** – NTKPAS santalka.

**Standartinis „DBScan“ algoritmas** – klasterizavimo algoritmas, kuris remiasi tik atstumu tarp NTKPAS.

**„DBScan“ algoritmas pagal juostų skaičių** – klasterizavimo algoritmas, kuris remiasi atstumu tarp NTKPAS, tačiau NTKPAS turi būti toje pačioje juostoje.

**„DBScan“ algoritmas pagal greičio skirtumus** – klasterizavimo algoritmas, kuris remiasi atstumo ir greičio skirtumu tarp gretimų NTKPAS.

**„DBScan“ algoritmas pagal greičio vektorius kryptį** – klasterizavimo algoritmas, kuris remiasi atstumo tarp gretimų NTKPAS skirtumu ir greičio vektorius krypties sutapimu su gretimais NTKPAS.

**„DBScan“ algoritmas pagal greičio vektorius kryptį ir juostų skaičių** – klasterizavimo algoritmas, kuris remiasi maksimalaus atstumo tarp gretimų NTKPAS skirtumu, greičio vektorius krypties sutapimu su kelio juostos eismo kryptimi.

**Sunkioji transporto priemonė** – transporto priemonė, kuri yra sunkesnė už 3.5 t.

## **Įvadas**

Išmaniosios bekontaktės transporto identifikavimo sistemos tampa vis paklausesnės ir aktualesnės šiuolaikiniame pasaulyje, dėl nuolat augančio transporto priemonių skaičiaus. Įvairių tipų išmaniųjų sistemų naudojimas keliuose, leidžia padidinti transporto srauto pralaidumą, taip sutaupant laiką, sumažinant finansines išlaidas bei tausojant aplinką.

Milimetrinių bangų radaro panaudojimas leidžia sukurti išmaniąją sistemą, kuri būtų centralizuota, montuojama neinvaziniu būdu, efektyviai identifikuotų transporto sraute dalyvaujančias transporto priemones ir nustatytų jų greitį esant skirtingoms oro sąlygoms.

Magistrinio darbo tikslas – ištirti skirtingus transporto srauto parametrizavimo algoritmus, identifikavimo metodus, siekiant identifikuoti transporto priemones.

Darbo uždaviniai:

- išanalizuoti transporto identifikavimo metodų literatūrą;
- suprojektuoti ir sukurti eksperimentinių tyrimų sistemą;
- sukurti algoritmus transporto priemonių parametrizavimui ir identifikavimui;
- atlikti eksperimentinį sukurtų algoritmų tyrimą.



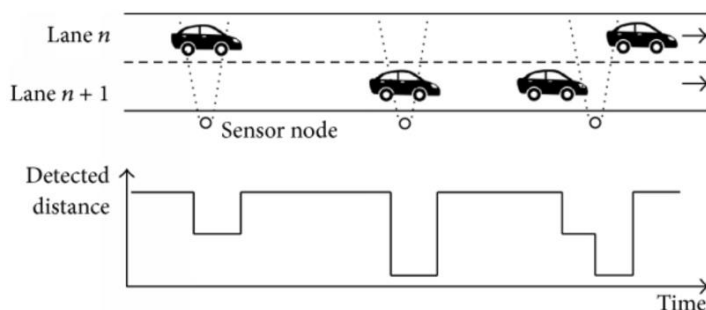
## 1. Literatūros analizė

Šioje dalyje apžvelgiama literatūra, analizuojami metodai, kurie taikomi transporto priemonių parametrizavimui, klasifikavimui, naudojant milimetrinių bangų radarines sistemas. Apžvelgiami įvairūs algoritmai, jų privalumai, trūkumai.

### 1.1. Bekontakčių, neinvazinių transporto priemonių klasifikavimui naudojamų jutiklių analizė

Pagrindiniai bekontaktiniai neinvaziniai transporto priemonių parametrų įvertinimo jutikliai: ultragarsinis atstumo jutiklis, skrydžio laiko ToF (angl. time of flight) jutiklis, milimetrinių bangų radaras. Taip pat, naudojami vaizdo kameros ir termovizoriaus junginiai. Šie jutikliai yra plačiai taikomi rinkoje, nes nėra montuojami kelio dangoje, o taip negadinama kelių infrastruktūra.

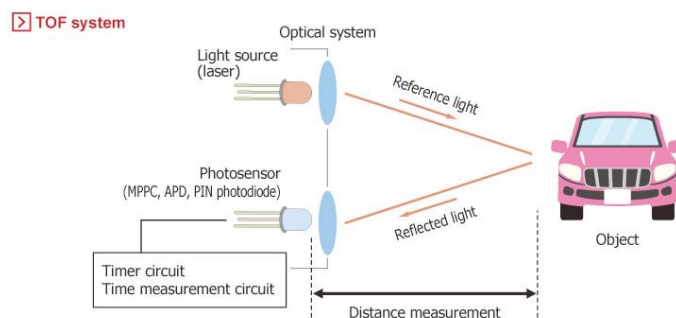
Ultragarsinis jutiklis yra dažnai naudojamas transporto priemonių parametrizavimui dėl paprastos, nesudėtingos konstrukcijos, mažos kainos. Šiems jutikliams būdingas platus matymo kampas nuo  $5^\circ$  iki  $120^\circ$ , o tai leidžia įvertinti TP parametrus esant jai visai matymo lauke, net ir esant jutikliui ganėtinai arti važiuojamosios kelio dalies. Matymo diapazonas iki 10 m leidžia įvertinti TP parametrus vietinės reikšmės III kategorijos keliuose (kelių plotis iki 10 m). Ultragarsinių jutiklių vidutinis galios sunaudojimas – nuo 72 mW iki 336 mW. TP parametrų įvertinimas nepriklauso arba mažai priklauso nuo temperatūros, slėgio, taip pat šių jutiklių tikslumui mažą įtaką daro skirtingi judančių objektų paviršiai: nesvarbi objekto spalva, objekto forma. Tokio tipo sensoriais galima skaičiuoti ir aptikti transporto priemonę, matymo lauke [1][2]. 1.1 pav. ultragarsinio jutiklio veikimo schema TP skaičiavimui.



1.1 pav. Ultragarsinio jutiklio panaudojimo transporto srauto detektavimui veikimo schema [3]

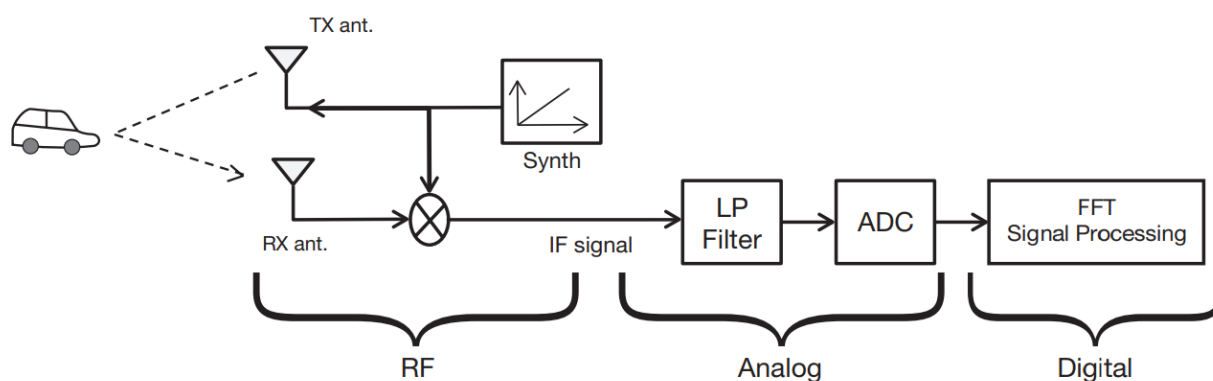
Įvairių skrydžio laiko jutiklių populiarumas auga, šie jutikliai yra sudėtingesni negu ultragarsiniai jutikliai tokio tipo aplikacijose. Kaina nedidelė kaip ir ultragarsinių jutiklių, tačiau matymo kampas yra daug platesnis ir siekiantis nuo  $0.15^\circ$  iki  $120^\circ$ , tai leidžia matuoti transporto priemonės parametrus tiek plačiu, tiek siauru kampu. ToF jutiklio maksimalus veikimo atstumas iki 20 m, todėl galima įvertinti TP parametrus ir jas identifikuoti valstybinės reikšmės keliuose iki IV kategorijos (IV kategorijos kelio plotis 19 m). Energijos sąnaudos nuo  $100 \mu\text{W}$  iki 200 mW. Matavimai nepriklauso nuo apšviestumo, tačiau šis jutiklis negali funkcionuoti esant rūkui, kadangi infraraudonuosius spindulius sugeria vandens dalelės esančios rūke. Tiksliausi matavimai atliekami tada kai objekto spalva yra šviesi, kadangi tada geriausiai atspindi infraraudonieji spinduliai nuo objekto. Jutikliui neturi įtakos aukštos temperatūros, netaisyklingos objekto formos, apšviestumas. ToF jutikliai naudojami transporto priemonių skaičiavimui, aptikimui ar toje vietoje yra transporto priemonė,

greičio nustatymui, transporto priemonių klasifikavimui [1][2]. Skrydžio laiko jutiklio veikimo schema pavaizduota 1.2 pav.



1.2 pav. Skrydžio laiko jutiklio veikimo schema [4]

Milimetrinių bangų radaras ypač išpopuliarėjo dėl savo universalumo, nors tai – pakankamai sudėtinga sistema tiek algoritmo, tiek schemotechnine prasme. Matymo kampas yra labai platus nuo  $5^\circ$  iki  $160^\circ$ , o tai leidžia nustatyti TP gabaritus ir taip identifikuoti jos klasę. Dėl didelio maksimalaus matuojamo atstumo siekiančio virš 100 m, galima su vienu radaru matuoti viso kelio transporto priemonių srautus, identifikuoti transporto priemones, matuoti jų greičius. Vienas iš tokio tipo jutiklių trūkumų yra didelės energijos sąnaudos siekiančios nuo 0.5 W iki 1.5 W ir didelė kaina, lyginant su kitais jutikliais. Tačiau šio tipo jutiklių veikimui, įtakos nedaro skirtingos oro sąlygos, objekto medžiaga, jo paviršiaus spalva, nes šie radarai veikia aukštuose dažniuose nuo 60 GHz iki 81 GHz. Šio tipo jutiklis leidžia skaičiuoti TP, nustatyti jų greitį bei jas klasifikuoti [1][2]. 1.3 pav. milimetrinių bangų veikimo struktūrinė schema.



1.3 pav. Milimetrinių bangų radaro veikimo struktūra [5]

Kameros ir termovizoriaus naudojimas, taip pat kaip ir milimetrinių bangų radarų, yra populiarus metodas dėl savo universalumo. Nors matymo laukas nėra platus – iki  $70^\circ$ , matavimo atstumas – 55 m. Didelės energijos sąnaudos – iki 24 W. Kamera leidžia ne tik parametrizuoti, bet ir klasifikuoti transporto priemones, taip pat atpažinti valstybinius numerius. Naudojant tik kamerą TP klasifikavimui aukštas patikimumo lygis yra nepasiekiamas, kadangi ji yra jautri aplinkos veiksniams, tamsai, objektų spalvoms, algoritmai yra labai sudėtingi ir reikalauja didelių skaičiavimų apimčių. Tokioms sistemoms reikalingos duomenų perdavimo tinklo infrastruktūros, kadangi

duomenys nėra apdorojami lokaliai – pačiame įrenginyje. Papildomai reikalinga didelio našumo, tinklu pasiekiamą sistemą. Taip pat tokios sistemos yra brangios dėl savo struktūros sudėtingumo. Kameros ir termovizoriaus veikimas pavaizduotas 1.4 pav.



1.4 pav. Kameros ir termovizoriaus veikimas [6]

Bendras visų aptartų sistemų palyginimas pateiktas 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Transporto identifikavimo jutiklių palyginimas („+“ – įtakos nedaro, „-“ – įtakoja)

Technologija	Atsparumas aplinkos veiksniams ir objekto tipo įtaka						
	Vėjas	Temperatūra	Žaibas	Didelis eismas	Rūkas	Objekto spalva	Netaisyklinga objekto forma
Milimetrinių bangų radarai	+	+	+	+	+	+	+
Kameros ir termovizoriai	-	+	-	+	+	+	+
Ultragarsiniai jutikliai	+	-	+	+	+	+	+
Skrydžio laiko jutikliai	+	+	+	+	-	-	+

Iš 1.1 lentelės matyti, kad milimetrinių bangų radaro ir kameros bei termovizoriaus junginio veikimui ir tikslumui mažiausią įtaką daro besikeičiančios oro sąlygos bei objekto spalva ir forma. Šie du jutikliai yra patraukliausi pagal lentelės duomenis, tačiau kameros ir termovizoriaus kaina yra daug didesnė nei radarinių sistemų, taip pat reikalinga didelė apdorojimo sparta – sunku sistemą realizuoti įterptinėje sistemoje. Milimetrinių bangų radaro apdorojimo algoritmai naudojant šiuolaikines DSP (angl. digital signal processing) galimybes gali būti realizuoti įterptinėje sistemoje.

## 1.2. Transporto priemonių klasifikavimas

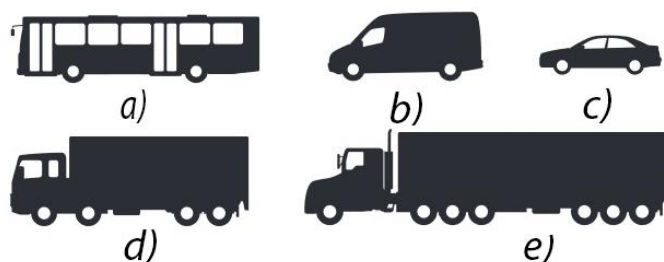
TP dažniausiai klasifikuojamos naudojant TP parametrų nustatymą tam tikru jutikliu, šiuo atveju milimetrinių bangų radaru. Iš gautų duomenų atliekami požymių išskyrimai ir pagal juos nustatoma TP klasė.

Transporto priemonių klasifikavimui yra išleista įvairių standartų – JAV standartuose transporto priemonės skirstomos į 13 kategorijų. Šios kategorijos suskirstytos pagal ašių skaičių, todėl visiškai yra nesvarbu transporto priemonės ar junginio gabaritai. Todėl tokio tipo klasifikavimas milimetrinių bangų radaru būtų ganėtinai sudėtingas arba net neįgyvendinamas, dėl dydžio nepaisymo, o tai yra pagrindinis matuojamas dydis milimetrinių bangų radarui.

Europoje galiojantis ISO 3833-1977 standartas. Šis standartas išskiria TP į keturias pagrindines kategorijas: velkamas, kombinacines, motorolierius, motociklus [7]. Šis standartas turi tik keturias

kategorijas, tačiau jos išskirstomos į daugybę subkategorijų. Šiuo standartu taip pat negalima remtis TP klasifikavimui, kadangi toje pačioje kategorijoje yra lengvoji transporto priemonė (sedanas) ir autobusas. Norint remtis šiuo standartu klasifikuojant reikia papildomai išskirti lengvasias, vidutines ir sunkiasias transporto priemones.

Yra ganėtinai naudinga ir svarbu išskirti sunkiasvores transporto priemones, kadangi šių transporto priemonių greitis ir manevringumas yra mažesnis, o tai yra viena iš spūsčių sukėlimo priežasčių. Dėl šios priežasties yra naudinga identifikuoti tokias transporto priemones stebint važiuojančių automobilių ta kryptimi skaičių. Nukreipiant sunkiasias TP kitais keliais būtų galima sumažinti spūsčių problemą. Taip pat pagal automobilių srautus galima prognozuoti kelio dangos nusidėvėjimą, o tai leistų planuoti remonto darbus [8]. Dėl minėtų priežasčių transporto priemonės yra klasifikuojamos į 1.5 paveiksle pateiktas transporto priemones [9].

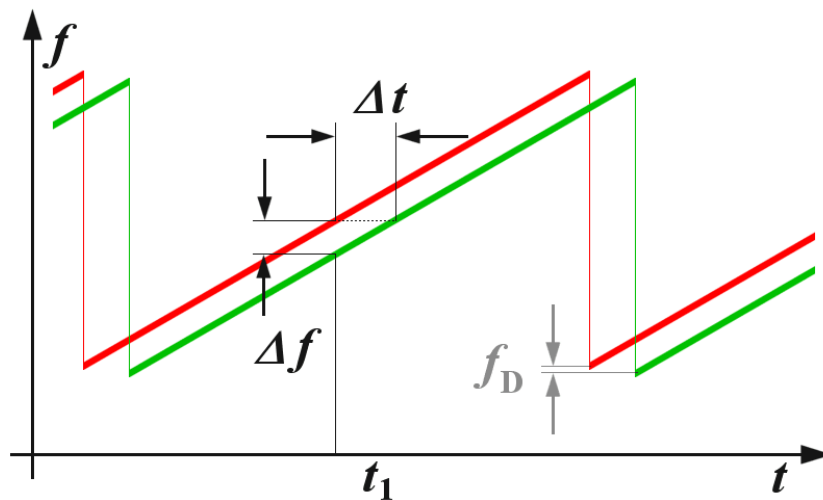


**1.5 pav.** Transporto priemonės: a) autobusas, b) furgonas, c) lengvoji mašina, d) lengvasis sunkvežimis, e) sunkusis sunkvežimis.

Pagal šį metodą nėra klasifikuojamos velkamos transporto priemonės, kadangi jas yra ganėtinai sudėtinga atskirti nuo lengvųjų, sunkiųjų sunkvežimių arba autobusų.

### **1.3. Milimetrinių bangų radaro dažniu moduluoto signalo parametrų skaičiavimas**

Objekto padėtis gali būti nustatoma pagal dažnio vėlinimą. Šios sistemos yra bistatinės – siuntimo ir priėmimo antenos yra atskiros. Dažnio sintezatorius sugeneruoja dažniu moduluotą signalą, kuris yra išspinduliuojamas per anteną. Atspindėjęs signalas nuo objekto priimamas priėmimui skirtoje antenoje. Šis signalas yra toks pats, kaip ir išsiųstas, tik yra suvėlintas. Priimtąjį ir išsiųstąjį (atraminį) signalą (1.6 pav.) sumaišius maišiklyje dėl jų tarpusavio sąveikos gaunamos dažnio dedamosios, kurios yra lygios dažnių skirtumui. Panaudojus maišiklį, galima dažnomačiu matuoti dažnį – jis bus tiesiogiai proporcingas atstumui. FMCW (angl. Frequency-Modulated Continuous Wave) radaro siunčiamas signalas yra nepertraukiamas, dėl šios priežasties gaunama didelė signalo energija, bet išsiunčiama galia yra maža. Naudojant mažos galios signalą, jis gali būti užgožtas triukšmais, todėl matuojamas integralinis dažnio pokytis (bent vieną signalo periodą). Atstumą iki objekto galima išmatuoti tik diskretiškai, nes tiek siunčiamas, tiek priimamas signalas yra periodinis, todėl jo spektras yra diskretinis, o kartu ir dažnio skirtumas yra diskretinis [10].



1.6 pav. FMCW išsiųstas (raudonas) ir priimtas (žalias) signalas [11]

FMCW skiriamosios gebos formulė:

$$\Delta d = \frac{c}{2 \cdot B}; \quad (1.1)$$

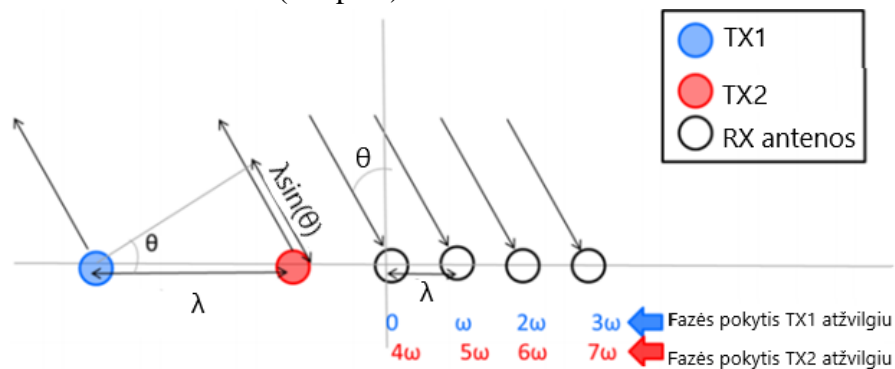
čia  $\Delta d$ - skiriamoji geba [m],  $c$ - šviesos greitis [ $3 \cdot 10^8$  m/s],  $B$ - dažniu moduluoto signalo spektro plotis [Hz].

Iš (1.1) formulės matyti, jog FMCW tipo radaro geba atvirkščiai priklauso nuo juostos pločio, kuo ji didesnė, tuo skiriamoji geba mažesnė, o tai užtikrina tikslesnį objektų atskyrimą. Kitas labai svarbus radarinių sistemų parametras yra kampinė skiriamoji geba, parodanti, koku mažiausiu kampu, du vienodu atstumu ir greičiu judantys objektai atskiriami vienas nuo kito (1.2).

$$\varphi \Delta = \frac{180^\circ}{i \cdot s}; \quad (1.2)$$

čia  $i$  - imtuvų skaičius,  $s$  - siųstuvų skaičius.

Norint sumažinti kampinę skiriamąją gebą, reikia didinti antenų skaičių, o tai technologiškai sudėtinga, kadangi kiekvienai atskirai antenai reikia atskiro maišytuvo, tarpinio dažnio filtro, analogas – skaičius keitiklio. Todėl naudojama MIMO (angl. „Multiple - input and multiple - output“) technologija, kuria galima pasiekti dvigubai mažesnę skiriamąją gebą vos su viena antena. Ši sistema įgyvendinama siuntimo antenas atskiriant viena nuo kitos  $\lambda$ - bangos ilgio atstumu, o priimančias antenas  $\lambda/2$  atstumu viena nuo kitos (1.7 pav.).



1.7 pav. MIMO radarų veikimo principas [12]

Taip didinant siunčiamųjų antenų skaičių, dirbtinai padidiname priimančiųjų antenų skaičių, o dėl fazinio skirtumo sumažėja kampinė skiriamoji geba.

Dar vienas aktualus parametras, maksimalus matuojamas atstumas

$$l = \frac{c \cdot F_s}{2 \cdot S}; \quad (1.3)$$

čia  $l$  - maksimalus matuojamas atstumas,  $c$  – šviesos greitis [ $3 \cdot 10^8$  m/s],  $F_s$  - diskretizavimo dažnis [Hz],  $S$  - dažnio didėjimo greitis (MHz/ $\mu$ s).

Iš (1.3) formulės matoma, kad šio tipo radaro maksimalus atstumas atvirkščiai priklauso nuo laiko per kurį šis dažnis moduluojamas. Kuo dažniu moduluoto signalo didėjimo greitis yra lėtesnis, tuo didesnę maksimalų atstumą galima išmatuoti. Tačiau lėtas dažnio kilimo greitis pailgina maksimalų matavimų periodą.

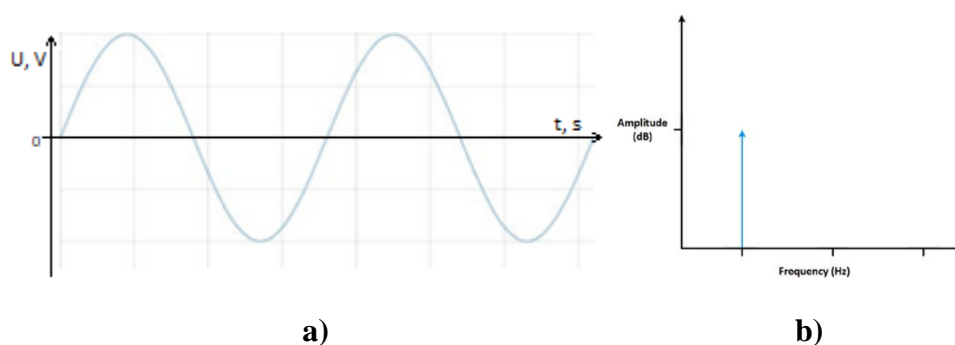
Dar vienas svarbus radarinių sistemų parametras yra objekto greitis. Maksimalų išmatuojamą greitį sąlygoja (1.4) formulė:

$$v_{max} = \frac{\lambda}{4 \cdot T_c}; \quad (1.4)$$

čia  $\lambda$  - pradinis bangos ilgis [m],  $T_c$  - dažniu moduluoto signalo trukmė [s].

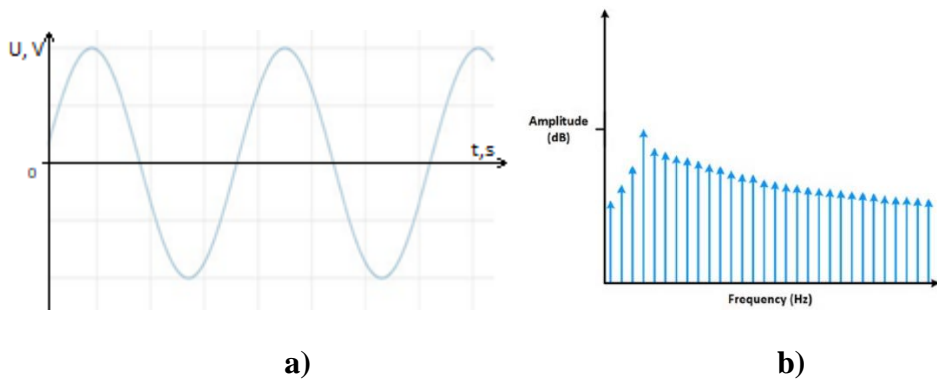
#### 1.4. Signalų lango funkcijos pasirinkimas

Milimetrinių bangų radare, ne tik labai svarbu pasirinkti tinkamus parametrus, kaip greičio ir atstumo skiriamąją gebą ar greičio ir atstumo maksimalią vertę, bet ir signalo lango tipą. Signalų lango tipas radarinėse sistemose, sumažina šoninių lapelių lygį dažnių ašyje. Todėl lango funkcija leidžia tiksliau atskirti koordinatas iki objekto, iš atsispindėjusio signalo dažnio ašyje. Idealiu atveju diskretizuojamas signalas, diskretizavimo momento pradžioje prasideda nuo 0 V, o baigus diskretizuoti signalą, paskutinė išmatuota reikšmė taip pat yra 0 V.



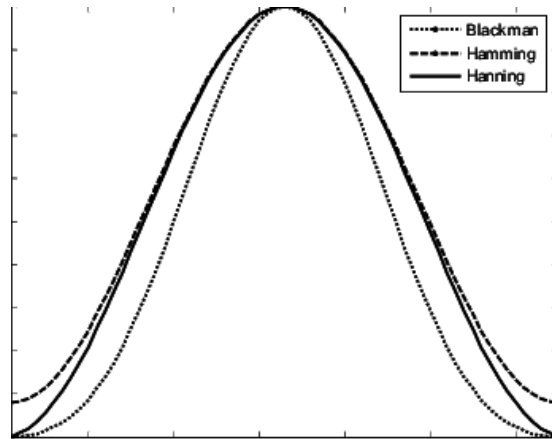
1.8 pav. Signalas: a) laiko ašyje, b) dažnio ašyje [13]

Matoma, jog kai signalas prasideda ir baigiasi ties 0 V, Y ašyje, atlikus DFT (angl. discrete Fourier transform) gaunamas tik jį sudarantis dažnis be pašalinių dedamųjų.

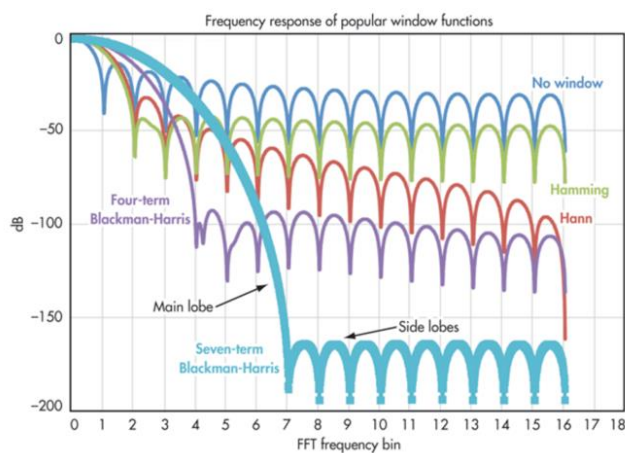


1.9 pav. Signalas: a) laiko ašyje, b) dažnio ašyje [13]

Tačiau, kai signalo fazė yra pasislinkusi (1.9 pav. a)) ir jis neprasideda ir nebeužsibaigia ties 0 V (1.8 pav. a)), tai signalo pradžioje ir pabaigoje prisideda vienetiniai šuoliai, kurie įneša papildomų dažnio dedamųjų dažnio ašyje (1.9 pav. b)). Norint išspręsti šalutinių lapelių atsiradimą naudojamos lango funkcijos. 1.10 pav. matomos trys lango funkcijos, kurios yra dažniausiai naudojamos laiko ašyje prieš atliekant DFT.



a)



b)

1.10 pav. a) Trys skirtingos lango funkcijos [14], b) lango funkcijos įtaka signalui dažnio ašyje [14]

Hano langas aprašomas formule:

$$w_{Hann}(n) = \begin{cases} 0.5 - 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1}, & 0 \leq n \leq N-1; \\ 0, & \text{visais kitais atvejais;} \end{cases} \quad (1.5)$$

Hamingo langas aprašomas formule:

$$w_{Ham}(n) = \alpha - \beta \cos \left( \frac{2\pi n}{N-1} \right), \text{ kai } -\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2}; \quad (1.6)$$

Iš aukščiau pateiktų formulių ir 1.10 a), b) pav. pastebima jog Hamingo ir Hano langai ganėtinai panašūs, abu turi plačią viršūnę ir slopina šoninius lapelius, tačiau Hano langas pasiekia 0 V, kas panaikina, bet kokį nenutrūkstamumą, o Hamingo langas niekada nepasiekia 0 V. Šis skirtumas leidžia Hamingo langui gerai silpninti gretimus lapelius, tačiau prastai tolimesnius.

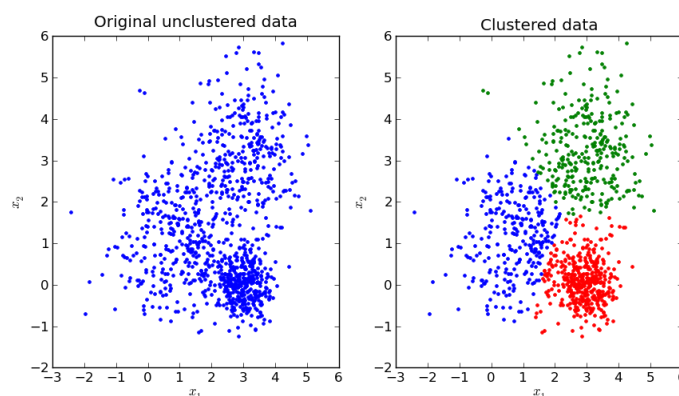
Blakmano-Hario langas aprašomas formule:

$$w_{Blackman-Harris}(n) = \begin{cases} a_0 + a_1 + a_2 \cos \frac{4\pi n}{N-1}, & \text{kai } -\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2}; \\ a_0 = \frac{1-\alpha}{2}, a_1 = \frac{1}{2}, a_2 = \frac{\alpha}{2}; \end{cases} \quad (1.7)$$

Blakmano-Hario langas, nors ir panašus į prieš tai minėtus langus, tačiau šis langas turi platesnį centrinį piką, o šalutinius lapelius slopina labiau negu kitos nagrinėtos lango funkcijos. Iš šių trijų aprašytų langų tyrimo dalyje pasirinkamas vienas langas.

## 1.5. TP NTKPAS klasterizavimo algoritmų analizė

K-vidurkių klasterizavimo algoritmas – pats populiariausias ir geriausiai žinomas. K-vidurkių klasterizavimo algoritmas yra skirstymo, todėl kiekvieną klasterį vertina, kaip atskirą tašką, turintį savo vietą. Algoritmas siekia surasti skirsnius, kuriuose klasteriai yra kaip galima arčiau vienas kito ir tuo pačiu metu, ieško klasterių, kurie yra kuo įmanoma toliau vienas kito. Kiekvienas klasteris aprašomas taškais esančiais jame ir šių taškų centru [15].

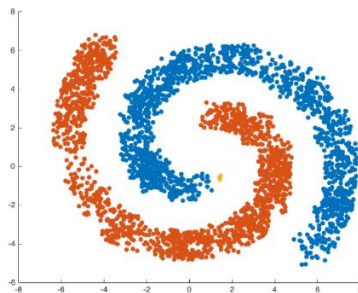


1.11 pav. K-vidurkių algoritmo taškų klasterizavimas [16]

K-vidurkių klasterizavimo algoritmo duomenų klasterizavimas pavaizduotas 1.11 pav. Šio algoritmo didžiausias pranašumas yra greitaveika, kadangi yra skaičiuojamas tik centras tarp klasteryje esančių taškų. Algoritmo įvykdymo trukmė kiekvieną kartą skiriasi, kadangi klasterio centro pradinės koordinatės yra atsitiktinės, todėl šio algoritmo trukmė kinta.

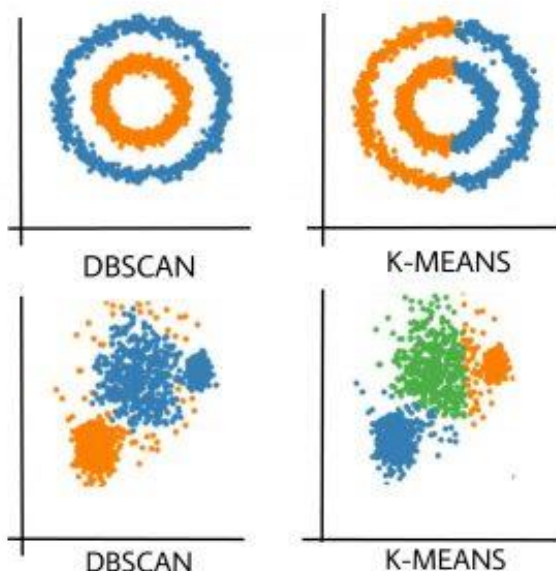


Tankiu paremta klasterizacija (DBScan)– klasterizavimo algoritmas yra tankio – pasiekiamumo. Šis algoritmas yra paremtas maksimaliu atstumu tarp dviejų gretimų taškų. Šis algoritmas apjungia taškus (pagal užsiduotą minimalų gretimų taškų skaičių), kurie yra nutolę vienas nuo kito ne didesniu nei užsiduotas atstumas. Tokių taškų ieškoma tol, kol visi taškai yra randami. Tada imamas atsitiktinis taškas, kuris dar nebuvo priskirtas ir algoritmas toliau vykdomas tol, kol visi taškai yra priskiriami klasteriams. Išskyrus tuos, kurie netenkina nei atstumo, nei minimalaus kaimyninių taškų skaičiaus, ir yra žymimi, kaip triukšmas [17].



**1.12 pav.** „DBScan“ klasterizavimo algoritmo suklastezuoti taškai [18]

„DBScan“ klasterizavimo algoritmo duomenų klasterizavimas pavaizduotas 1.12 pav. Šio algoritmo didžiausias pranašumas prieš kitus klasterizavimo algoritmus, jog jis aptinka netaisyklingų formų klasterius, ko kiti algoritmai negali padaryti, kadangi ieško klasterių centro, o „DBScan“ algoritme kiekvienam klasterio taškui yra priskiriamas klasterio numeris. Dar vienas privalumas, jog naudojant „DBScan“ algoritmą, surandama kiek klasterių yra duomenyse, naudotojui nereikia pačiam to nustatyti. Tačiau „DBScan“ trūkumas yra tas, jog skirtingo tankio duomenyse sudėtinga nustatyti tinkamiausią minimalų atstumą.



**1.13 pav.** Dviejų skirtingų tipų klasterizavimo algoritmų palyginimas [17]

Pastebima iš 1.13 pav., jog „DBScan“ ir „K-MEANS“ naudojami labai skirtingose situacijose ir nėra universaliai gero klasterizavimo algoritmo. „DBScan“ yra naudojamas, kai tarp klasterių matoma aiški atskirtis ir jie yra netaisyklingos formos, o K- vidurkių klasterizavimas kai atskirties ribos nėra.

Suklasterizavus objektą į vieną klasterį yra keli būdai surasti objekto centrą. Pirmasis būdas yra išskaičiuoti tolimiausius  $x$ ,  $y$  taškus į abi puses ir laikyti, kad jų vidurkis yra centras. Antrasis būdas yra susumuoti visų taškų koordinatas ir padalinti iš taškų skaičiaus. Taip randamas objekto centras, atsižvelgiant į taškų tankį. Transporto priemonės gabaritai išskaičiuojami iš minimalių ir maksimalių verčių skirtumų,  $x$  ir  $y$  ašyse, šis metodas ir naudojamas šiame tyrime. Pirmojo metodo trūkumas, jog vienas nuo objekto nutolęs taškas jį gali dirbtinai išdidinti ir objektas bus žymiai didesnis negu iš tikrųjų yra. Antrojo metodo trūkumas, jog esant didelėms transporto priemonėms, didžiausia koncentracija gali susidaryti aplink vieną vietą, dėl ko sunkioji transporto priemonė bus panašaus dydžio kaip ir lengvoji.

## 2. Duomenų surinkimas

Duomenų surinkimo sistemai išsirenkamas milimetrinių bangų radaras, suprojektuota lengvai transportuojama matavimo sistema, suprogramuota duomenų surinkimo sistema.

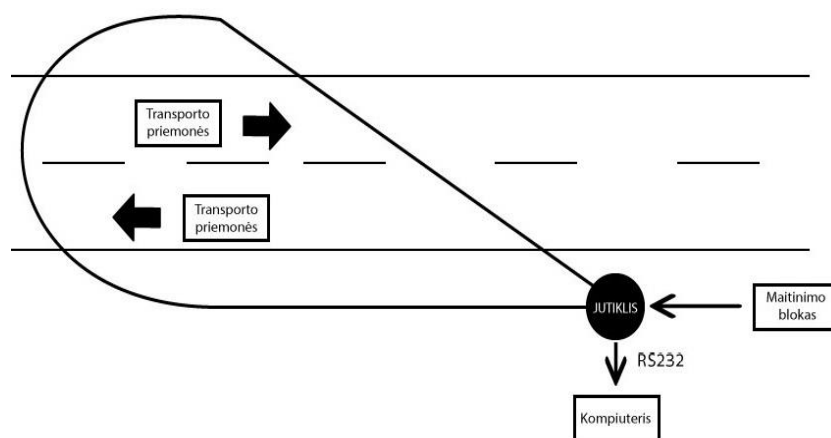
### 2.1. Duomenų surinkimo įrenginys

Duomenų surinkimui naudojamas milimetrinių bangų radaras „Texas instruments AWR1843“ veikiantis 76-81 GHz dažnio ruože. Šis radaras dirba pilno matavimo režimu. Šis režimas išmatuoja visą matomumo lauką vienu kartu. Tokio tipo matavimo pranašumas, jog visa informacija gaunama vienu matavimu, todėl transporto priemonė nėra išskaidoma į kelias dalis.

Šio radaro techniniuose parametruose yra galimybė atstumą keisti iki maksimalaus 200 metrų. Be to, yra galimybė atstumo skiriamąją gebą keisti labai plačiose ribose. Esant mažam maksimaliam atstumui, atstumo skiriamoji geba gali siekti net kelis centimetrus.

Šis radaras pasirinktas transporto priemonių parametrizavimui ir identifikavimui, kadangi yra lengvas priėjimas prie programinės įrangos, plati techninė dokumentacija.

Duomenų surinkimui realizuojama mobili matavimo sistema, kurią sudaro milimetrinių bangų radaras. Ši sistema matuoja atsispindėjusį signalą ir iš jo išskaičiuoja atspindžių koordinates, atsispindėto signalų stiprumą (dB). Duomenys surenkami per RS-232 sąsają ir perduodami į kompiuterį, kuris surinktus duomenis atvaizduoja realiu laiku. Sistemos ir bandymo struktūrinė schema pateikta 2.1 pav.



2.1 pav. Duomenų surinkimo sistemos struktūrinė schema

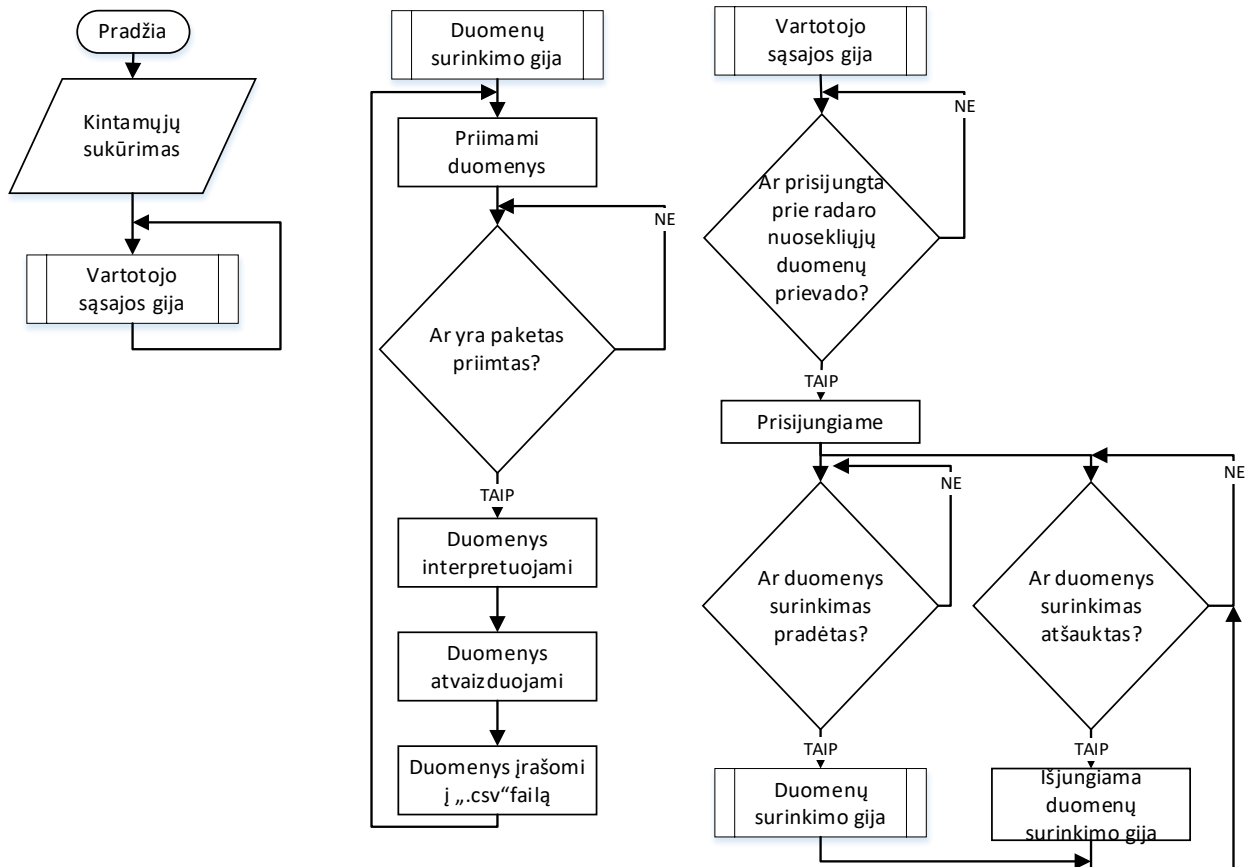
Sistemos mobilumas palengvina matavimus, kadangi ją galima nesunkiai transportuoti.

### 2.2. Milimetrinių bangų radaro ir duomenų surinkimo programinė įranga

Naudojamas milimetrinių bangų radaras turi gamintojų pateikiamą duomenų surinkimo ir atvaizdavimo sistemą, tačiau gamintojų programinė įranga riboja milimetrinių bangų radaro matavimo dažnį iki 30 Hz. Taip pat, taip sumažinamos milimetrinių bangų radaro techninės galimybės išmatuoti maksimalų atstumą ir greitį, atstumą ir greičio skiriamąją gebą. Dėl šių priežasčių suprogramuojamas milimetrinių bangų radaro mikrovaldiklis ir sukurta duomenų surinkimo programinė įranga iš milimetrinių bangų radaro.

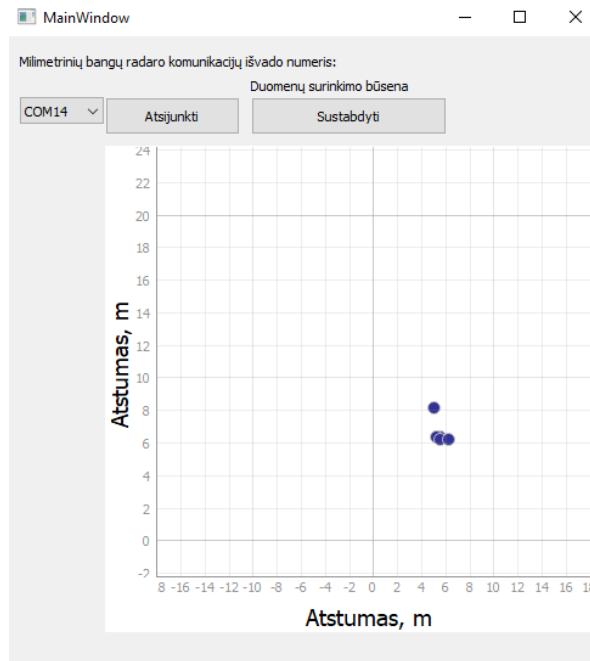
Milimetrinių bangų radaro programavimui naudojamas gamintojų pateiktas programinis kodas. Jis yra modifikuojamas apskaičiuotam signalui, padidinamas matavimų dažnis, išsiunčiamo signalo stiprumas. Pakeičiamas programinis kodas, jog būtų eliminuojami NTKPAS, kurių fazė tarp gretimų išsiunčiamų dažniu moduluotų signalų nesikeičia t.y. objektas nejudą.

Duomenų surinkimui skirta programa sukurta naudojant „Python“ programavimo kalbą, o vartotojo sąsajos dizainas sukurta naudojant „Qt designer“, jog būtų galima matyti priimamus duomenis realiu laiku. Ši programa surenka duomenis ir įrašo juos „.csv“ tipo faile. Toks formatas pasirinktas, kadangi jį paprasta nuskaityti ir apdoroti naudojant kitus programinės įrangos paketus.



2.2 pav. Duomenų sistemos surinkimo algoritmas

2.2 pav. matoma duomenų surinkimo sistema. Ji yra sudaryta iš dviejų gijų: vartotojo sąsajos ir duomenų surinkimo. Vartotojo sąsajos gija tikrina ar duomenų surinkimo programa prisijungė prie įrenginio ir ar duomenų surinkimo mygtukas nuspauštas. Duomenų surinkimo gija surenka duomenis per nuosekliųjų duomenų priedadą, juos interpretuoja ir atvaizduoja lange. Atvaizduojant duomenis galime pamatyti ar įrenginys veikia tinkamai. Surinkus duomenis jie yra įrašomi į „.csv“ failą ir pildomi, tol kol išjungiamas duomenų surinkimas ir ši gija sustabdoma.



2.3 pav. Duomenų surinkimo sistemos langas

2.3 pav. pateikta duomenų surinkimo sistemos vartotojo sąsaja. Matomi nuosekliųjų duomenų prievado pasirinkimo ir prisijungimo mygtukai, taip pat duomenų surinkimo pradėjimo mygtukas. Surinktų duomenų grafiniame atvaizdavime matoma NTKPAS.

### 2.3. Milimetrinių bangų radaro dažniu kintančio signalo parametru apskaičiavimas ir lango funkcijos parinkimas

Norint skenuoti aplinką, milimetrinių bangų radarui reikia nustatyti atstumo, greičio skiriamosios gebos ir maksimalaus matuojamo atstumo ir greičio parametrus. Šio tyrimo metu nebus nagrinėjama skirtingų parametru įtaka parametrizavimui, todėl jie nustatomi vieną kartą.

Matavimai atliekami esant arti važiuojamosios dalies (0.5 m), todėl maksimalus atstumas pasirenkamas 20 m. Matavimus atlikti pasirinkta iš nedidelio atstumo. Tai ne tik leidžia padidinti atstumo skiriamąją gebą, bet ir leidžia matuoti transporto priemonės aukštį, kas gali padėti identifikuoti transporto priemonę.

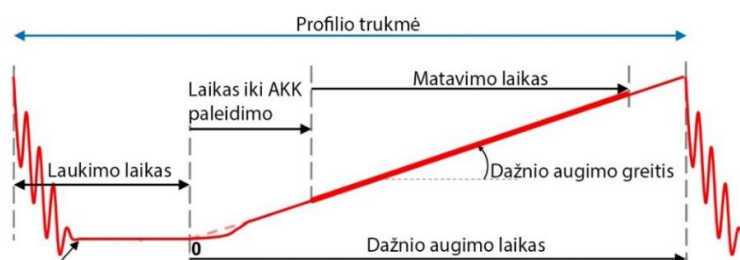
Milimetrinių bangų radare yra trys priėmimo antenos. Šios antenos yra naudojamos atsispindėjusio signalo priėmimui. Tuomet, priimti signalai panaudojami koordinacių nustatymui, skirtingose ašyse. X ir Y ašiai yra naudojamo dvi antenos, taip pasiekama  $15^\circ$  kampinė skiriamoji geba, o Z ašiai (aukščiui) nustatyti skiriama tik viena antena, todėl jos kampinė skiriamoji geba yra dvigubai prastesnė (lygi  $30^\circ$ ), lyginant su X ir Y ašių skiriamąja geba.

2.1 lentelėje pavaizduoti nustatyti radaro parametrai. Maksimalus atstumas pasirenkamas tam, jog įrenginys galėtų veikti iki IV kategorijos valstybinės reikšmės keliuose, kurių plotis yra 19 m. Maksimalus greitis pasirinktas iki 50 km/h, kadangi matavimo vietose šis greitis yra maksimalus leidžiamas. Greičio ir atstumo skiriamoji geba apskaičiuojamos.

## 2.1 lentelė. Nustatyti radaro matavimų parametrai

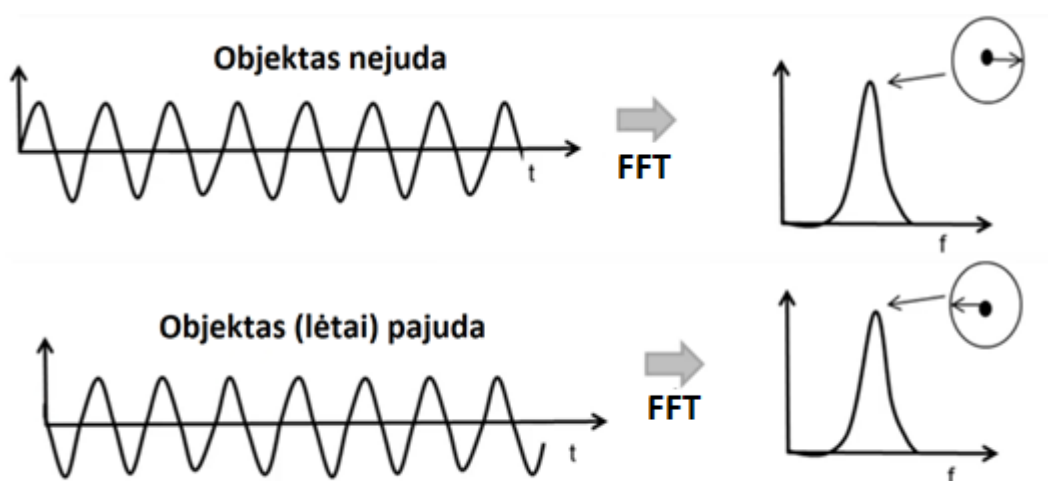
Užsiduotas parametras	Vertė
Maksimalus atstumas ( $d_{\max}$ ), m	20
Maksimalus greitis ( $v_{\max}$ ), km/h	50
Matavimo dažnis (f), Hz	60

Be to, pasirenkami kiti parametrai, kaip: dažnio kitimo greitis, AKK diskretizavimo dažnis, kiek atskaitų nuskaitoma per vieną dažniu moduluotą signalą, kiek dažniu moduluotų signalų sudaro vieną išsiuntimo srautą, kas kiek laiko srautas yra išspinduliuojamas, laiko tarpas tarp dviejų dažniu moduluotų signalų, laikas nuo dažniu moduluoto signalo išsiuntimo ir AKK įjungimo, laiko tarpas, kurį dažniu moduluotas signalas yra moduluojamas, dažniu moduluotų signalų profilio trukmė. Dažniu moduluoto signalo profilio trukmė yra laikas, per kurį išsiunčiami visi dažniu moduluoti signalai.



2.4 pav. Nustatomų parametrų vizualizacija

Tiesiškai moduluoto signalo dažnio juostos plotis nusako radaro atstumo skiriamąją gebą. Kuo ši dažnių juosta yra didesnė, tuo skiriamoji geba didesnė. Tačiau, juostai plėtėjant reikia didesnės greitaveikos AKK, o šis parametras negali būti begalinai didelis.



2.5 pav. Greičio pokyčio nustatymas iš fazės pokyčio (apskritime esanti rodyklė rodo signalo fazę)

Iš 2.5 pav. matoma, jog iš kelių išspinduliuotų, dažniu moduluotų signalų, galima nustatyti greitį. Objektui judant (šiuo atveju labai nedidelį atstumą), maksimali vertė dažnio ašyje galima sakyti nepasislinko, tačiau signalo fazė pasikeitė, iš to galime apskaičiuoti objekto greitį.

$$B = \frac{c}{2 \cdot d_{res}}; \quad (2.1)$$

Iš (2.1) formulės pastebima, jog juostos plotis priklauso nuo atstumo skiriamosios gebos, juostos plotis pasirinktas  $B=750$  MHz, kadangi juostai esant platesnei (2.2), (2.3) ir (2.4) formulėse dažnio augimo greitis ir maksimalus reikalingas signalo diskretizavimo dažnis bus virš įrenginio techninių galimybių.

$$d_{res} = \frac{c}{2 \cdot B} = 0.2 \text{ m};$$

Pasirenkamas dažnio augimo greitis gamintojų nustatytose ribose ( $S=46$  MHz/ $\mu$ s), o dažnio augimo laikas išsiskaičiuojamas iš (2.2) formulės.

$$B = S \cdot T_c; \quad (2.2)$$

čia  $B$ – juostos plotas (MHz),  $S$ – dažnio augimo greitis (MHz/ $\mu$ s),  $T_c$ – dažnio augimo laikas ( $\mu$ s).

Iš (2.3) formulės išsireiškiamas dažnio augimo laikas ir jis suskaičiuojamas.

$$T_c = \frac{B}{S}; \quad (2.3)$$

$$T_c = 16.30 \mu\text{s};$$

Diskretizavimo dažnis apskaičiuojamas iš (2.4) formulės.

$$F_s \geq \frac{S \cdot 2 \cdot d_{max}}{c}; \quad (2.4)$$

čia  $F_s$ – diskretizavimo dažnis (Hz),  $S$ – dažnio augimo greitis (MHz/ $\mu$ s),  $d_{max}$ – maksimalus matuojamas atstumas (m),  $c$ – šviesos greitis  $3 \cdot 10^8$  m/s.

$$F_s \geq 6680 \text{ kHz};$$

Maksimalus greitis apskaičiuojamas iš (2.5) formulės

$$v_{max} = \frac{\lambda}{4 \cdot T_c}; \quad (2.5)$$

čia  $\lambda$ – bangos ilgis (3.89 mm ( $c/77$  GHz)),  $T_c$ – dažnio augimo laikas (23.36  $\mu$ s).

$$v_{max} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}};$$

Greičio skiriamoji geba apskaičiuojama iš (2.6) formulės. Norint apskaičiuoti greičio skiriamąją gebą, reikia turėti laiką, per kurį dažniu moduluotų signalų profiliai išspinduliuojami. Profilio trukmė pasirenkama 3.89 ms, jog profilio trukmę padalijus iš vieno dažniu moduluoto signalo trukmės gaunamas skaičius būtų mažesnis už 255, kadangi tai yra maksimalus dažniu moduluotų signalų skaičius viename profilyje.

$$v_{res} = \frac{\lambda}{2 \cdot T_f}; \quad (2.6)$$

čia  $\lambda$  – bangos ilgis (3.89 mm (c/77 GHz)),  $T_f$  – profilio trukmė ( $\mu$ s) (3.89 ms).

$$v_{res} = 1.8 \frac{km}{h}; \quad (2.7)$$

Kadangi vieno dažniu moduluoto signalo trukmė yra  $T_C=23.36 \mu$ s ir dar reikalingas nedarbo laiko (angl. idle time), kuris yra  $2 \mu$ s tai vieno dažniu moduluoto signalo išspinduliavimas užtrunka  $25.36 \mu$ s.

$$\text{Dažniu moduluotų signalų skaičius} = \frac{T_f}{25.36}; \quad (2.8)$$

Taigi apskaičiavus visus reikalingus milimetrinių bangų radaro parametrus, gaunama naudojama atstumo ir greičio skiriamoji geba, pilna parametrų lentelė pateikiama 2.2 lentelėje.

**2.2 lentelė.** Radaro matavimo parametrai

Parametras	Vertė
Maksimalus atstumas ( $d_{max}$ ), m	20
Atstumo skiriamoji geba ( $d_{res}$ ), m	0.20
Maksimalus greitis ( $v_{max}$ ), km/h	50
Greičio skiriamoji geba ( $v_{res}$ ), km/h	1.8
Matavimo dažnis (f), Hz	60

Matoma, jog atstumo skiriamoji geba yra 20 cm, o greičio skiriamoji geba 1.8 km/h. Didelė atstumo skiriamoji geba leis tiksliau įvertinti TP gabaritais, o pasirinkta greičio skiriamoji geba leis lengviau išskirti dvi greta važiuojančias TP.

**2.3 lentelė.** Radaro dažniu moduluoto signalo parametrai

Apskaičiuotas parametras	Vertė
Juostos plotis (B), MHz	750
Dažnio augimo laikas ( $T_C$ ), $\mu$ s	23.36
Dažnio augimo greitis (S), MHz/ $\mu$ s	46
Laukimo laikas, $\mu$ s	2
Diskretizavimo dažnis ( $F_S$ ), kHz	6888
Dažniu moduluotų signalų skaičius	153

Iš 2.3 lentelės pastebima, kokios parametrų vertės turi būti nustatytos milimetrinių bangų radare, tam jog būtų gaunamos norimos skiriamosios gebos: greičio ir atstumo, maksimalios vertės: greičio ir atstumo.



Milimetrinių bangų radarui pasirenkama laikinio signalo lango funkcija, kadangi labai svarbu išskirti pagrindinį objektą, o šalutinius reikia nufiltruoti, todėl pasirenkamas Blackman-Harris langas, kuris būtent tai atlieka geriau, negu Hamingo ar Hano lango funkcijos.

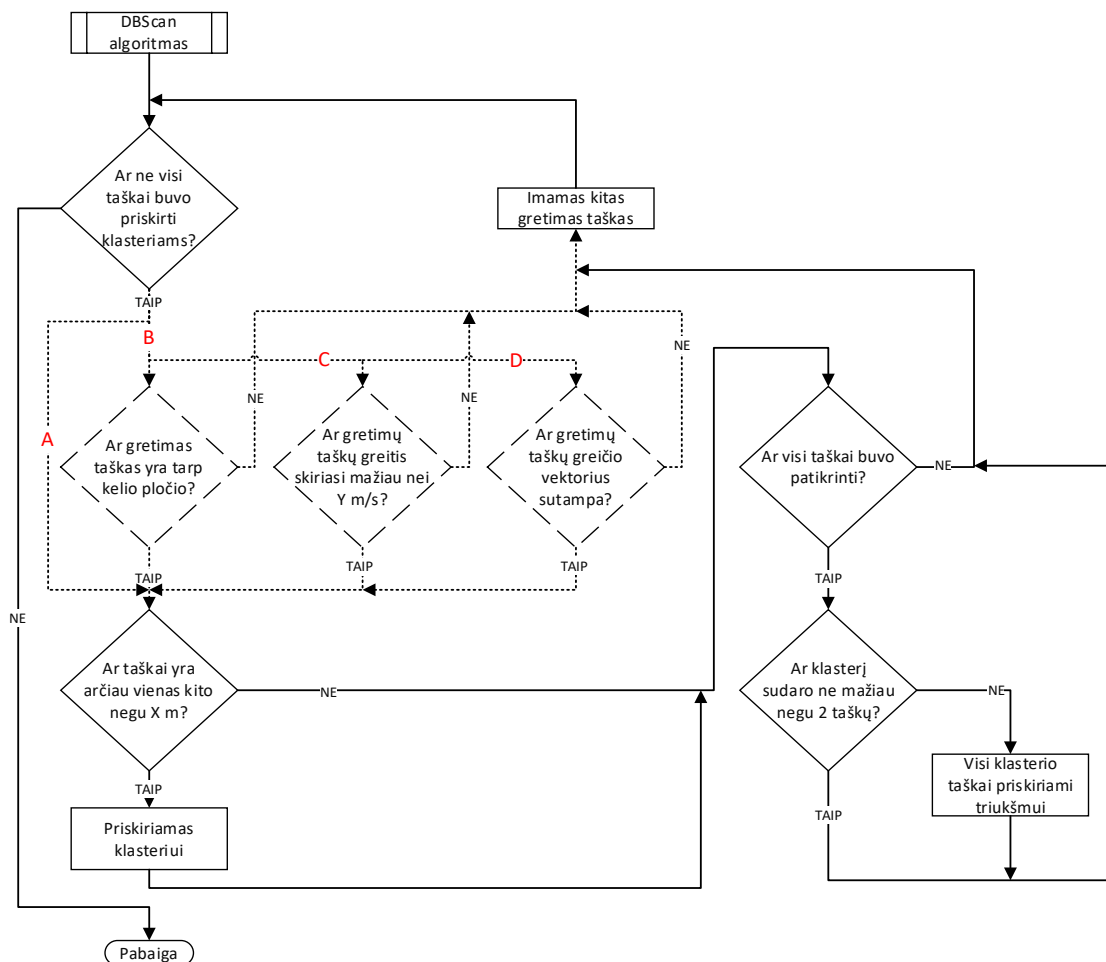
### **3. Klasifikavimo parametrai ir transporto priemonių klasterizavimo algoritmai**

Transporto priemonių klasterizavimui naudojamas „DBScan“ algoritmas, kadangi tai yra vienintelis algoritmas, kuris skirtas klasterizuoti duomenims erdvėje, kai nežinoma, kiek klasterių yra matomumo lauke. Toks atvejis būtent ir yra transporto srauto parametrizavimas, kadangi nežinomas TP skaičius kiekvienu laiko momentu radaro matymo lauke. Taip pat aprašoma pagal kokius parametrus šiame darbe transporto priemonės klasifikuojamos.

#### **3.1. „DBScan“ algoritmai**

Šiame poskyryje aprašomas „DBScan“ algoritmo transporto priemonių klasterizavimas pagal skirtingas užduotas sąlygas (juostų skaičius, greičio vektoriaus krypties sutapimas su važiuojamosios dalies kryptimi arba su gretimais NTKPAS, maksimalaus greičio skirtumo), aprašoma keičiamų parametrų (minimalus taškų skaičius, sudarantis klasterį, maksimalus atstumas tarp dviejų gretimų taškų) svarba.

„DBScan“ algoritme keičiama minimalus NTKPAS (nustatytos taško koordinatės pagal nuo objekto atsispindėjusį signalą) skaičius, kuris laikomas klasteriu. Šis parametras nustato, kiek minimaliai NTKPAS turi sudaryti klasterį, tokiu būdu galima reguliuoti NTKPAS skaičių, nuo kurio jie laikomi objektu, o ne aplinkos triukšmu. Minimalus NTKPAS skaičius, kuris interpretuojamas kaip objektas pasirenkamas 2 NTKPAS ir yra nekeičiamas. Šiame darbe šis parametras yra nekeičiamas todėl, kad norima klasifikuoti daug įvairių TP (lengvasias TP, furgonus, lengvuosius, sunkiuosius sunkvežimius, autobusus). Dviratininkų, motociklininkų milimetrinių bangų radaras neaptinka, kadangi atsispindėjęs signalas yra nepakankamai stiprus. Kitas svarbus parametras yra maksimalus atstumo skirtumas tarp gretimų NTKPAS. Šis parametras ypatingai svarbus, todėl jį visi NTKPAS sudarantys TP būtų suklastertizuojami į vieną objektą, o ne į kelis mažesnius. Aprašomi „DBScan“ algoritmai, kuriuose įvertinamos papildomos sąlygos, tokios kaip kelio juostų plotis, juostų skaičius, kelio juostos važiuojamoji kryptis.

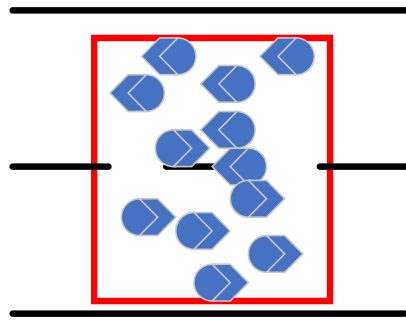


3.1 pav. „DBScan“ algoritmas

Šiame paveikslėlyje pateiktas bendrojo atvejo algoritmas X parametras yra maksimalaus atstumo skirtumas, tarp dviejų gretimų taškų. Y parametras yra maksimalus greičio skirtumas tarp dviejų gretimų taškų. Taip pat nubrėžtos punktyrinės linijos, kurios rodo skirtingus specializuotus „DBScan“ algoritmus: A– standartinis, B– juostų skaičiaus, C– gretimų NTKPAS maksimalaus greičio skirtumo, D– gretimų NTKPAS greičio vektoriaus krypties.

### 3.2. Standartinis „DBScan“ algoritmas pagal juostų skaičių

Standartinis „DBScan“ algoritmas yra pavaizduotas 3.1 pav. kai A punktyrinė linija yra aktyvi. Šis algoritmas pasirenka atsitiktinį atraminį NTKPAS ir lygina atstumą tarp kitų NTKPAS. Jeigu tenkinama atstumo sąlyga, jog jis mažesnis negu užduotas, tada NTKPAS priskiriami vienam klasteriui, tai daroma kol visi NTKPAS su atraminiu NTKPAS yra suklasterizuojami arba yra priskiriami triukšmui. Tikrinama ar visų NTKPAS atžvilgiu suskaičiuota, kitų NTKPAS tipas ar jie yra klasterio dalis ar triukšmas. Jeigu ne kartojamas prieš tai minėtas algoritmo vykdymas, tol kol visi NTKPAS priskiriami klasteriams arba triukšmui. Standartinio „DBScan“ algoritmo NTKPAS klasterizavimo pavyzdys pavaizduota 3.2 pav.

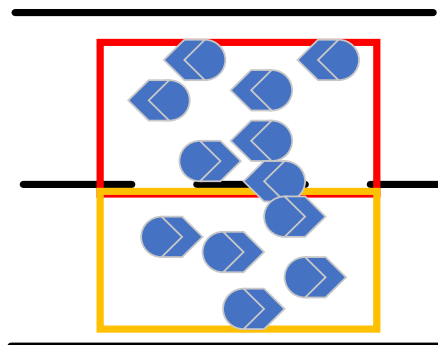


**3.2 pav.** Standartinio „DBScan“ algoritmo veikimas (stačiakampis suklasterizuotas objektas)

Šis algoritmas transporto priemonių parametrizavime turi didelių trūkumų. Kadangi paprastai transporto priemonė būna ne viena kelyje, todėl dviejų prasilenkiančių transporto priemonių NTKPAS suklasterizuojami į vieną objektą, ir toliau šį objektą klasifikuojant, gautume netinkamą jo klasę. Todėl norint išspręsti šią problemą sukurti specializuoti „DBScan“ algoritmai transporto priemonių parametrizavimui, kurie išspręstų šias problemas.

### 3.3. Specializuotas „DBScan“ algoritmas pagal juostų skaičių

Specializuotas „DBScan“ algoritmas įvertina kelio juostos plotį. Šios variacijos „DBScan“ algoritmas pavaizduotas 3.1 pav. Algoritme B punktyrinė linija aktyvi. Klasterizuojami NTKPAS tik tarp važiuojamųjų kelio juostų. Šiuo algoritmu galima padidinti patikimumą skaičiuojant transporto priemonių plotį, kadangi dviejų greta važiuojančių transporto priemonių NTKPAS vietos skirtingose juostose būtų atskirti kaip du atskiri klasteriai. Specializuoto juostų skaičiaus „DBScan“ algoritmo NTKPAS klasterizavimo pavyzdys pavaizduotas 3.3 pav.



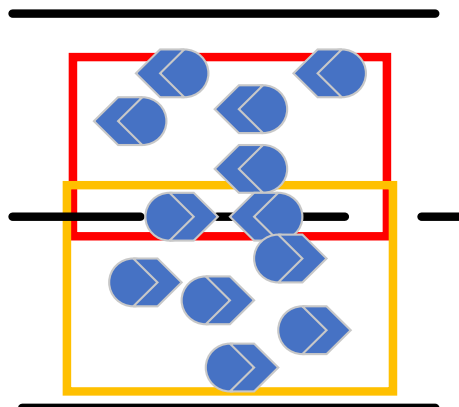
**3.3 pav.** „DBScan“ algoritmo pagal juostų skaičių veikimas (stačiakampiai suklasterizuoti objektai)

Šis metodas yra patikimesnis negu standartinis „DBScan“ algoritmas, tačiau jeigu transporto priemonė yra didesnė už juostos plotį, toks algoritmas veiktų prastai, kadangi būtų sunku atskirti ar tai yra viena didelė TP per abi kelio juostas ar dvi mažesnės.

### 3.4. Specializuotas „DBScan“ algoritmas pagal transporto priemonės greitį

Dar vienas specializuotas „DBScan“ algoritmas atsižvelgiant į NTKPAS greitį. Klasterizuojami NTKPAS ne tik kaip standartiniam „DBScan“ algoritme pagal gretimų NTKPAS atstumą, bet ir pagal NTKPAS greičio skirtumus (šio „DBScan“ algoritmo variacijos algoritmas pateiktas 3.1 pav.

Algoritme C punktyrinė linija aktyvi) arba išmatuotų NTKPAS greičio vektorius kryptį t.y. gretimų taškų greičio vektorius kryptis turi sutapti (Šio „DBScan“ algoritmo variacijos algoritmas pateiktas 3.1 pav. D punktyrinė linija aktyvi). Specializuotų maksimalaus greičio skirtumo tarp gretimų NTKPAS ir greičio vektorius krypties „DBScan“ algoritmų NTKPAS klasterizavimo pavyzdys pavaizduotas 3.4 pav.



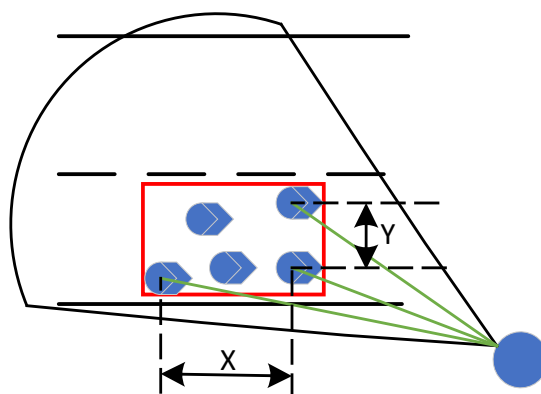
**3.4 pav.** „DBScan“ algoritmo pagal transporto priemonės greitį veikimas (stačiakampis suklasterizuoti objektai)

Šis specializuotas „DBScan“ algoritmo atmainos pranašumas prieš kitus, jog išskiriamos transporto priemonės, kurios prasilenkia greta viena kitos, kadangi milimetrinių bangų radaro atžvilgiu vienos iš jų greitis yra teigiamas, o kitos yra neigiamas, todėl klasterizuojant jas galima atskirti. Greičio vektorių algoritmas suklasterizuoja visus NTKPAS, kurie juda ta pačia kryptimi, o greičio skirtumų tik tuos kurių greitis yra panašus. Todėl greičio vektorių algoritmo klasterius sudarys daugiau NTKPAS ir objektai bus didesni negu greičio skirtumų algoritmo. Šie algoritmai atskiria prasilenkiančias TP ir nustato TP judėjimo kryptį.

### 3.5. Transporto priemonių klasifikavimo parametrai

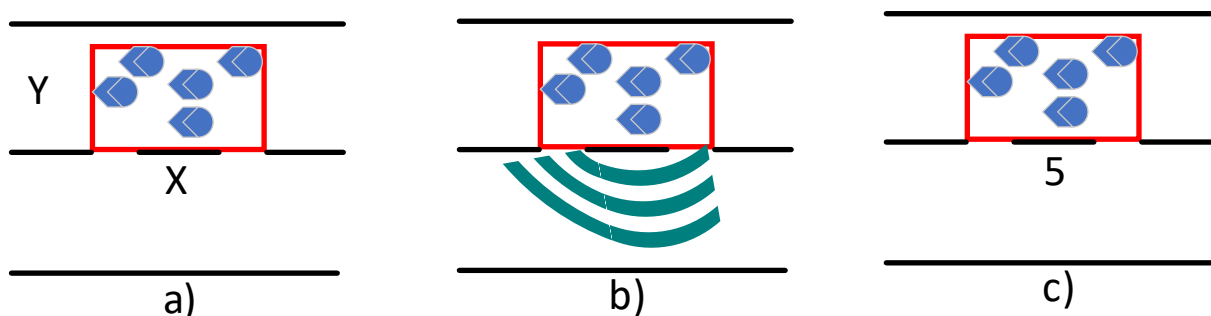
Transporto priemonės radarinėse sistemose gali būti klasifikuojamos pagal „DBScan“ klasterizavimo algoritmų parametrus. Šie parametrai yra TP ilgis, plotis, greitis, NTKPAS skaičius ir atsispindėjusio signalo stiprumas.

NTKPAS greitis, atsispindėjusio signalo stiprumas nustatomas milimetrinių bangų radaru, o TP vidutinis greitis arba atsispindėjusio signalo stiprumas yra visų suklasterizuotų NTKPAS vidurkis. TP ilgis ir plotis išskaičiuojamas iš suklasterizuotų NTKPAS maksimalių ir minimalių reikšmių X ir Y ašyje. Gaunamas ne tikrasis TP ilgis, plotis, o ilgio ir pločio projekcijos.



**3.5 pav.** Ilgio ir pločio projekcijos (mėlynas skritulys matavimo prietaisas, juoda linija matavimo prietaiso matomumo laukas, žalios linijos matavimo prietaiso išspinduliuotas signalas)

3.5 pav. pavaizduota milimetrinių bangų radaro išmatuojamos ilgio ir pločio projekcijos. Dėl šios priežasties TP išmatuoti gabaritai yra žymiai mažesni negu tikrieji TP gabaritai.

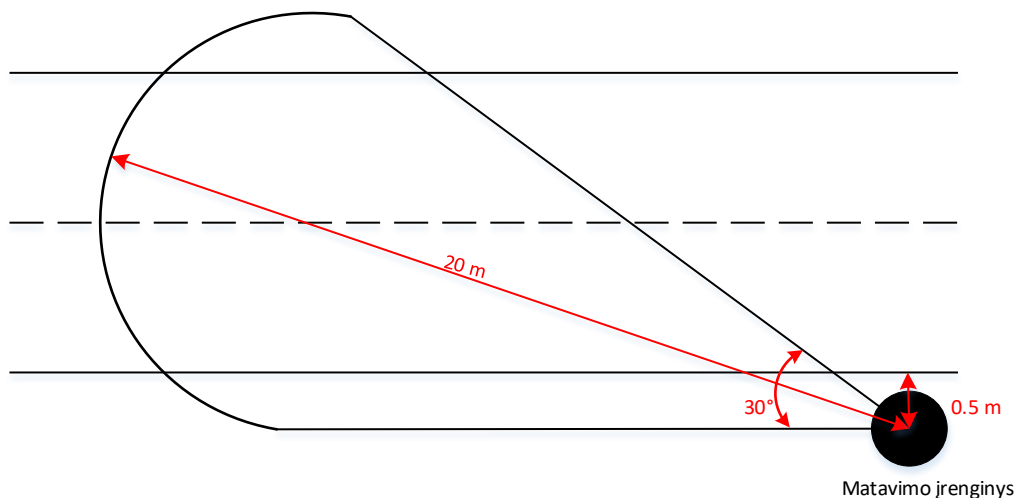


**3.6 pav.** Klasifikavimo parametrų vizualizacija: a) X arba Y dydį, b) atspindžio stiprumą, c) NTKPAS skaičių

3.6 pav. pavaizduota TP klasifikavimo parametrų vizualizacija. Šio darbo metu bus klasifikuojama pagal 4 pagrindinius parametrus: ilgio įvertį, pločio įvertį, atsispindėjusio signalo stiprumą ir NTKPAS skaičių. a) paveikslėlio dalyje matomi du parametrai pagal kuriuos galima klasifikuoti transporto priemonę naudojant jos pločio įvertį Y arba jos ilgio įvertį X. b) paveikslėlio dalyje TP klasifikuotos pagal atsispindėjusio signalo stiprumą. Sunkiosios transporto priemonės turi didesnio ploto plokštumą, dėl kurių atsispindėjęs signalas yra stipresnis nei lengvųjų transporto priemonių. c) paveikslėlio dalyje matomas TP NTKPAS skaičiaus parametras, pagal jį taip pat galima klasifikuoti TP, kadangi didelis objektas turės daugiau NTKPAS negu mažesnis. Mažesnis turi mažiau NTKPAS negu didesnis, nes signale dažnio srityje po FFT yra daugiau pikų negu mažesnio objekto.

#### 4. Duomenų analizė

Šiame skyriuje analizuojami duomenys surinkti iš milimetrinių bangų radaro. Eksperimento struktūrinė schema pateikta 4.1 pav. įrenginio aukštis 0.8 m.



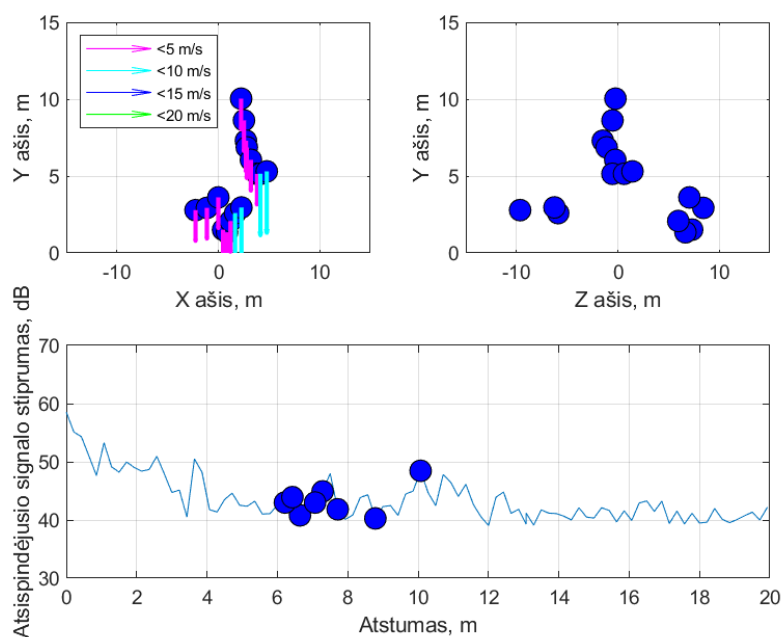
4.1 pav. Bandymo struktūrinė schema

Surinkta 62 TP (20- lengvųjų TP, 20- furgonų, 10- lengvųjų sunkvežimių, 6- sunkieji sunkvežimiai, 6- autobusai), kai jos yra vienos matymo lauke artimesnėje juostoje milimetrinių bangų radarui ir kai tolimesnėje juostoje. Taip pat 27 poros prasilenkiančių TP.

Radarinėse sistemose objektui priartėjus pakankamai arti radaro išmatuotos atsispindėjusio signalo koordinatės tampa triukšmingos ir naudojant tokius NTKPAS būtų sunku suklasifikuoti TP. Atstumas iki radaro, iki kurio NTKPAS tampa triukšmingi, priklauso nuo įvairių radaro parametrų (maksimalaus išmatuojamo atstumo, siunčiamo signalo galios). Todėl šios analizės metu šis atstumas ir ieškomas, taip pat ieškomas metodas, kaip eliminuoti šiuos taškus.

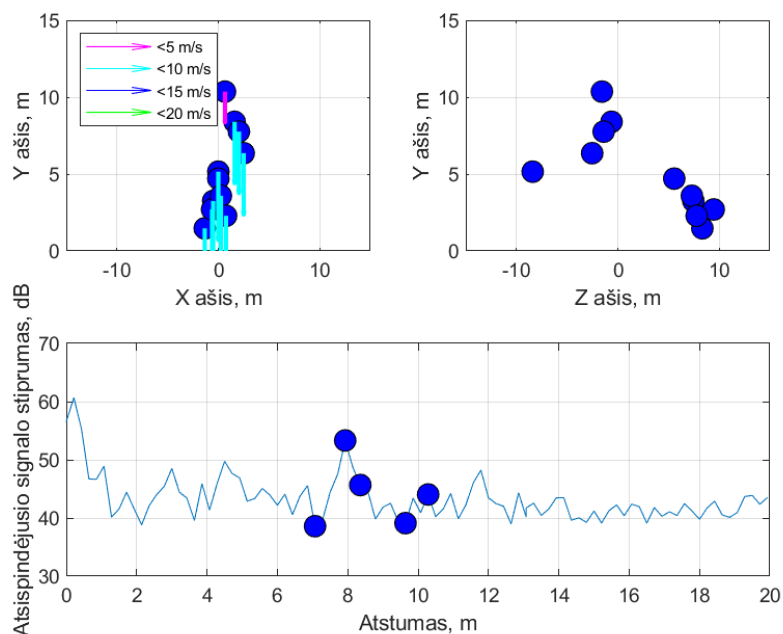
##### 4.1. TP minimalaus atstumo iki milimetrinių bangų radaro analizė

Šiame poskyryje analizuojami duomenys surinkti iš milimetrinių bangų radaro. Siekiama iš neapdorotų duomenų rasti minimalų TP atstumą iki milimetrinių bangų radaro, iki kurio NTKPAS nėra triukšmingi. Grafikuose matomos transporto priemonės koordinatės erdvėje X-Y ašyje. Šioje ašyje, taip pat vaizduojamas transporto priemonės greitis (nurodomas rodyklės spalva) ir kryptis (nurodoma rodyklės kryptimi). Y-Z rodo jos aukštį, Y parodo kokiam nuotolyje yra NTKPAS, o Z kokio aukščio. Taip pat matomas atsispindėjusio signalo stiprumas decibelais (dB), atstumas X ašyje yra radaro atžvilgiu.



**4.2 pav.** Lengvojo sunkvežimio priemonės NTKPAS koordinatės ir atsispindėjusio signalo stiprumas

Iš 4.2 pav. matoma, jog lengvosios transporto priemonės atsispindėjusio signalo stiprumas yra apie 40 dB, jos greitis iki 10 m/s, transporto priemonės aukštis yra labai įvairus. Matoma, jog iki 5 m Y ašyje objekto aukštis yra tarp -9 m ir 8 m, o Y ašies atstumui esant tarp 5 m ir 10 m, tada transporto priemonės aukštis yra apie 1.5 m.



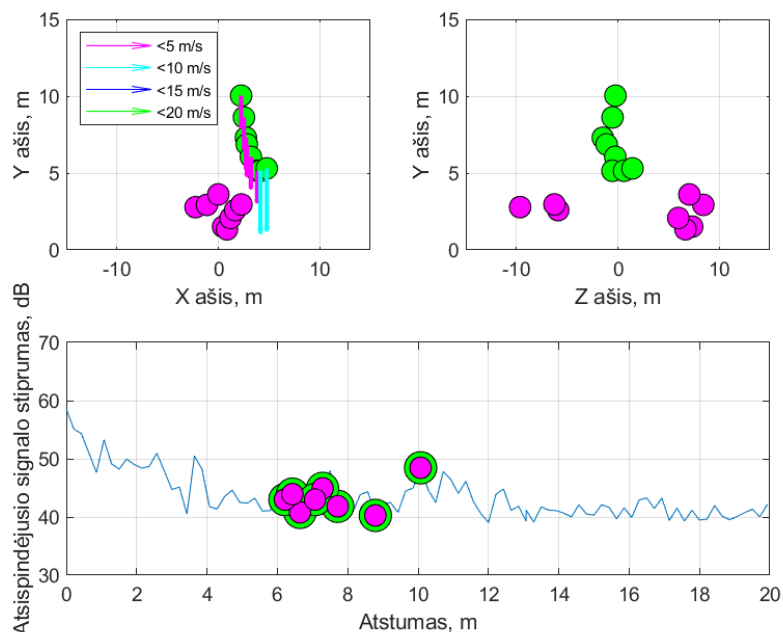
**4.3 pav.** Lengvosios transporto priemonės NTKPAS koordinatės ir atsispindėjusio signalo stiprumas

4.3 pav. matoma panašų vaizdą Y ašies atstume iki 5 metrų, Z ašies aukščio išsibarstymas yra iki  $\pm 10$  m, o Y ašies atstume nuo 5 metrų, Z ašies aukščio išsibarstymas yra iki 3 metrų. Transporto priemonės greitis yra iki 10 m/s. Pastebima, jog 4.2 pav. ir 4.3 pav. NTKPAS aukščio parametro išsibarstymas staigiai padidėja objektui priartėjus 5 m iki milimetrinių bangų radaro. Iš aukščio išsibarstymo galime spręsti, jog 5 m atstumas yra minimalus atstumas tarp milimetrinių bangų radaro ir norimo išmatuoti objekto pagal pasirinktus dažniu moduluoto signalo parametrus.



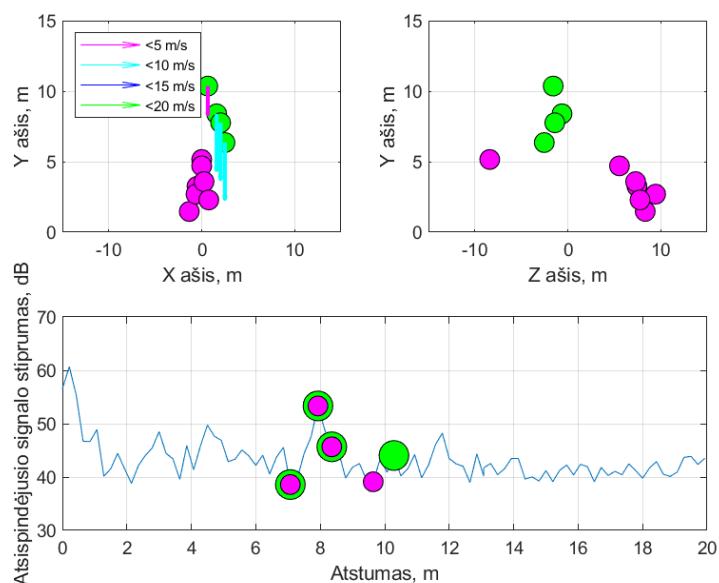
## 4.2. Transporto priemonės NTKPAS pirminis apdorojimas

Iš 4.1 poskyrio paveikslų matoma, jog transporto priemonei esant iki 5 m milimetrinių bangų radarui. Objektas X-Y ašyje atrodo, jog važiuoja į patį milimetrinių bangų radarą, o Z ašyje matomas didelis aukščio standartinis nuokrypis, todėl visus NTKPAS didesnius už suskaičiuotą standartinį nuokrypį eliminuojame. 4.4 pav., 4.5 pav. pateikiami NTKPAS eliminavimo pagal standartinį nuokrypį rezultatai.



**4.4 pav.** Lengvojo sunkvežimio NTKPAS koordinatės ir atspindėjusio signalo stiprumas (violetine spalva NTKPAS, kurių vertės yra didesnės už visų NTKPAS standartinį nuokrypį)

Iš 4.4 pav. matoma, jog eliminavus neteisingai išmatuotas TP vietas, NTKPAS yra sutelkti vienoje zonoje. Galime laikyti, jog neeliminuoti NTKPAS yra tinkamai išskaičiuoti. 4.5 pav. pateiktas dar vienas NTKPAS eliminavimo pagal standartinį nuokrypį pavyzdys.



**4.5 pav.** Lengvosios transporto priemonės NTKPAS koordinatės ir atspindėjusio signalo stiprumas (violetine spalva NTKPAS, kurių aukštis yra didesnis už standartinį nuokrypį, žalia neeliminuoti NTKPAS)

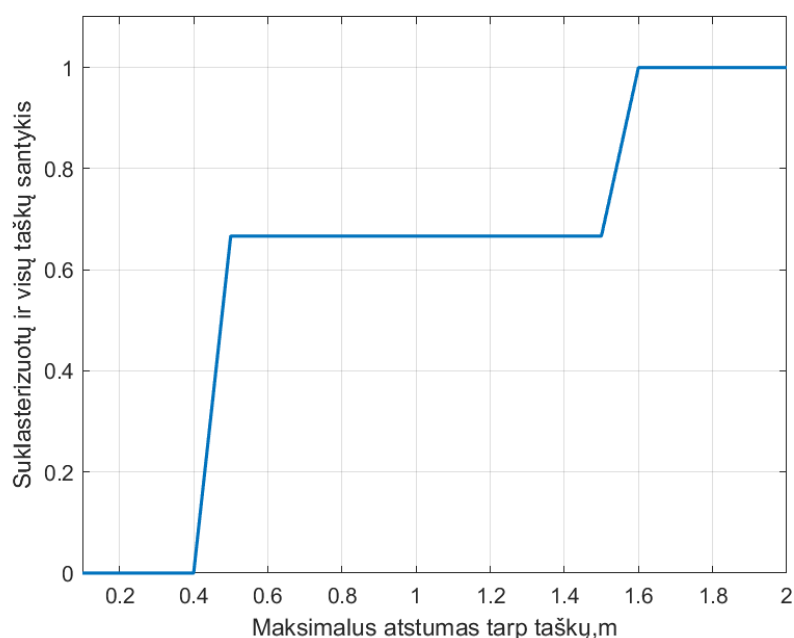
4.5 pav. matomas panašus vaizdas kaip ir 4.4 pav. taigi šis metodas tinka eliminuoti netinkamai išskaičiuotus transporto priemonės atspindžio vietų koordinates iš atspindėjusio signalo (NTKPAS), todėl galime objektyviau įvertinti transporto priemonės ilgį, plotį, atspindėjusio signalo stiprumą, NTKPAS skaičių.

## 5. „DBScan“ algoritmo parametrų analizė

Šiame skyriuje analizuojama „DBScan“ parametrų įtaka objekto NTKPAS suklasterizavimui. Tinkamiausi parametrai ieškomi maksimaliam atstumui ir maksimaliam greičio skirtumui tarp gretimų NTKPAS.

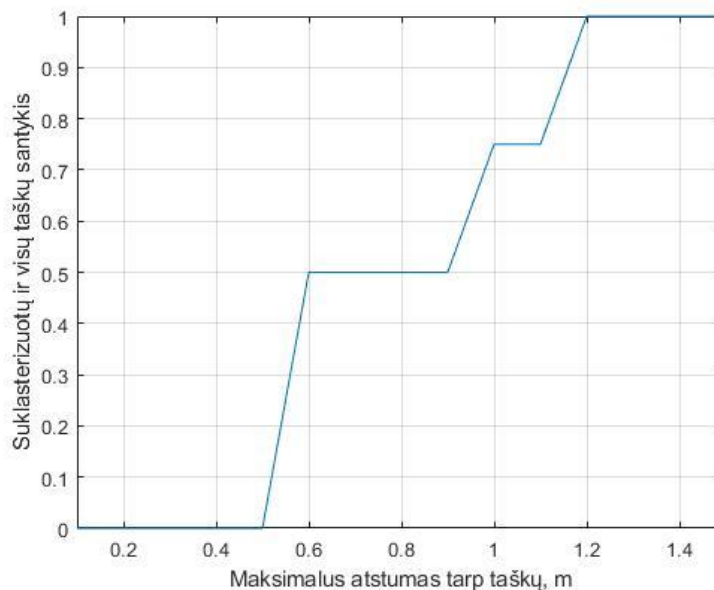
### 5.1. Tinkamiausio maksimalaus atstumo tarp NTKPAS nustatymas

Šiame poskyryje nustatoma suklasterizuotų ir visų NTKPAS santykio priklausomybė nuo maksimalaus atstumo skirtumo tarp NTKPAS. Analizė atliekama dviem transporto priemonėms: lengvajai transporto priemonei ir lengvajam sunkvežimiui. Šios transporto priemonės priskiriamos lengvųjų ir sunkiųjų TP grupėms, kadangi jų TP NTKPAS atstumų skirtumas didžiausias. Lengvąją TP sudaro 4, o lengvąjį sunkvežimį sudaro 9 NTKPAS. Maksimalus atstumas turi būti toks, jog suklasterizuotų visus NTKPAS į vieną klasterį, tačiau būtų kuo įmanoma mažesnis, jog lengviau išsiskirtų viena paskui kitą važiuojančios transporto priemonės.



**5.1 pav.** Lengvosios transporto priemonės suklasterizuotų ir visų NTKPAS (išviso 4 NTKPAS) priklausomybės nuo maksimalaus atstumo skirtumo tarp gretimų NTKPAS grafikas

Iš 5.1 pav. matoma, jog esant maksimaliam atstumui tarp gretimų NTKPAS iki 1.6 m visi lengvosios transporto priemonės NTKPAS yra suklasterizuojami į vieną klasterį. Šis atstumas yra minimalus tokio tipo TP.

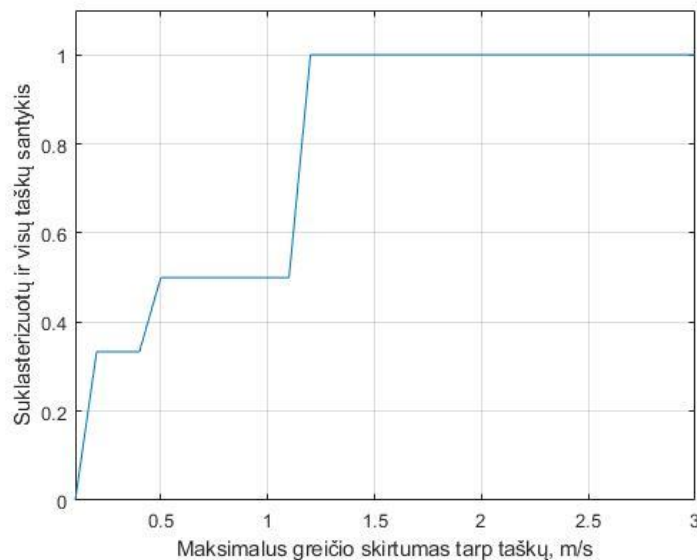


**5.2 pav.** Lengvojo sunkvežimio suklasterizuotų ir visų NTKPAS (išviso 9 NTKPAS) santykio priklausomybė nuo maksimalaus atstumo tarp gretimų NTKPAS

5.2 pav. matoma, jog išmatuoti lengvojo sunkvežimio atspindžiai suklasterizuojami esant tam pačiam 1.2 m maksimaliam atstumui tarp NTKPAS. Pastebima, jog visų skirtingų transporto priemonių išmatuoti atspindžiai yra suklasterizuojami esant maksimaliam atstumui tarp NTKPAS 1.6 m. Tačiau, su atsarga pasirenkamas 1.8 m maksimalus atstumas tarp gretimų taškų. Šis atstumas toliau parenkamas algoritmų tyrimams, kaip tinkamiausias maksimalus atstumo skirtumo tarp dviejų gretimų NTKPAS.

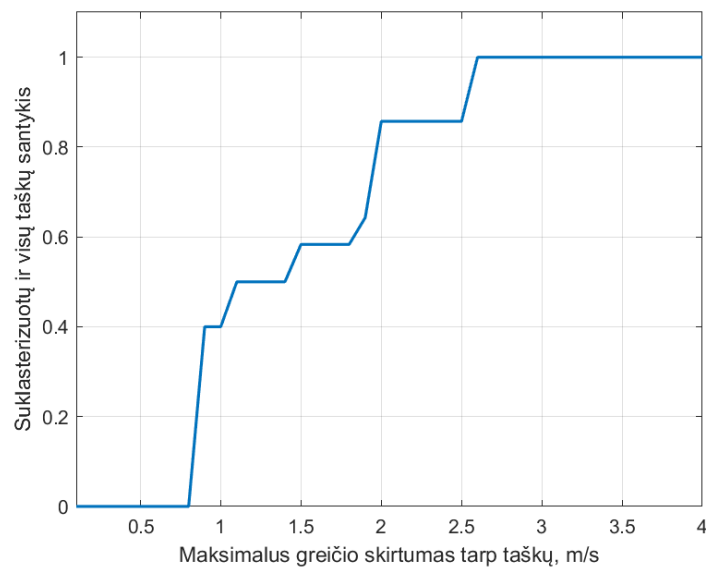
## 5.2. Tinkamiausio maksimalaus greičio tarp NTKPAS analizė

Šiame poskyryje tiriamas maksimalus greičio skirtumas tarp gretimų NTKPAS. Maksimalus greičio skirtumas tarp gretimų NTKPAS, jog NTKPAS būtų vis dar suklasterizuojami į vieną objektą, tačiau nebūtų per didelis, jog palengvintų skirtingomis kryptimis važiuojančių transporto priemonių išskyrimą. Analizė atliekama lengvajai TP ir sunkiajam sunkvežimiui, jos pasirinktos, jog priklausytų dviem didelėms išskiriamoms grupėm lengvųjų ir sunkiųjų TP. Taip pat šių TP NTKPAS greičio minimumo ir maksimumo skirtumas didžiausias. Maksimalus greičio skirtumas analizuojamas, tam jog dvi greta priešingomis kryptimis važiuojančios transporto priemonės išsiskirtų.



**5.3 pav.** Lengvosios transporto priemonės suklastrizuotų ir visų NTKPAS (išviso 4 NTKPAS) priklausomybės nuo maksimalaus greičio skirtumo tarp gretimų NTKPAS grafikas

Iš 5.3 pav. matoma, jog visų išmatuotų transporto priemonės NTKPAS greičių skirtumas yra nedidelis, kadangi reikalingas maksimalus greičio skirtumas siekia vos 1.2 m/s.



**5.4 pav.** Sunkiojo sunkvežimio suklastrizuotų ir visų NTKPAS (išviso 24 NTKPAS) santykio priklausomybė nuo maksimalaus greičio skirtumo tarp gretimų NTKPAS

Iš 5.4 pav. matoma, jog esant didesnei transporto priemonei, išmatuoto NTKPAS greičio išsibarstymas, yra didesnis, kadangi maksimalus greičio skirtumas tarp NTKPAS padidėja 2 kartus (2.6 m/s). Greičio verčių išsibarstymas padidėja, kadangi sunkiosios TP nėra tokių aptakių formų kaip lengvosios ir įvažiavus į prieš tai buvusią tuščią erdvę greičio pokytis yra didesnis.

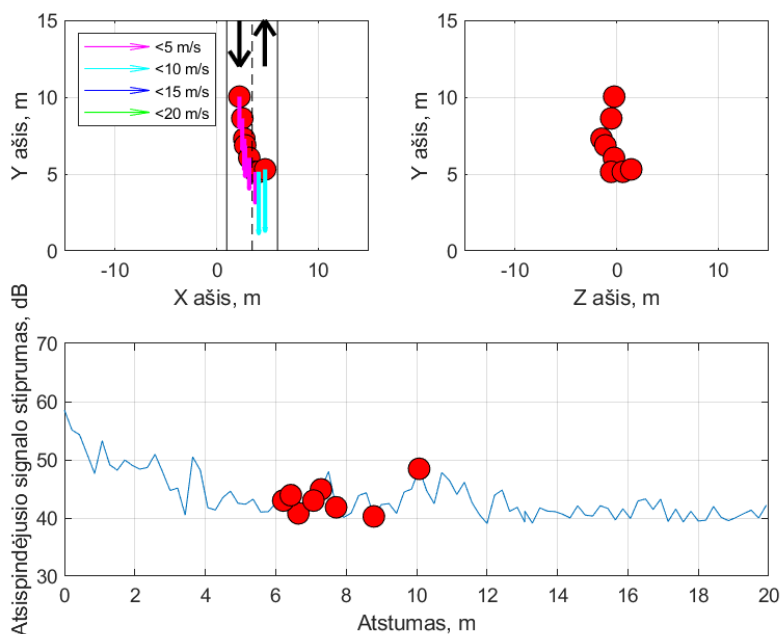
Iš išanalizuotų transporto priemonių maksimalių greičių skirtumų, pastebima šio parametro svarba klasterizavimui. Maksimalus greičio skirtumas parinktas taip, jog tiktų tiek lengvosioms, tiek sunkiosioms transporto priemonėms. Maksimalus greičio skirtumo vertė– 3 m/s, su 0.4 m/s atsarga.

## 6. Specializuotų „DBScan“ algoritmų tyrimas

Šiame skyriuje tiriama 3.1 skyriuje aprašyti specializuoti „DBScan“ algoritmai. „DBScan“ algoritmai tiriami pagrindiniais parametrizavimo parametrais tokiais kaip ilgio įvertis, pločio įvertis, atspindžio stiprumas, NTKPAS skaičius sudarantis klasterį. Tiriamos 62 TP (20- lengvųjų TP, 20- furgonų, 10- lengvųjų sunkvežimių, 6- sunkieji sunkvežimiai, 6- autobusai), kai jos yra vienos kelyje artimesnėje juostoje milimetrinių bangų radarui ir kai tolimesnėje juostoje. Taip pat tiriamos 27 poros prasilenkiančių TP. Grafinė forma atvaizduojama tik lengvojo sunkvežimio ir prasilenkiančios lengvosios TP. Lengvojo sunkvežimio NTKPAS yra tipinis visiems lengviesiems sunkvežimiams. Prasilenkiančios lengvosios TP taip pat yra tipiniai duomenys šiai situacijai. Šiame skyriuje duomenys yra tiriami po NTKPAS eliminavimo pagal aukščio standartinį nuokrypį.

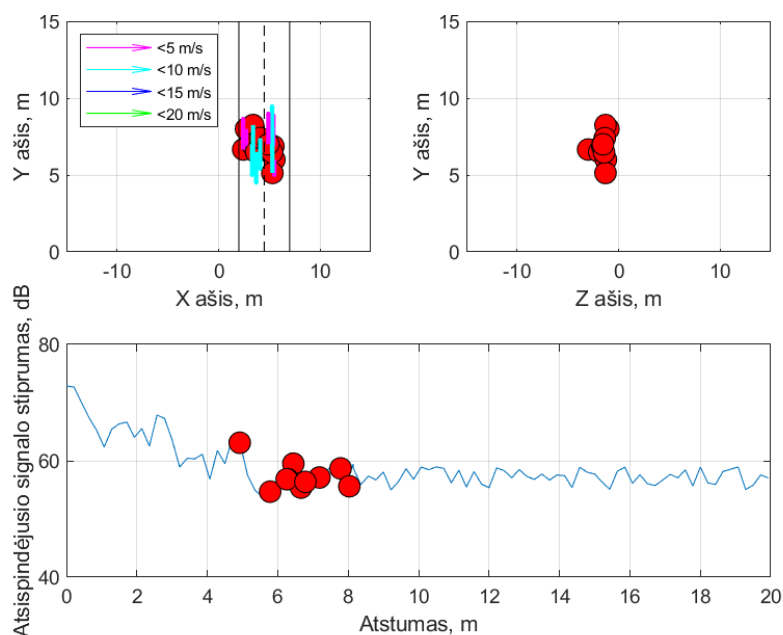
### 6.1. Klasterizavimas pagal maksimalų skirtumą atstumo tarp gretimų NTKPAS

Šiame skyriuje tiriamas standartinis „DBScan“ algoritmas, kuris atsižvelgia tik į atstumą tarp išmatuotų gretimų transporto priemonės NTKPAS. Šis algoritmas testuojamas esant vienai ir kelioms transporto priemonėms matomumo lauke.



**6.1 pav.** Lengvojo sunkvežimio NTKPAS koordinatės ir atspindžio stiprumai (vienoda gretimų NTKPAS spalva rodo klasterį)

Iš 6.1 pav. matoma, jog transporto priemonės NTKPAS vieta nustatoma abejose kelio pusėse, nors transporto priemonė, joje nevažiavo, todėl objekto dydis yra didesnis negu iš tiesų yra. Nors TP gabaritai yra iškraipyti jie yra vis tiek suskaičiuojami, tam kad parodyti šio algoritmo trūkumus transporto priemonių parametrizavimui.



**6.2 pav.** Dviejų prasilenkiančių lengvųjų TP NTKPAS koordinatės ir atspindžio stiprumai (vienoda gretimų NTKPAS spalva rodo priklausomybę tam pačiam klasteriui)

6.2 pav. matoma, jog dvi prasilenkiančios transporto priemonės suklasterizuojamos į vieną. Prasilenkiančias transporto priemones klasterizuojant, tokiu algoritmu būtų neįmanoma teisingai klasifikuoti. Parametrizavimo rezultatų lentelė iš dviejų nagrinėtų situacijų pateikiama 6.1 lentelėje. Suskaičiuotas ilgio įvertis, pločio įvertis, aukščio įvertis, greitis, atsispindėjusio signalo stiprumas ir NTKPAS skaičius.

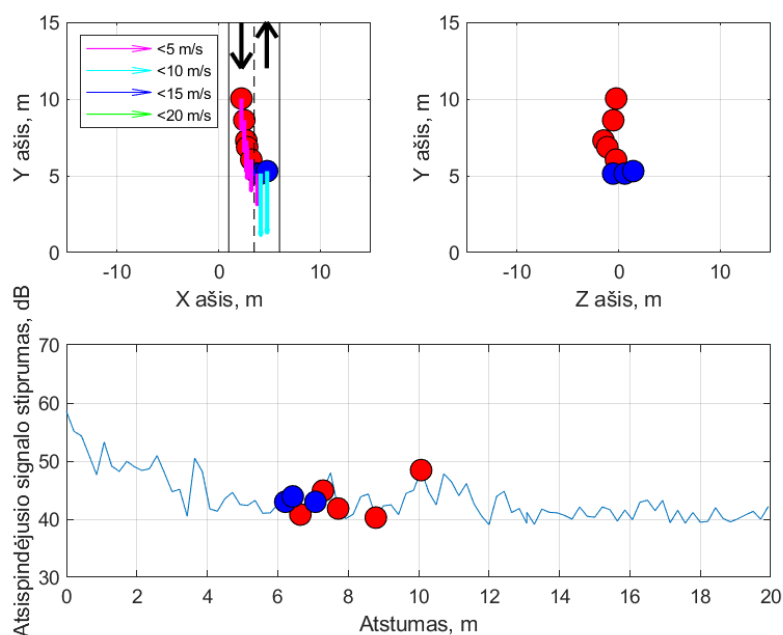
**6.1 lentelė.** Transporto priemonių parametrizavimo rezultatai naudojant standartinį „DBScan“ algoritmą

Transporto priemonė	Ilgio įvertis, m	Pločio įvertis, m	Aukščio įvertis, m	Greitis, m/s	Atsispindėjusio signalo stiprumas, dB	NTKPAS skaičius
Lengvasis sunkvežimis	4.89	2.53	2.92	3.44	45.5	8
Dvi prasilenkiančios TP	Lengvoji TP	3.11	2.5	2.12	0.2	48.12
	Lengvoji TP					

Iš 6.2 pav. matoma, jog TP ne išskiriamos kaip dvi, todėl ir 6.1 lentelėje nėra išskiriamos. Dėl negebėjimo atskirti dviejų prasilenkiančių transporto priemonių šis algoritmas netinkamas jų klasifikavimui, todėl toliau nebus nagrinėjamas.

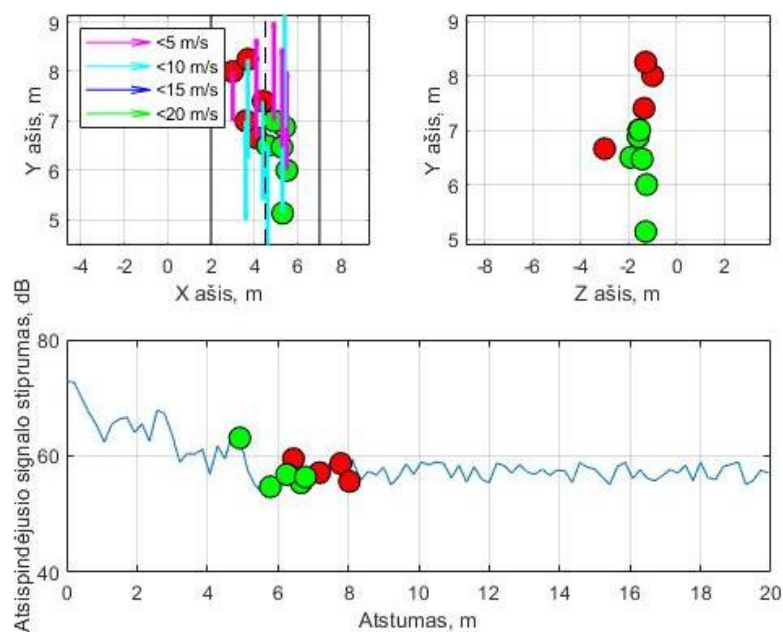
## 6.2. Klasterizavimas pagal juostų skaičių

Šiame poskyryje tiriama 3.3 skirsnyje aprašytas algoritmas. Šis algoritmas tiriamas skaičiuojant pagrindinius transporto priemonės parametrus iš suklasterizuotų duomenų. 6.3 pav. pateikti „DBScan“ algoritmo pagal juostų skaičių klasterizavimo rezultatai.



**6.3 pav.** Lengvojo sunkvežimio NTKPAS koordinatės ir atspindžio stiprumai (vienoda gretimų NTKPAS spalva rodo priklausomybę tam pačiam klasteriui)

Nagrinėjamoje situacijoje, pavaizduotoje 6.3 pav. ir 6.1 pav. matoma, jog parametrizuojamos tos pačios situacijos. 6.3 pav. situacijoje ne kaip 6.1 pav. TP suklasifikuojama į du atskirus klasterius, kurie yra atskirti juosta skiriančia dvi važiuojamąsias kelio juostas. NTKPAS yra abejose kelio juostose, dėl šios priežasties negalėtume nustatyti ar tai yra viena didelė TP važiuojanti dvejomis juostomis ar dvi mažesnės TP važiuojančios skirtingomis.



**6.4 pav.** Dviejų prasilenkiančių lengvųjų TP NTKPAS koordinatės ir atspindžio stiprumai (vienoda gretimų NTKPAS spalva rodo klasterį)

Iš 6.4 pav. matoma, jog transporto priemonės yra suklasterizuojamos į dvi atskiras, jų atskyrimo linija laikoma juostų atskyrimo linija. Atskirtose dvejose TP yra NTKPAS, kurių greičio vektorius yra priešingos krypties. Šie NTKPAS rodo, jog jie yra priešinga kryptimi važiuojančios TP NTKPAS, jų



priskyrimas ne tai TP gali iškraipyti transporto priemonių gabaritus. Taip pat nenaudodami greičio vektoriaus krypties, negalime nustatyti į kurią pusę transporto priemonė judėjo. Parametrizavimo rezultatai pateikiami 6.2 lentelėje. Suskaičiuotas ilgio įvertis, pločio įvertis, aukščio įvertis, greitis, atsispindėjusio signalo stiprumas ir NTKPAS skaičius.

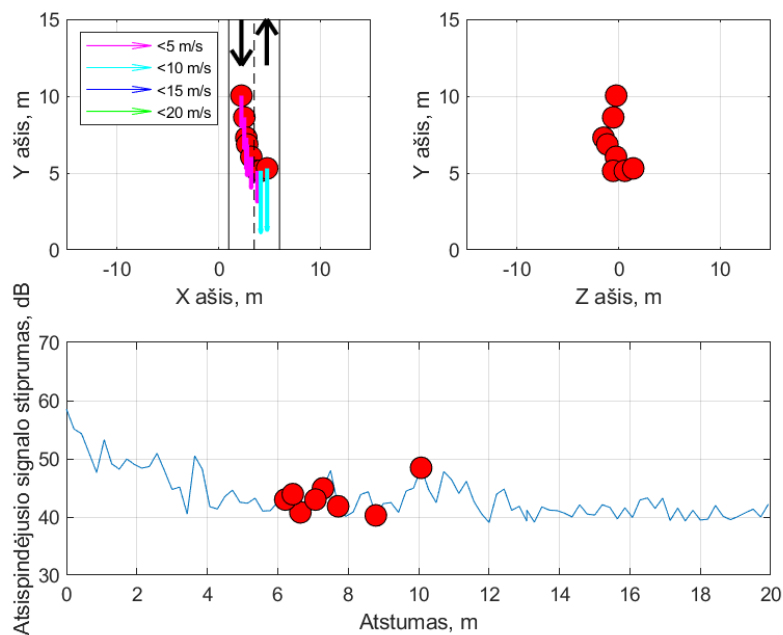
**6.2 lentelė.** Transporto priemonių parametrizavimo rezultatai naudojant pagal eismo juostas „DBScan“ algoritmą

Transporto priemonė		Ilgio įvertis, m	Pločio įvertis, m	Aukščio įvertis, m	Greitis, m/s	Atsispindėjusio signalo stiprumas, dB	NTKPAS skaičius
Lengvasis sunkvežimis		3.98	0.96	1.24	2.21	43.1	5
		0.16	0.875	-0.3	3.28	43.4	3
Dvi prasilenkiančios	Lengvoji TP	1.59	1.865	2.14	4.2	56.5	5
	Lengvoji TP	1.4	0.9	0.66	-3.5	56.2	6

Iš 6.2 lentelės matoma, jog išskiriamos dvi transporto priemonės. Taip pat pastebima, jog pirmosios išskirtos transporto priemonės atsispindėjusio signalo stiprumas yra toks pats kaip ir antrosios, tik mažesnis NTKPAS skaičius ir plotis. Nors šis algoritmas atskiria dvi transporto priemones, tačiau TP esant sunkiajai jos NTKPAS išmatuojami abejose kelio pusėse, dėl to negalima atskirti ar tai yra dvi transporto priemonės ar viena. Dėl šios priežasties šis algoritmas nebus toliau nagrinėjamas. Visuose kituose algoritmuose įvertinamas greitis, jog ši problema būtų išsprendžiama.

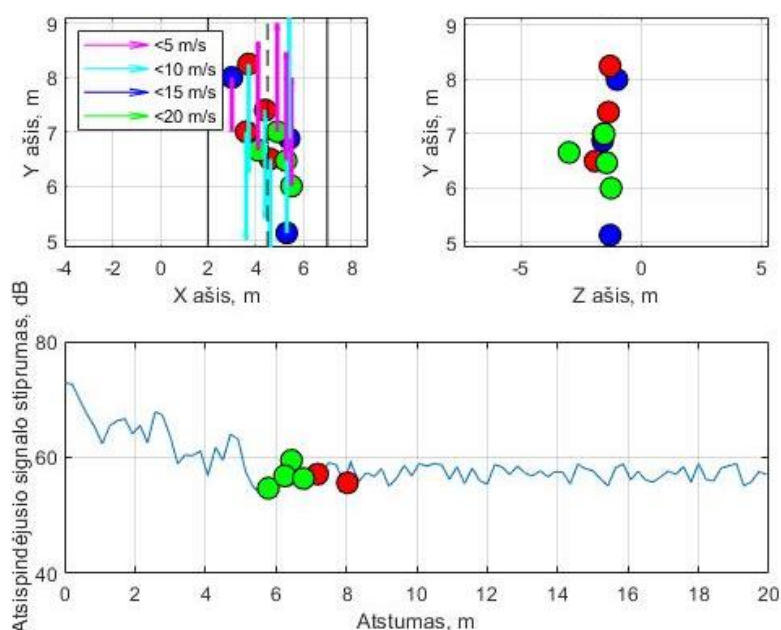
### 6.3. Klasterizavimas pagal greičio skirtumą arba greičio vektoriaus kryptį

Šiame poskyryje tiriamas 3.4 skirsnyje aprašytas specializuotas „DBScan“ algoritmas. NTKPAS sugrupuojami pagal atstumą ir greičio skirtumą arba greičio vektoriaus kryptį išanalizuojama kaip objekto dydis skiriasi esant šiems algoritmas.



**6.5 pav.** Lengvojo sunkvežimio NTKPAS koordinatės ir atspindžio stiprumai (vienoda gretimų NTKPAS spalva rodo klasterį)

6.5 pav. matoma viena matomumo lauke esanti TP šiuo atveju tiriama tik vieną kartą, kadangi visi NTKPAS juda viena kryptimi ir jų greitis yra panašus (standartinis nuokrypis 3 m/s), todėl gausime tą patį rezultatą, naudodami greičio skirtumų arba greičio vektoriaus krypties algoritimą. Tačiau skirtumas tarp šių algoritmų atsiranda, kai matomumo lauke yra ne viena, o dvi TP.



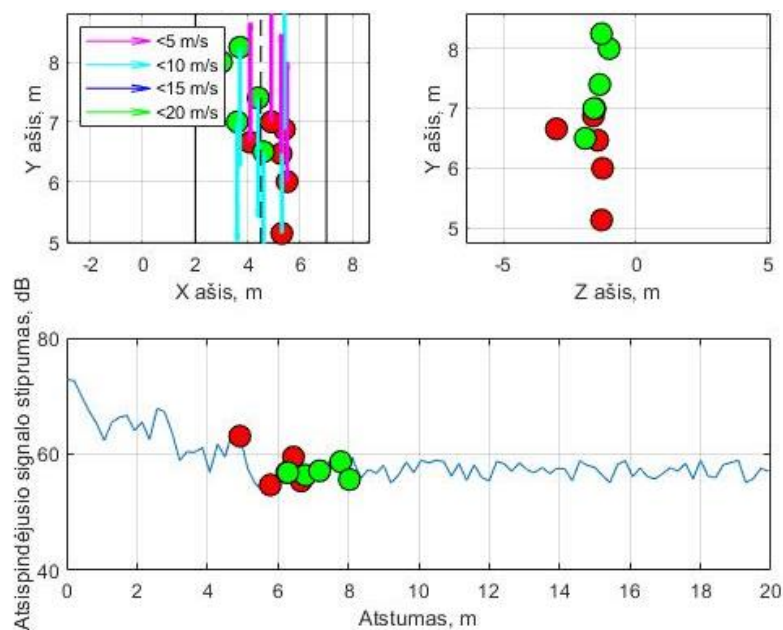
**6.6 pav.** Dviejų prasilenkiančių lengvųjų TP NTKPAS koordinatės ir atspindžio stiprumai (vienoda gretimų NTKPAS spalva rodo klasterį, mėlyna eliminuojami NTKPAS)

6.6 pav. TP klasterizuojamos naudojant „DBScan“ maksimalaus greičio skirtumų algoritimą. Matomos dvi prasilenkiančios TP ir jas algoritmas suklasterizuoja kaip dvi atskiras. Taip pat pastebima, jog kai matomumo lauke yra kelios transporto priemonės atsiranda NTKPAS, kurių greitis neatitinka maksimalių greičių skirtumų sąlygos, nors ji galioja kai tos pačios klasės transporto priemonės yra vienos matymo lauke. Dėl šios priežasties TP gabaritai yra sumažinami. Parametrizavimo rezultatai pateikiami 6.3 lentelėje. Suskaičiuotas ilgio įvertis, pločio įvertis, aukščio įvertis, greitis, atsispindėjusio signalo stiprumas ir NTKPAS skaičius.

**6.3 lentelė.** Transporto priemonių parametrizavimo rezultatai naudojant maksimalaus greičio skirtumo „DBScan“ algoritimą

Transporto priemonė	Ilgio įvertis, m	Pločio įvertis, m	Aukščio įvertis, m	Greitis, m/s	Atsispindėjusio signalo stiprumas, dB	NTKPAS skaičius
Lengvasis sunkvežimis	3.98	0.96	1.24	2.21	43.1	5
Dvi prasilenkiančios	Lengvoji TP	1	1.4	1.75	50.5	3
	Lengvoji TP	1.865	1.42	1.58	51.4	6

Lyginant 6.2 lentelę su 6.3 lentele matoma, jog sumažėjo NTKPAS skaičius, tačiau transporto priemonės plotis yra didesnis už maksimalų juostos plotį. Šiuo algoritmu galime išskirti dvi transporto priemonės, pastebima, jog dviejų lengvųjų TP atsispindėjusio signalo stiprumas yra didesnis negu lengvojo sunkvežimio. Visi suparametrizuoti rezultatai pateikiami 1 priede.



**6.7 pav.** Dviejų prasilenkiančių lengvųjų TP NTKPAS koordinatės ir atspindžio stiprumai (vienoda gretimų NTKPAS spalva rodo klasterį)

6.7 pav. matoma TP klasterizavimas pagal greičio vektoriaus kryptį (greičio vektoriaus ženklas gretimų taškų turi sutapti vienas su kitu) ir maksimalaus atstumo skirtumą tarp gretimų NTKPAS. Pastebima, jog ne kaip 6.6 pav. suklasterizuojami visi NTKPAS. Parametrizavimo rezultatai pateikiami 6.4 lentelėje. Suskaičiuotas ilgio įvertis, pločio įvertis, aukščio įvertis, greitis, atsispindėjusio signalo stiprumas ir NTKPAS skaičius.

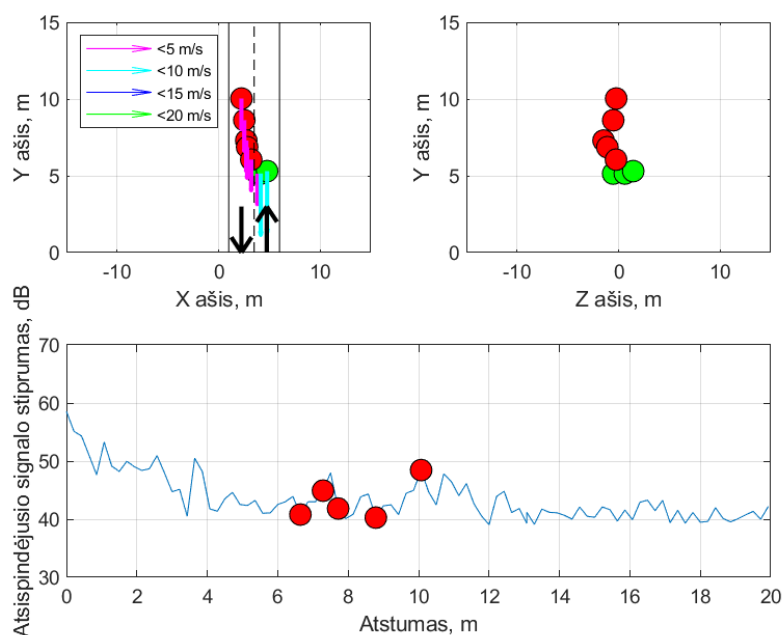
**6.4 lentelė.** Transporto priemonių parametrizavimo rezultatai naudojant greičio vektoriaus kryptį „DBScan“ algoritmą

Transporto priemonė	Ilgio įvertis, m	Pločio įvertis, m	Aukščio įvertis, m	Greitis, m/s	Atsispindėjusio signalo stiprumas, dB	NTKPAS skaičius	
Lengvasis sunkvežimis	3.98	0.96	1.24	2.21	43.1	5	
Dvi prasilenkiančios	Lengvoji TP	1.748	1.6	0.91	5.4	56.2	5
	Lengvoji TP	1.865	1.4	1.75	-5.03	56.5	6

Lyginant 6.3 ir 6.4 lenteles pastebima, jog naudojant greičio vektoriaus krypties algoritmą gaunamas didesnis transporto priemonių dydis, taip pat didesnis NTKPAS skaičius. Didesni TP gabaritai ir NTKPAS skaičius ar padės TP klasifikavimui nagrinėjama klasifikavimo skyriuje. Visi suparametrizuoti rezultatai pateikiami 2 priede.

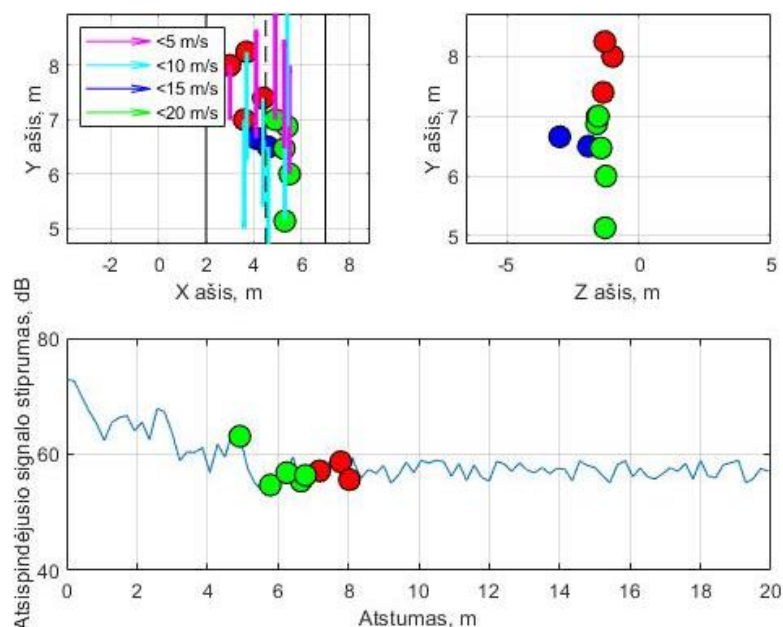
#### 6.4. Klasterizavimas pagal greičio vektoriaus kryptį ir juostų skaičių

Šiame poskyryje tiriamas dviejų algoritmų derinys: greičio vektoriaus krypties ir juostų skaičiaus. Šis algoritmas įvertina ir objekto judėjimo kryptį ir juostų skaičių. Tai turėtų leisti ne tik nesunkiai įvertinti, kuria kryptimi važiavo transporto priemonė, bet ir suklastifikuoti NTKPAS, tik toje juostoje, kuria ji važiavo.



**6.8 pav.** Lengvojo sunkvežimio NTKPAS koordinatės ir atspindžio stiprumai (raudonos spalvos NTKPAS rodo klasterį, žalios eliminuotus NTKPAS)

6.8 pav. matoma, jog eliminuojami NTKPAS, kurių greičio vektorius neatitinka, eismo juostos judėjimo krypties ir gretimi išmatuoti transporto priemonės NTKPAS turi būti toje pačioje eismo juostoje.



**6.9 pav.** Dviejų prasilenkiančių lengvųjų TP NTKPAS koordinatės ir atspindžio stiprumai (mėlynos spalvos NTKPAS eliminuojami NTKPAS, vienoda gretimų NTKPAS spalva rodo klasterį)

Iš 6.9 pav. matoma, jog kaip ir 6.8 pav. eliminuojami NTKPAS, kurie neatitiko eismo juostos krypties. Todėl TP suparametrizuojama tik toje juostoje, kurios eismo kryptis sutampa su taškų judėjimo vektoriumi. Parametrizavimo rezultatai pateikiami 6.5 lentelėje. Suskaičiuotas ilgio įvertis, pločio įvertis, aukščio įvertis, greitis, atsispindėjusio signalo stiprumas ir NTKPAS skaičius.

**6.5 lentelė.** TP parametrizavimo rezultatai naudojant greičio krypties, juostų skaičiaus ir atstumo „DBScan“ algoritmą

Transporto priemonė		Ilgio įvertis, m	Pločio įvertis, m	Aukščio įvertis, m	Greitis, m/s	Atspindėjusio signalo stiprumas, dB	NTKPAS skaičius
Lengvasis sunkvežimis		3.98	0.96	1.24	2.21	43.1	5
Dvi prasilenkiančios	Lengvoji TP	1.248	1.4	0.58	6.5	51.4	4
	Lengvoji TP	1.865	0.6	0.35	-5.24	50.5	5

Iš 6.5 lentelės matoma, jog transporto priemonės dydis ir NTKPAS skaičius yra mažesnis už visų kitų metodų. Kokią įtaką šie įvertinti parametrai turi TP klasifikavimui tiriama klasifikavimo skyriuje. Visi suparametrizuoti rezultatai pateikiami 3 priede.

## **7. Transporto priemonių klasifikavimas**

Šiame skyriuje TP yra klasifikuojamos į klases. Šios klasės yra aprašytos 1.2 poskyryje, jos yra lengvoji TP, furgonas, lengvasis sunkvežimis, sunkusis sunkvežimis, autobusas. TP klasifikavimui naudojami greičio vektoriaus krypties, maksimalaus greičio skirtumų, greičio vektoriaus krypties ir juostų skaičiaus algoritmų parametrai. Šie algoritmai pasirinkti, todėl nes atskiria prasilenkiančias TP, su sąlyga, jog gretimos juostos yra priešingų judėjimo krypčių. Šių algoritmų parametrai naudojami klasifikavimui. Šie parametrai yra ilgio įvertis, pločio įvertis, atspindėjusio signalo stiprumo, NTKPAS skaičiaus. TP klasifikavimui naudojamas atraminių verčių metodas. Šis metodas remiasi atraminės vertės radimu iki kurios TP priklauso tai klasei. TP klasės atraminė vertė ieškoma tokia, jog būtų gaunamas maksimalus klasifikavimo tikslumas. TP klasifikuojamos kai yra vienos matomumo lauke ir kai TP prasilenkia. Klasifikavimo tikslumas įvertinamas santykiu tarp tinkamai tai klasei priskirtų TP ir visų TP, kurios turi būti priskiriamos tai klasei. TP klasifikavimas tikslumas skaičiuojamas, kai transporto priemonės neskirstomos į artimesnes ir tolimesnes ir kai yra skirstomos. Artimesnės transporto priemonės yra tos, kurios važiuoja artimesne juosta milimetrinių bangų radarui, o tolimesnės tos kurios važiuoja tolimesne juosta milimetrinių bangų radaro atžvilgiu. Klasifikavimui tiriamos 62 TP (20- lengvųjų TP, 20- furgonų, 10- lengvųjų sunkvežimių, 6- sunkieji sunkvežimiai, 6- autobusai), kai jos yra vienos kelyje artimesnėje juostoje milimetrinių bangų radarui ir kai tolimesnėje juostoje. Taip pat tiriamos 27 poros prasilenkiančių TP.

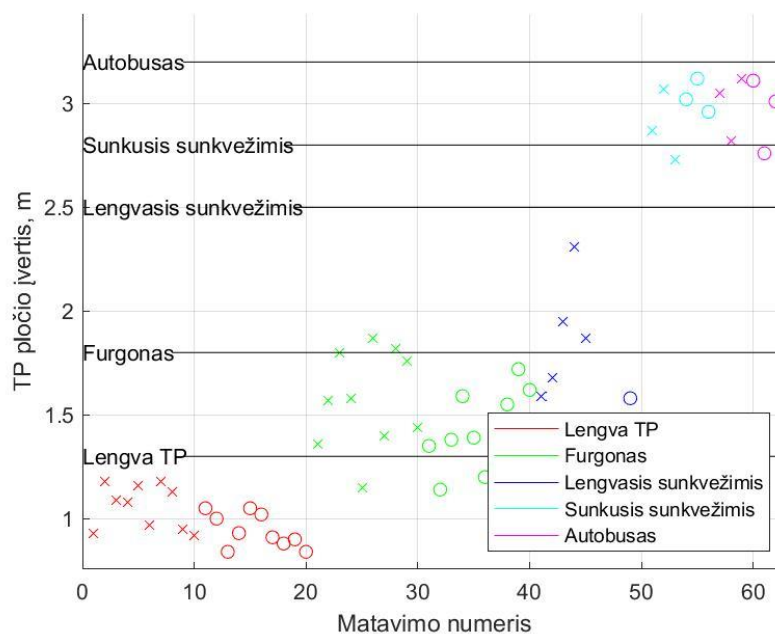
### **7.1. Klasifikavimas kai matymo lauke yra viena TP**

Šiame poskyryje analizuojama transporto priemonių klasifikavimo tikslumas naudojant ilgio įverčio, pločio įverčio, atspindėjusio signalo stiprumo, NTKPAS skaičiaus parametrus. Ieškoma parametras (iš prieš tai išvardintų), kurį naudojant klasifikavimo tikslumas yra didžiausias.

#### **7.1.1. Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus kryptį arba maksimalų greičio skirtumą**

Šioje dalyje TP klasifikavimui naudojamas greičio vektoriaus krypties ir maksimalaus greičio skirtumo algoritmai. Pateikiami šių abiejų algoritmų rezultatai, kadangi kai TP yra viena matomumo lauke, jie abu TP klasterizuos vienodai.

Pirmasis parametras pagal, kurį klasifikuojamos transporto priemonės yra jų pločio įvertis.



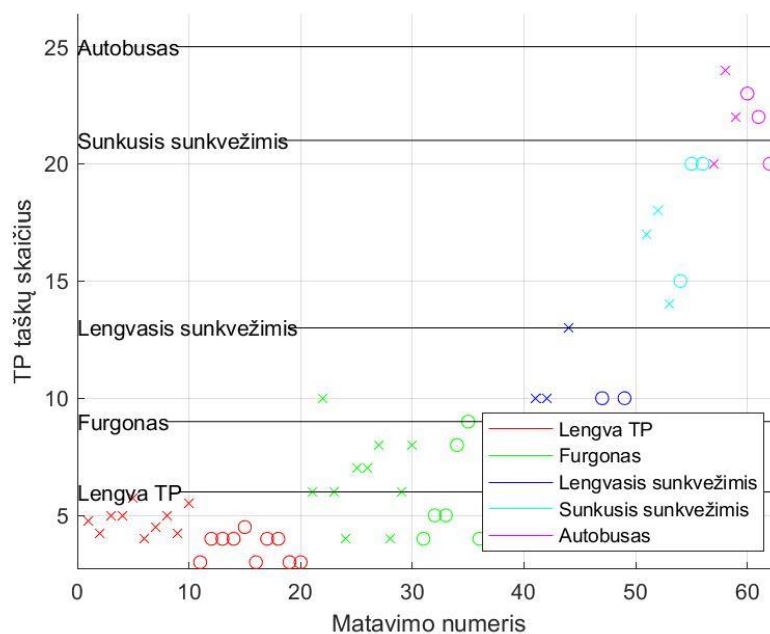
**7.1 pav.** Skirtingų transporto priemonių išmatuotos pločio vertės ir jų bendro klasifikavimo atraminės vertės („x“ simbolis– transporto priemonė važiavo artimesne juosta matavimo įrenginiui, „o“ simbolis– transporto priemonė važiavo tolimesne juosta matavimo įrenginiui)

7.1 pav. matoma, grafinis TP pločio įverčio išsibarstymas, o 7.1 lentelėje išsamūs klasifikavimo rezultatai.

**7.1 lentelė.** Greičio vektoriaus ar maksimalaus greičio skirtumo „DBScan“ algoritmo pločio įverčio klasifikavimo tikslumas

Parametras pagal kurį klasifikuojama	Transporto priemonė	Klasifikavimo tikslumas		
		Bendras	Artimesne juosta važiuojančių	Tolimesne juosta važiuojančių
TP pločio įvertis	Lengvoji	20/20	10/10	10/10
	Furgonas	16/20	8/10	8/10
	Lengvasis sunkvežimis	3/10	3/5	0/5
	Sunkusis sunkvežimis	3/6	1/3	0/3
	Autobusas	5/6	3/3	3/3

Iš 7.1 lentelės pastebima, jog lengvosios TP ir furgonai išsiskiria nuo kitų, tačiau kitų TP pločio įvertis yra panašus: sunkiųjų sunkvežimių ir autobusų, lengvųjų sunkvežimių ir furgonų. Tokias transporto priemones naudojant šį parametą išskirti yra neįmanoma. Sumažėjęs klasifikavimo tikslumas išskiriant tolimesnes TP rodo, jog TP tolėjant nuo matavimo įrenginio naudojant šio algoritmo pločio įvertį, TP mažiau išsiskiria viena nuo kitos nei kai jos yra arti.



**7.2 pav.** Skirtingų transporto priemonių išmatuotas NTKPAS skaičius vertės ir jų bendro klasifikavimo atraminės vertės („x“ simbolis– transporto priemonė važiavo artimesne juosta matavimo įrenginiui, „o“ simbolis– transporto priemonė važiavo tolimesne juosta matavimo įrenginiui)

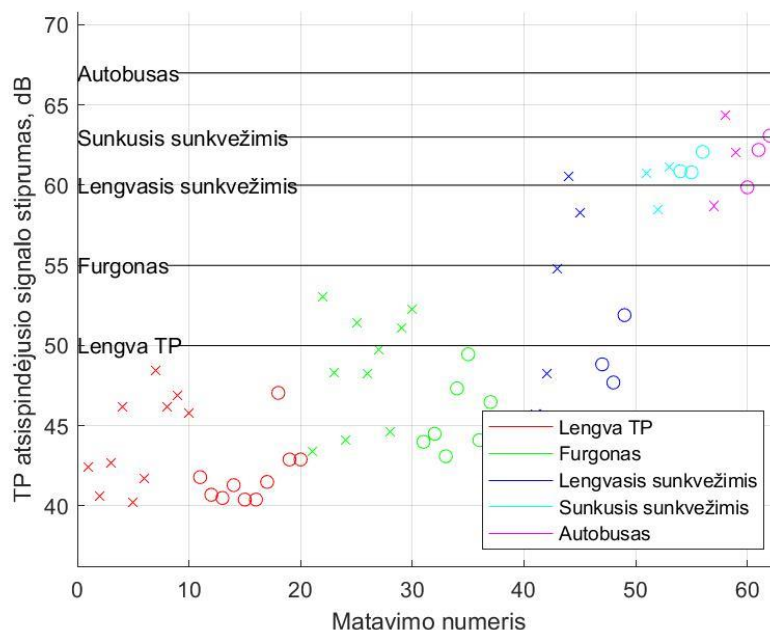
7.2 pav. matoma, grafinis TP NTKPAS skaičiaus išsibarstymas, o 7.2 lentelėje išsamūs klasifikavimo rezultatai.

**7.2 lentelė.** Greičio vektoriaus ar maksimalaus greičio skirtumo „DBScan“ algoritmo taškų skaičiaus parametru klasifikavimo tikslumas

Parametras pagal, kurį klasifikuojama	Transporto priemonė	Klasifikavimo tikslumą		
		Bendras	Artimesne juosta važiuojančių	Tolimesne juosta važiuojančių
TP taškų skaičius	Lengvoji	20/20	10/10	10/10
	Furgonas	6/20	4/10	2/10
	Lengvasis sunkvežimis	4/10	2/5	2/5
	Sunkusis sunkvežimis	6/6	3/3	3/3
	Autobusas	4/6	3/3	2/3

Iš 7.2 lentelės pastebima, jog naudojant šį algoritmą autobusai išsiskiria nuo sunkiųjų sunkvežimių. Šis požymis galėtų padėti išskirti autobusus nuo sunkiųjų sunkvežimių. Naudojant taškų skaičiaus parametru nebeatskiriamos lengvosios TP, furgonai ir lengvieji sunkvežimiai vieni nuo kitų.





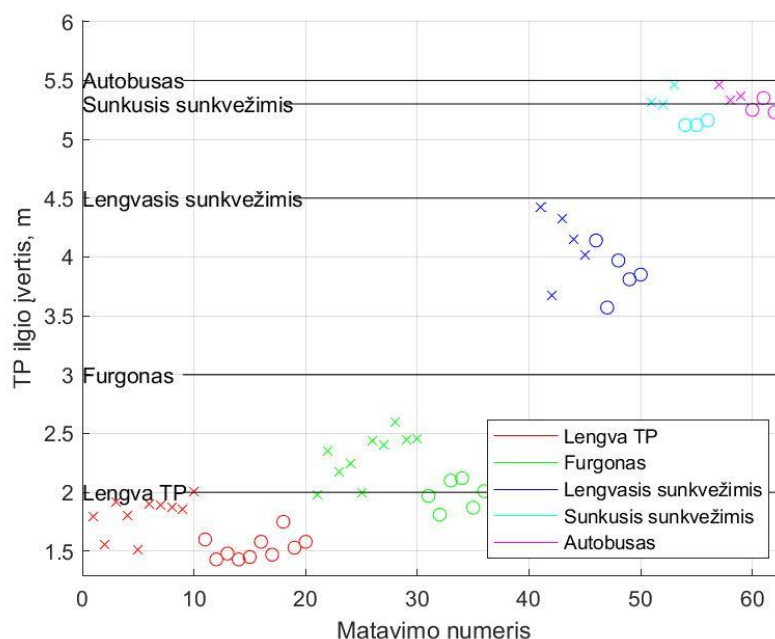
**7.3 pav.** Skirtingų transporto priemonių atsispindėjusio signalo stiprumai vertės ir jų bendro klasifikavimo atraminės vertės („x“ simbolis– transporto priemonė važiavo artimesne juosta matavimo įrenginiui, „o“ simbolis– transporto priemonė važiavo tolimesne juosta matavimo įrenginiui)

7.3 pav. matoma, grafinis TP atsispindėjusio signalo stiprumo išsibarstymas, o 7.3 lentelėje išsamūs klasifikavimo rezultatai.

**7.3 lentelė.** Greičio vektoriaus ar maksimalaus greičio skirtumo „DBScan“ algoritmo atsispindėjusio signalo stiprumo vidurkio parametro klasifikavimo tikslumas

Parametras pagal, kurį klasifikuojama	Transporto priemonė	Klasifikavimo tikslumas		
		Bendras	Artimesne juosta važiuojančių	Tolimesne juosta važiuojančių
TP atsispindėjusio signalo stiprumo vidurkis	Lengvoji	20/20	10/10	10/10
	Furgonas	4/20	4/10	1/10
	Lengvasis sunkvežimis	1/10	1/5	1/5
	Sunkusis sunkvežimis	5/6	2/3	3/3
	Autobusas	2/6	1/3	1/3

Iš 7.3 lentelės pastebima, jog klasifikuojant transporto priemones pagal atsispindėjusio signalo stiprumą yra ganėtinai sudėtinga, kadangi daugelio jų atsispindėjusio signalo stiprumas yra panašus.



**7.4 pav.** Skirtingų transporto priemonių ilgis vertės ir jų bendro klasifikavimo atraminės vertės („x“ simbolis– transporto priemonė važiavo artimesne juosta matavimo įrenginiui, „o“ simbolis– transporto priemonė važiavo tolimesne juosta matavimo įrenginiui)

7.4 pav. matoma, grafinis TP ilgio įverčio išsibarstymas, o 7.4 lentelėje išsamūs klasifikavimo rezultatai.

**7.4 lentelė.** Greičio vektoriaus ar maksimalaus greičio skirtumo „DBScan“ algoritmo ilgio įverčio klasifikavimo tikslumas

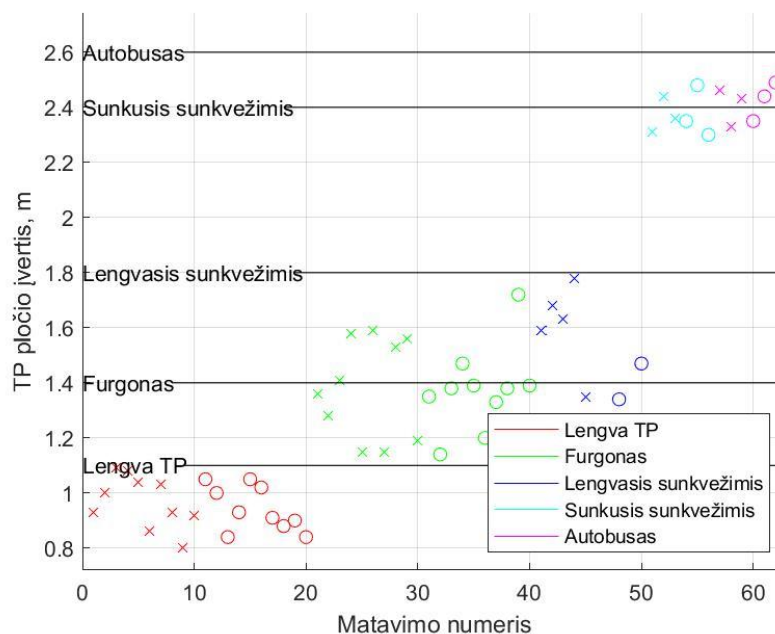
Parametras pagal kurį klasifikuojama	Transporto priemonė	Klasifikavimo tikslumas		
		Bendras	Artimesne juosta važiuojančių	Tolimesne juosta važiuojančių
TP ilgio įvertis	Lengvoji	16/20	9/10	10/10
	Furgonas	15/20	9/10	10/10
	Lengvasis sunkvežimis	10/10	5/5	5/5
	Sunkusis sunkvežimis	4/6	1/3	3/3
	Autobusas	4/6	3/3	1/3

Iš 7.4 lentelės pastebima, jog naudojant šių algoritmų ilgio įverčio parametą gaunami geriausi rezultatai, tačiau neišskiriami autobusai nuo sunkiųjų sunkvežimių. Šių dviejų TP ilgio įverčiai yra ganėtinai panašūs ir juos išskirti yra labai sunku.

Lyginant 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 lenteles matoma, jog geriausias klasifikavimo tikslumas gaunamas naudojant ilgio įverčio parametą, tačiau jį reikia išskirti į artimesnes ir tolimesnes, tada jis dar pagerinamas. Naudojant ilgio parametą tinkamai klasifikuojamos visos TP išskyros sunkiuosius sunkvežimius ir autobusus, tačiau naudojant NTKPAS taškų parametą šios TP yra išskiriamos teisingai.

### 7.1.2. Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus kryptį ir juostų skaičių

Šiame skirsnyje naudojami greičio vektoriaus krypties ir juostų skaičiaus klasterizavimo algoritmo parametrai. Kaip ir praeitame klasifikavimo skirsnyje pirmasis parametras pagal, kurį klasifikuojamos TP yra pločio įvertis.



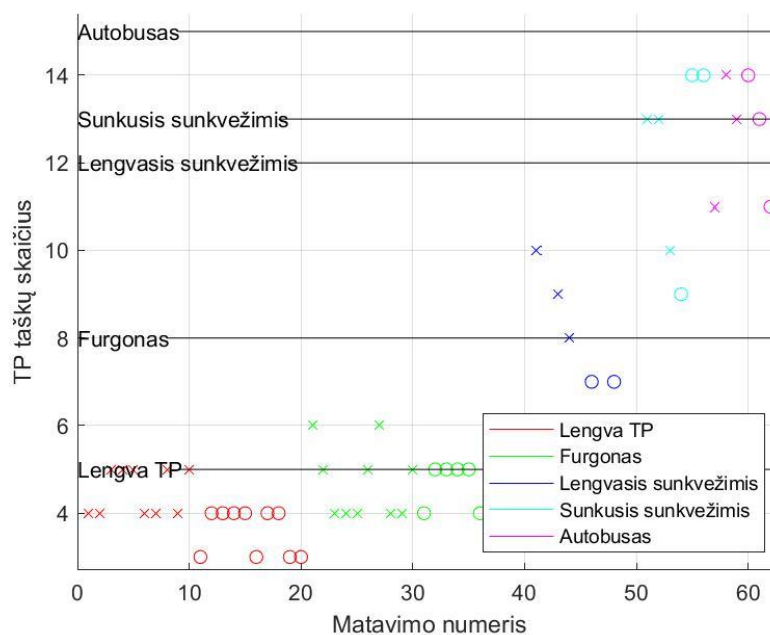
**7.5 pav.** Skirtingų transporto priemonių išmatuotos pločio vertės ir jų bendro klasifikavimo atraminės vertės („x“ simbolis– transporto priemonė važiavo artimesne juosta matavimo įrenginiui, „o“ simbolis– transporto priemonė važiavo tolimesne juosta matavimo įrenginiui)

7.5 pav. matoma, grafinis TP pločio įverčio išsibarstymas, o 7.5 lentelėje išsamūs klasifikavimo rezultatai.

**7.5 lentelė.** Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus ir juostų skaičiaus „DBScan“ algoritmo pločio įverčio klasifikavimo tikslumas

Parametras pagal, kurį klasifikuojama	Transporto priemonė	Klasifikavimo tikslumas		
		Bendras	Artimesne juosta važiuojančių	Tolimesne juosta važiuojančių
TP pločio įvertis	Lengvoji	20/20	10/10	10/10
	Furgonas	13/20	10/10	8/10
	Lengvasis sunkvežimis	5/10	3/5	1/5
	Sunkusis sunkvežimis	4/6	2/3	2/3
	Autobusas	4/6	2/3	2/3

Iš 7.5 lentelės pastebima, jog nesunku išskirti lengvas TP nuo kitų, tačiau furgonų ir lengvųjų sunkvežimių įvertinti pločiai yra panašaus dydžio ir to padaryti neįmanoma, taip pat autobusų ir sunkiųjų sunkvežimių pločio įvertis yra beveik vienodas. Naudodami plotį galime atskirti tik lengvasias TP nuo furgonų ir lengvųjų sunkvežimių, o šiuos nesunkiai nuo autobusų ir sunkiųjų sunkvežimių.



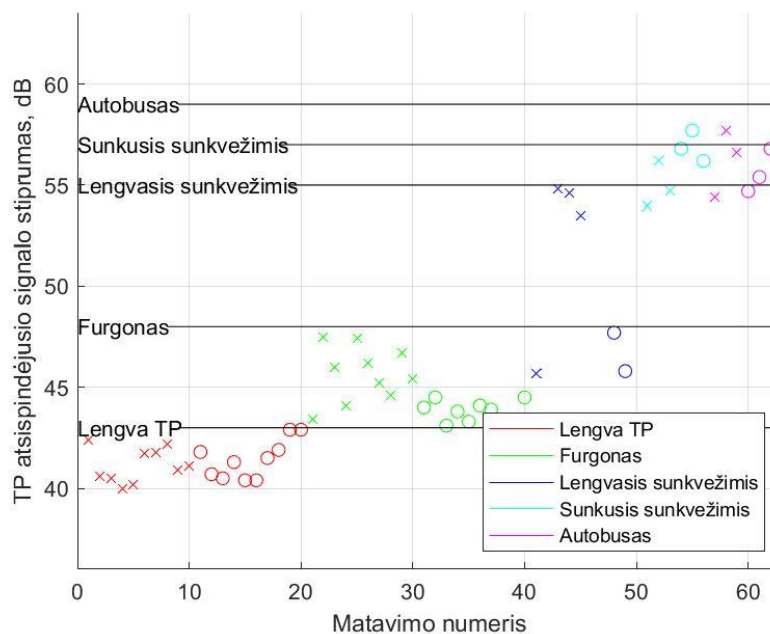
**7.6 pav.** Skirtingų transporto priemonių išmatuotas NTKPAS skaičius vertės ir jų bendro klasifikavimo atraminės vertės („x“ simbolis– transporto priemonė važiavo artimesne juosta matavimo įrenginiui, „o“ simbolis– transporto priemonė važiavo tolimesne juosta matavimo įrenginiui)

7.6 pav. matoma, grafinis TP NTKPAS skaičiaus išsibarstymas, o 7.6 lentelėje išsamūs klasifikavimo rezultatai.

**7.6 lentelė.** Klasifikavimas pagal greičio vektorius ir juostų skaičiaus „DBScan“ algoritmo taškų skaičiaus parametro klasifikavimo tikslumas

Parametras pagal, kurį klasifikuojama	Transporto priemonė	Klasifikavimo tikslumas		
		Bendras	Artimesne juosta važiuojančių	Tolimesne juosta važiuojančių
TP taškų skaičius	Lengvoji	15/20	5/10	4/10
	Furgonas	2/20	2/10	5/10
	Lengvasis sunkvežimis	2/10	2/5	2/5
	Sunkusis sunkvežimis	0/6	0/3	0/3
	Autobusas	2/6	1/3	1/3

Iš 7.6 lentelės pastebima, jog klasifikuojant TP pagal NTKPAS skaičių yra labai sudėtinga, kadangi nėra aiškaus NTKPAS skaičiaus padidėjimo arba sumažėjimo tarp transporto priemonių. Visos transporto priemonių klasės klasifikuojamos prastai nėra klasės, kurios klasifikavimo tikslumas būtų daugiau negu pusė.



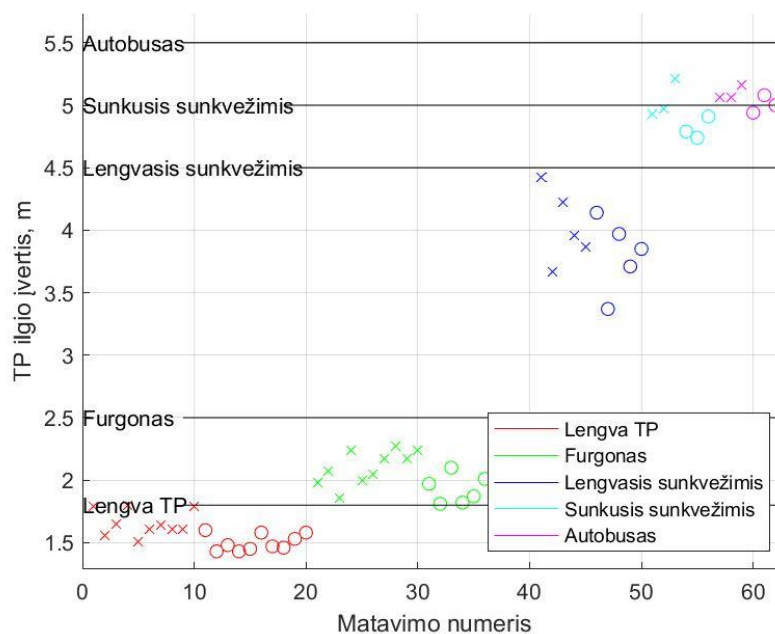
**7.7 pav.** Skirtingų transporto priemonių atspindėjusio signalo stiprumai vertės ir jų bendro klasifikavimo atraminės vertės („x“ simbolis– transporto priemonė važiavo artimesne juosta matavimo įrenginiui, „o“ simbolis– transporto priemonė važiavo tolimesne juosta matavimo įrenginiui)

7.7 pav. matoma, grafinis TP atspindėjusio signalo stiprumo išsibarstymas, o 7.7 lentelėje išsamūs klasifikavimo rezultatai.

**7.7 lentelė.** Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus ir juostų skaičiaus „DBScan“ algoritmo atspindėjusio signalo stiprumo vidurkio parametro klasifikavimo tikslumas

Parametras pagal, kurį klasifikuojama	Transporto priemonė	Klasifikavimo tikslumas		
		Bendras	Artimesne juosta važiuojančių	Tolimesne juosta važiuojančių
TP atspindėjusio signalo stiprumo vidurkis	Lengvoji	20/20	10/10	10/10
	Furgonas	18/20	10/10	8/10
	Lengvasis sunkvežimis	3/10	3/5	2/5
	Sunkusis sunkvežimis	3/6	1/3	2/3
	Autobusas	1/6	1/3	0/3

Iš 7.7 lentelės pastebima, jog lengvosios TP, išsiskiria nuo furgonų, tačiau furgonus nuo lengvųjų sunkvežimių ir autobusus nuo sunkiųjų sunkvežimių atskirti yra ganėtinai sudėtinga.



**7.8 pav.** Skirtingų transporto priemonių ilgis vertės ir jų bendro klasifikavimo atraminės vertės („x“ simbolis– transporto priemonė važiavo artimesne juosta matavimo įrenginiui, „o“ simbolis– transporto priemonė važiavo tolimesne juosta matavimo įrenginiui)

7.8 pav. matoma, grafinis TP atsispindėjusio signalo stiprumo išsibarstymas, o 7.8 lentelėje išsamūs klasifikavimo rezultatai.

**7.8 lentelė.** Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus ir juostų skaičiaus „DBScan“ algoritmo ilgio įverčio klasifikavimo tikslumas

Parametras pagal, kurį klasifikuojama	Transporto priemonė	Klasifikavimo tikslumas		
		Bendras	Artimesne juosta važiuojančių	Tolimesne juosta važiuojančių
TP ilgio įvertis	Lengvoji	19/20	10/10	10/10
	Furgonas	20/20	10/10	10/10
	Lengvasis sunkvežimis	10/10	5/5	5/5
	Sunkusis sunkvežimis	5/6	1/3	3/3
	Autobusas	4/6	3/3	1/3

Iš 7.8 lentelės pastebima, jog TP išskyrimo ribos naudojant ilgio parametą yra ganėtinai ryškios. Išskyrus sunkiųjų sunkvežimių ir autobusų, šios TP neišsiskiria.

Lyginant 7.5, 7.6, 7.7, 7.8 lenteles matoma, jog geriausias klasifikavimo tikslumas gaunamas naudojant ilgio įverčio parametą, kaip ir praeituose algoritmuose. Naudojant greičio vektoriaus ir juostų skaičiaus „DBScan“ algoritmo parametrus negalime išskirti autobusų nuo sunkiųjų sunkvežimių nors ir naudojant ilgio įverčio parametą suklasifikuojamos beveik visos TP teisingai.

### 7.1.3. Klasifikavimo algoritmų tikslumo palyginimas

Šioje dalyje yra lyginama visų klasifikavimo algoritmų tikslumas. Lyginamas tik tas parametras, kurį naudojant TP klasifikavimo tikslumas didžiausias. Iš 7.1.1, 7.1.2 dalių lentelių pamatyta, jog naudojant ilgio įverčio parametą gautas didžiausias klasifikavimo tikslumas, todėl ir lyginame tik šio parametro klasifikavimo tikslumą.

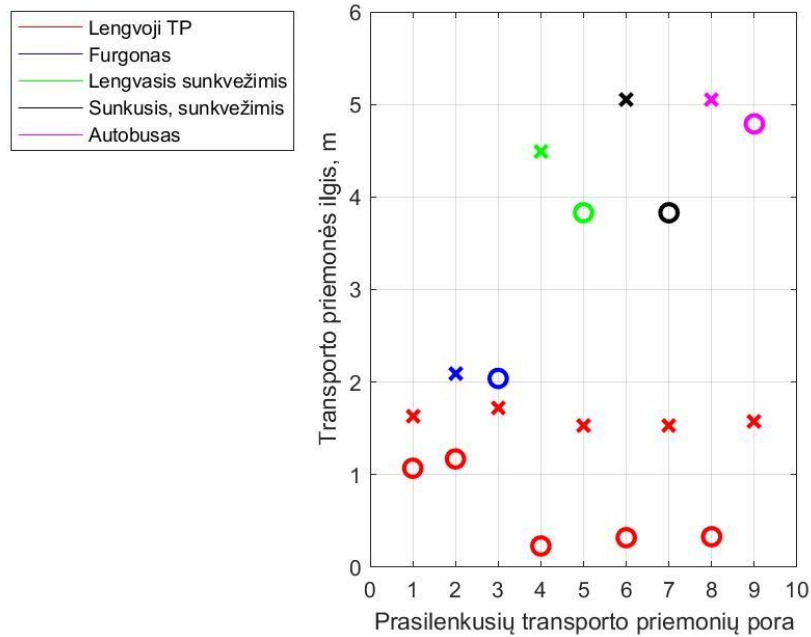
**7.9 lentelė.** TP klasifikavimo ilgio įverčio palyginimas, kai TP yra viena kelyje naudojant „DBScan“ algoritmų parametrus

Klasterizavimo algoritmas	TP	Klasifikavimo tikslumas		
		Bendras	Artimesne juosta važiuojančių	Tolimesne juosta važiuojančių
Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus ar maksimalaus greičio skirtumo algoritmą	Lengvoji	16/20	9/10	10/10
	Furgonas	15/20	9/10	10/10
	Lengvasis sunkvežimis	10/10	5/5	5/5
	Sunkusis sunkvežimis	4/6	1/3	3/3
	Autobusas	4/6	3/3	1/3
Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus ir juostų skaičiaus algoritmą	Lengvoji	19/20	10/10	10/10
	Furgonas	20/20	10/10	10/10
	Lengvasis sunkvežimis	10/10	5/5	5/5
	Sunkusis sunkvežimis	5/6	1/3	3/3
	Autobusas	4/6	3/3	1/3

Iš 7.9 lentelės matoma, jog geriausias klasifikavimo tikslumas pasiekiamas algoritmo, kuris TP parametrizuoja pagal greičio krypties vektorių ir kelio juostų skaičių, tačiau greičio vektoriaus ar maksimalaus greičio skirtumo algoritmai atsilieka nedaug keliomis blogai suklasifikuotomis TP (lengvoji TP ir furgonas). Greičio krypties vektorių ir kelio juostų skaičiaus algoritmas negali atskirti autobusų, nuo sunkiųjų sunkvežimių. Šias transporto priemones atskiria „DBScan“ greičio vektoriaus krypties ar maksimalaus greičio skirtumo tarp gretimų NTKPAS algoritmo NTKPAS skaičiaus parametras. Kadangi autobuso didelį paviršiaus plotą užima langai, pro kuriuos aukštadažnis signalas prasklinda be atspindžio ir tada viduje atsispindėjęs nuo įvairių objektų grįžta atgal į milimetrinių bangų radarą. Šie atspindžiai dažnių ašyje yra dantuoti ir ant kiekvieno dantelio randamas NTKPAS. O sunkiųjų sunkvežimių didžioji dalis ploto yra metalas ir nuo jo atsispindėjęs signalui dažnio ašyje jis yra lygesnis dėl to gaunama mažiau taškų. Todėl naudodami šio algoritmo NTKPAS parametą galėtume išskirti sunkiuosius sunkvežimius nuo autobusų.

### 7.2. Klasifikavimas kai dvi TP yra matymo lauke

Šiame poskyryje algoritmai bandomi esant nebe vienai, o prasilenkiančioms TP matomumo lauke. Iš 7.9 lentelės matoma, jog didžiausias klasifikavimo tikslumas pasiekiamas naudojant TP ilgį, todėl šioje dalyje tik šis parametras ir tiriamas. Naudojami duomenys transporto priemonių identifikavimo tikslumui yra 1, 2, 3 prieduose. 7.9 pav. pateikta dalis prasilenkusių TP porų ilgio parametru duomenų, šios TP milimetrinių bangų radaro matomumo lauke buvo tuo pačiu metu.



**7.9 pav.** Skirtingų transporto priemonių ilgis joms prasilenkiant („x“ simbolis– transporto priemonė važiavo artimesne juosta matavimo įrenginiui, „o“ simbolis– transporto priemonė važiavo tolimesne juosta matavimo įrenginiui)

Iš 7.9 pav. 4, 6, 8 prasilenkusių TP poroje matoma, jog sunkiosios TP užstoja lengvasias. Sunkiajai važiuojant artimesne juosta, o lengvajai tolimesne, lengvoji TP yra užstojama ir jos ilgio parametras sumažėja iki 5 kartų. Kai lengvoji TP yra užstojama jos tinkamai neįmanoma suklasifikuoti. O lengvosios TP ir furgonai vienas kito neužstoja ir jos abi išsiskiria. Dėl aprašytų priežasčių vertinant TP klasifikavimo tikslumą įvertinama, jog lengvasias TP ir furgonus visada turi tinkamai klasifikuoti (lengvųjų TP parametrizavimo pavyzdys 6.2 pav., pastebima, jog TP neužstoja viena kitos), o kai artimesnėje juostoje važiuoja sunkioji TP, tolimesnės juostos TP neklasifikuojame.



7.10 lentelė. TP klasifikavimo palyginimas, kai TP yra kelios matomumo lauke

Klasterizavimo algoritmas	TP	Bendras	Artimesne juosta važiujančių	Tolimesne juosta važiujančių
<b>Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus kryptį</b>	Lengvoji	30/31	19/19	12/12
	Furgonas	3/5	1/3	2/2
	Lengvasis sunkvežimis	4/5	3/3	1/2
	Sunkusis sunkvežimis	0/3	0/2	0/1
	Autobusas	2/4	1/2	1/2
<b>Klasifikavimas pagal maksimalų greičio skirtumą</b>	Lengvoji	29/31	17/19	12/12
	Furgonas	4/5	1/3	2/2
	Lengvasis sunkvežimis	5/5	3/3	2/2
	Sunkusis sunkvežimis	3/3	2/2	1/1
	Autobusas	0/4	0/2	0/2
<b>Klasifikavimas pagal greičio vektoriaus kryptį ir kelio juostų</b>	Lengvoji	31/31	19/19	12/12
	Furgonas	5/5	3/3	2/2
	Lengvasis sunkvežimis	5/5	3/3	2/2
	Sunkusis sunkvežimis	1/3	0/2	0/1
	Autobusas	1/4	1/2	1/2

Iš 7.10 lentelės matoma, jog geriausias klasifikavimo tikslumas gaunamas naudojant greičio vektoriaus ir kelio juostų algoritmą. Nors visi algoritmai pasiekia aukštą klasifikavimo tikslumą, klasifikuojant lengvasias TP, furgonus, lengvuosius sunkvežimius, tačiau autobusai ir sunkieji sunkvežimiai išskiriami prasčiau. Algoritmas, kuris klasifikuoja transporto priemones tiksliausiai, kai matomumo lauke yra viena transporto priemonė, klasifikuoja tiksliausiai ir kai yra kelios TP. Dėl to galime daryti išvadą, jog kelios TP matomumo lauke nesuprastina klasifikavimo tikslumo. TP klasifikavimo tikslumo prasilenkiančios TP nesuprastino, tačiau važiuojant sunkiajai transporto priemonei ji užstoja tolimesne juosta važiujančią TP. Todėl antroji TP būtų nesuklasifikuota ir tai įneša papildomų netikslumų į TP srauto skaičiavimus. Šiai problemai pateikiamas sprendimo būdas – kiekvienai kelio juostai naudoti po vieną milimetrinių bangų radarą, jog neliktų aklujų zonų. Taip neliktų vietų, kurių milimetrinių bangų radaras negalėtų detektuoti ir TP srauto įvertinimo tikslumas padidėtų.

## Išvados

1. Transporto priemonių detektavimui ir klasifikavimui plačiai naudojami neinvaziniai jutikliai tokie kaip, ultragarsiniai, skrydžio laiko jutikliai, milimetrinių bangų radarai, kameros ir termovizoriaus junginiai. Milimetrinių bangų radaro išmatuojami parametrai mažiausiai priklauso nuo aplinkos veiksnių. Milimetrinių bangų radaro pagrindinis matuojamas parametras yra transporto priemonės gabaritai dėl to transporto priemonės išskirstytos į 5 klases pagal gabaritus (lengvoji TP, furgonas, lengvasis ir sunkusis sunkvežimis, autobusas).
2. Iš nuo TP atsispindėjusio signalo išskaičiuotos koordinatės naudojamos klasterizavimo ir parametrizavimo algoritmams. Sukurti trys specializuoti „DBScan“ algoritmai: maksimalaus greičio skirtumo tarp gretimų NTKPAS, greičio vektoriaus kryptių, greičio vektoriaus krypties ir kelio juostų skaičiaus. Visi šie algoritmai naudoja greičio parametą, jog būtų galima išskirti dvi prasilenkiančias transporto priemones.
3. Pradinėje duomenų analizėje nustatyta, jog TP esant iki 5 m matavimo įrenginiui išmatuoti NTKPAS yra labai triukšmingi. Dėl šios priežasties sukurtas netinkamai išmatuotų NTKPAS eliminavimo algoritmas naudojant aukščio standartinę nuokrypį. Šiuos NTKPAS eliminavus klasifikavimo tikslumas padidinamas iki 43%.
4. Išanalizuoti „DBScan“ algoritmų įėjimo parametų vertės maksimalaus atstumo ir maksimalaus greičio skirtumai tarp gretimų NTKPAS. Maksimalus atstumas tarp gretimų NTKPAS eksperimentiškai ištirtas, klasterizuojant transporto priemones standartiniu „DBScan“ algoritmu ir empiriškai nustatyta jo vertė yra 1.8 m. Maksimalus greičio skirtumas parinktas eksperimentiškai, naudojant greičio skirtumų „DBScan“ algoritmą, nustatyta jo vertė 3 m/s.
5. Klasifikuojant TP, kai radaro matymo lauke yra viena TP, gauta, jog tinkamiausias klasifikavimo parametras yra TP ilgio įvertis. Klasifikuojant transporto priemones naudojant maksimalaus greičio skirtumų arba greičio vektoriaus krypties algoritmų ilgio parametą gaunamas 79%, kai jos klasifikuojamos bendrai, o kai išskirstomos į artimesnes ir tolimesnes gaunamas atitinkamai 87% ir 93% tikslumas. Klasifikuojant TP pagal greičio vektoriaus kryptį ir juostų skaičių gaunamas didesnis klasifikavimo tikslumas 93%, kai TP neišskirstytos, o kai išskiriamos į artimesnes ir tolimesnes – 93% ir 93%.
6. Klasifikuojant prasilenkiančias TP gauta, jog klasifikavimo tikslumas naudojant, bet kurį algoritmą suprastėjo iki 4% lyginant kai TP yra viena matomumo lauke. Didžiausias klasifikavimo tikslumas gaunamas naudojant greičio vektoriaus ir juostų skaičiaus algoritmą kai, TP nėra išskiriamos – 93%, o kai išskiriamos į artimesnes ir tolimesnes – 89%, 89%. Nors gauti pakankamai aukšti klasifikavimo tikslumai, tačiau sunkiosios TP gali užstoti lengvasias ir taip jos būtų netinkamai suklasifikuojamos. Šiai problemai spręsti pateiktas sprendimas kiekvienai kelio juostai naudoti po vieną milimetrinių bangų radarą, kad neliktų aklujų zonų.
7. Tiksliausiai suklasifikuoja TP į klases greičio vektoriaus krypties ir juostų skaičiaus algoritmo ilgio įverčio parametras, tačiau sunkieji sunkvežimiai neatskiriami nuo autobusų. Šios TP klasės išskiriamos tik naudojant maksimalaus greičio skirtumų arba greičio vektoriaus krypties algoritmų NTKPAS taškų skaičiaus parametą.

## Literatūros sąrašas

- [1] M. M. Speed, “TI ’ s proximity sensing technology environments,” 2019.
- [2] Office of Highway Policy Information, “A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies use in Intelligent Transportation Systems,” 2000. Prieiga internetu: <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/pubs/vdstits2007/vdstits2007.pdf>. Žiūrėta: 2021-01-16
- [3] Y. Jo, J. Choi, and I. Jung, “Traffic information acquisition system with ultrasonic sensors in wireless sensor networks,” *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 2014, 2014, Prieiga internetu: 10.1155/2014/961073. Žiūrėta: 2021-01-16
- [4] Yida, “What is a Time of Flight Sensor and How does a ToF Sensor work?,” *Seedstudio.com*, 2020, . Prieiga internetu: <https://www.seedstudio.com/blog/2020/01/08/what-is-a-time-of-flight-sensor-and-how-does-a-tof-sensor-work/>. Žiūrėta: 2021-01-16
- [5] C. Iovescu and S. Rao, “The fundamentals of millimeter wave sensors,” *Texas Instruments*, pp. 1–8, 2017, . Prieiga internetu: [https://www.ti.com/lit/wp/spyy005a/spyy005a.pdf?ts=1605604998269&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/wp/spyy005a/spyy005a.pdf?ts=1605604998269&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F). Žiūrėta: 2021-01-16
- [6] A. Newman, “Intelligent transportation,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 26, no. 10, pp. 1896–1898, 1992, Prieiga internetu: 10.1007/978-981-15-7695-9\_9. Žiūrėta: 2021-01-16
- [7] “Road vehicles - Types - Terms and definitions (ISO 3833-1977),” *International standards*. 1977. Žiūrėta: 2021-01-16
- [8] S. Singh and S. M. Santhakumar, “Platoon-Based Impact Assessment of Heavy-Duty Vehicles on Traffic Stream Characteristics of Highway Lanes Under Mixed Traffic Environment,” *Int. J. Intell. Transp. Syst. Res.*, vol. 20, no. 1, pp. 29–45, 2022, Prieiga internetu: 10.1007/s13177-021-00268-z. Žiūrėta: 2021-01-16
- [9] I. Urazghildiiev *et al.*, “Vehicle classification based on the radar measurement of height profiles,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 8, no. 2, pp. 245–253, 2007, 10.1109/TITS.2006.89007: 10.1109/TITS.2006.890071. Žiūrėta: 2021-01-16
- [10] E. A. Costa and R. B. Chadwick, “Signal processing and range spreading in the FM-CW radar,” *NOAA Tech. Rep.*, no. May, 1984. Žiūrėta: 2021-01-16
- [11] Josefine-Clouth-Straße, “Frequency-Modulated Continuous-Wave Radar (FMCW Radar),” . Prieiga internetu: [https://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency Modulated Continuous Wave Radar.en.html](https://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency%20Modulated%20Continuous%20Wave%20Radar.en.html). Žiūrėta: 2021-01-16
- [12] Texas instruments, “MIMO Radar,” . Prieiga internetu: <http://www.ti.com/lit/an/swra554a/swra554a.pdf?ts=1588059821223>.
- [13] Y. Kleinman and I. Korn-Lubetzki, “Understanding FFT and windowing,” *Stroke*, vol. 28, no. 7, p. 1467, 1997. Žiūrėta: 2021-01-16
- [14] Massimo FranconeDaniele DomenicaliMaria-Gabriella Di BenedettoMaria-Gabriella Di Benedetto, “Time-varying interference spectral analysis for Cognitive UWB networks,” . Prieiga internetu: [https://www.researchgate.net/publication/224697167\\_Time-varying\\_interference\\_spectral\\_analysis\\_for\\_Cognitive\\_UWB\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/224697167_Time-varying_interference_spectral_analysis_for_Cognitive_UWB_networks). Žiūrėta: 2021-01-16
- [15] E. Rimkus, “Algoritmų intelektualaus programinio agento būsenai atpažinti tyrimas,” 2006. Žiūrėta: 2021-01-16
- [16] N. Viswarupan, “K-Means Data Clustering,” 2017, . Prieiga internetu: <https://towardsdatascience.com/k-means-data-clustering-bce3335d2203>. Žiūrėta: 2021-01-16
- [17] D. Dey, “DBSCAN Clustering in ML | Density based clustering,” 2019, . Prieiga internetu: <https://www.geeksforgeeks.org/dbscan-clustering-in-ml-density-based-clustering/>. Žiūrėta: 2021-01-16
- [18] Tianxiao, “DBSCAN,” 2015, . Prieiga internetu: <https://se.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/53842-dbscan>. Žiūrėta: 2021-01-16

## Priedai

### 1 priedas. Klasterizavimo pagal greičių skirtumus rezultatai

TP tipas	TP pora	TP atstumas matavimo prietaiso atžvilgiu	TP ilgis, m	TP plotis, m	TP aukštis, m	TP atsispindėjusio signalo stiprumas, dB	TP taškai
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.06	1.07	0.84	42.4	6
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.56	1.14	1.4	40.6	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.65	1.28	0.86	42.7	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.24	1.08	0.97	46.19	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.74	1.04	1.37	40.2	7
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.82	1.04	1.06	41.7	4
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.64	1.16	0.97	48.42	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.07	0.93	1.39	46.17	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.04	0.94	1.52	46.87	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.79	0.92	1.4	45.81	6
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.6	1.05	1.05	41.8	3
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.43	1	0.92	40.7	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.48	0.84	1.07	40.5	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.43	0.93	0.91	41.3	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.45	1.05	0.99	40.4	5
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.58	1.02	0.87	40.4	3
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.47	0.91	1.06	41.5	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.73	0.88	1.06	47.05	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.53	0.9	1.38	42.9	3
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.58	0.84	1	42.9	3
Furgonas	0	Artimesnis	1.98	1.36	2.19	43.4	6
Furgonas	0	Artimesnis	2.52	1.76	2.51	53.05	10
Furgonas	0	Artimesnis	2.29	1.84	1.61	48.31	6
Furgonas	0	Artimesnis	2.24	1.58	1.96	44.1	4
Furgonas	0	Artimesnis	2.51	1.62	2.7	51.39	7
Furgonas	0	Artimesnis	2.57	2.12	2.65	48.28	7
Furgonas	0	Artimesnis	2.63	1.62	2.34	49.72	8
Furgonas	0	Artimesnis	2.27	1.53	1.65	44.6	4
Furgonas	0	Artimesnis	2.65	2.04	2.71	51.1	6

Furgonas	0	Artimesnis	2.77	1.76	1.94	52.27	8
Furgonas	0	Tolimesnis	1.97	1.35	2.16	44	4
Furgonas	0	Tolimesnis	1.81	1.14	2.09	44.5	5
Furgonas	0	Tolimesnis	2.1	1.38	1.36	43.1	5
Furgonas	0	Tolimesnis	2.05	1.87	1.55	47.33	8
Furgonas	0	Tolimesnis	2.24	1.64	2.4	49.46	9
Furgonas	0	Tolimesnis	2.01	1.2	1.89	44.1	4
Furgonas	0	Tolimesnis	2.21	1.68	2.39	46.48	7
Furgonas	0	Tolimesnis	2.07	1.38	1.28	42.7	4
Furgonas	0	Tolimesnis	2	1.72	1.44	42.7	4
Furgonas	0	Tolimesnis	1.95	1.39	1.76	44.5	5
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.42	1.59	1.31	45.7	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	3.92	2.36	2.11	48.27	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.22	1.63	2.55	54.8	9
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.23	2.59	2.02	60.54	13
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.07	2.44	2.94	58.27	8
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	4.14	0.9	2.27	40.2	7
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.63	1.48	2.29	48.83	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.97	1.34	1.73	47.7	7
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.99	1.91	1.99	51.9	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.85	1.47	1.47	42.1	6
Sunkusis sunkvežimis	0	Artimesnis	5.52	3.2	3.38	60.76	17
Sunkusis sunkvežimis	0	Artimesnis	5.38	3.64	3.47	58.48	18
Sunkusis sunkvežimis	0	Artimesnis	5.74	3.16	3.18	61.16	14
Sunkusis sunkvežimis	0	Tolimesnis	5.26	3.35	3.56	60.87	15
Sunkusis sunkvežimis	0	Tolimesnis	5.32	3.37	3.08	60.8	20
Sunkusis sunkvežimis	0	Tolimesnis	5.49	3.26	2.33	62.08	20
Autobusas	0	Artimesnis	5.58	3.63	2.5	58.72	20
Autobusas	0	Artimesnis	5.6	3.31	3.46	64.37	24
Autobusas	0	Artimesnis	5.57	3.47	3.02	62.01	22
Autobusas	0	Tolimesnis	5.4	3.3	2.99	59.87	23
Autobusas	0	Tolimesnis	5.51	3.38	3.45	62.2	22
Autobusas	0	Tolimesnis	5.46	3.38	3.55	63.09	20
Lengvoji TP	1	Artimesnis	1.51	0.87	1.14	54.1	4

Lengvoji TP	2	Artimesnis	1.62	1.05	1.04	56.8	3
Lengvoji TP	3	Artimesnis	1.58	1.24	1.07	55.6	4
Lengvoji TP	4	Artimesnis	1.45	1.26	1.19	51.9	4
Lengvoji TP	5	Artimesnis	1.58	1.29	1.26	52.7	3
Lengvoji TP	6	Artimesnis	1.54	1.32	1.38	54.6	5
Lengvoji TP	7	Artimesnis	1.55	1.2	1.55	57.8	4
Lengvoji TP	8	Artimesnis	1.72	1.14	1.34	54.2	4
Lengvoji TP	9	Artimesnis	1.39	1.1	1.48	54.8	3
Lengvoji TP	10	Artimesnis	1.48	1.05	1.23	54.6	4
Lengvoji TP	1	Tolimesnis	1.07	0.6	0.76	109	3
Lengvoji TP	2	Tolimesnis	1.06	0.6	0.63	53.6	4
Lengvoji TP	3	Tolimesnis	1.13	0.68	0.71	55.3	3
Lengvoji TP	4	Tolimesnis	1.18	0.55	0.69	54	4
Lengvoji TP	5	Tolimesnis	1.1	0.7	0.85	52.1	4
Lengvoji TP	6	Tolimesnis	1	0.79	0.64	54.3	2
Lengvoji TP	7	Tolimesnis	1.15	0.84	0.82	53.5	3
Lengvoji TP	8	Tolimesnis	1.04	0.68	0.64	53	4
Lengvoji TP	9	Tolimesnis	1.03	0.71	0.8	52.9	3
Lengvoji TP	10	Tolimesnis	1.08	0.66	0.95	54.2	2
Furgonas	11	Artimesnis	1.97	1.21	1.98	46.2	4
Furgonas	12	Artimesnis	1.92	1.1	2.11	42.6	3
Furgonas	13	Artimesnis	1.73	1.33	2.23	45.4	4
Furgonas	14	Tolimesnis	2.07	0.93	1.35	42.8	2
Furgonas	15	Tolimesnis	1.85	1.29	2.04	45.4	3
Lengvoji TP	11	Tolimesnis	1.05	0.92	0.88	43.1	3
Lengvoji TP	12	Tolimesnis	1.08	0.68	0.9	43.1	2
Lengvoji TP	13	Artimesnis	1.55	0.72	1.26	42.1	4
Lengvoji TP	14	Artimesnis	1.66	0.97	0.9	48.6	5
Lengvoji TP	15	Artimesnis	1.47	0.96	0.61	46.4	5
Lengvasis sunkvežimis	16	Artimesnis	4.24	1.52	1.33	49.8	2
Lengvasis sunkvežimis	17	Artimesnis	3.77	1.37	3.06	48.3	4

Lengvasis sunkvežimis	18	Artimesnis	3.43	0.57	3.02	43.7	5
Lengvasis sunkvežimis	19	Tolimesnis	3.63	0.57	2.48	47.1	4
Lengvasis sunkvežimis	20	Tolimesnis	3.48	1.08	2.97	49.5	4
Lengvoji TP	16	Tolimesnis	0.14	0.03	0.73	56.1	1
Lengvoji TP	17	Tolimesnis	0.25	0	1.09	57.5	2
Lengvoji TP	18	Artimesnis	1.43	0.92	1.02	47.2	4
Lengvoji TP	19	Artimesnis	1.49	0.88	1.05	50.8	5
Lengvoji TP	20	Artimesnis	1.4	1.05	0.75	49.6	4
Sunkusis sunkvežimis	21	Artimesnis	4.83	2.11	2.87	54.1	9
Sunkusis sunkvežimis	22	Artimesnis	4.96	2.01	2.57	56.5	9
Sunkusis sunkvežimis	23	Tolimesnis	4.68	2.08	2.63	54.4	7
Lengvoji TP	21	Tolimesnis	0.32	0.14	0.91	56.2	2
Lengvoji TP	22	Tolimesnis	0.31	0.11	0.9	55.5	2
Lengvoji TP	23	Artimesnis	2.21	1.33	1.34	57.6	7
Autobusas	24	Artimesnis	4.83	2.05	2.9	54.4	8
Autobusas	25	Artimesnis	4.69	2.1	2.75	56.6	8
Autobusas	26	Tolimesnis	4.5	2.29	2.08	54.8	10
Autobusas	27	Tolimesnis	4.75	2.07	2.32	54.7	8
Lengvoji TP	24	Tolimesnis	0.33	0.15	0.89	56.8	3
Lengvoji TP	25	Tolimesnis	0.4	0.15	1.02	56.8	3
Lengvoji TP	26	Artimesnis	1.55	0.8	1	54.4	3
Lengvoji TP	27	Artimesnis	1.54	0.73	1.08	55.7	4

## 2 priedas. Klasterizavimo pagal greičio vektoriaus kryptį rezultatai

TP tipas	TP pora	TP atstumas matavimo prietaiso atžvilgiu	TP ilgis, m	TP plotis, m	TP aukštis, m	TP atsispindėjusio signalo stiprumas, dB	TP taškai
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.06	1.07	0.84	42.4	6
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.56	1.14	1.4	40.6	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.65	1.28	0.86	42.7	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.24	1.08	0.97	46.19	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.74	1.04	1.37	40.2	7
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.82	1.04	1.06	41.7	4
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.64	1.16	0.97	48.42	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.07	0.93	1.39	46.17	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.04	0.94	1.52	46.87	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.79	0.92	1.4	45.81	6
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.6	1.05	1.05	41.8	3
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.43	1	0.92	40.7	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.48	0.84	1.07	40.5	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.43	0.93	0.91	41.3	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.45	1.05	0.99	40.4	5
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.58	1.02	0.87	40.4	3
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.47	0.91	1.06	41.5	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.73	0.88	1.06	47.05	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.53	0.9	1.38	42.9	3
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.58	0.84	1	42.9	3
Furgonas	0	Artimesnis	1.98	1.36	2.19	43.4	6
Furgonas	0	Artimesnis	2.52	1.76	2.51	53.05	10
Furgonas	0	Artimesnis	2.29	1.84	1.61	48.31	6
Furgonas	0	Artimesnis	2.24	1.58	1.96	44.1	4
Furgonas	0	Artimesnis	2.51	1.62	2.7	51.39	7
Furgonas	0	Artimesnis	2.57	2.12	2.65	48.28	7
Furgonas	0	Artimesnis	2.63	1.62	2.34	49.72	8
Furgonas	0	Artimesnis	2.27	1.53	1.65	44.6	4
Furgonas	0	Artimesnis	2.65	2.04	2.71	51.1	6



Furgonas	0	Artimesnis	2.77	1.76	1.94	52.27	8
Furgonas	0	Tolimesnis	1.97	1.35	2.16	44	4
Furgonas	0	Tolimesnis	1.81	1.14	2.09	44.5	5
Furgonas	0	Tolimesnis	2.1	1.38	1.36	43.1	5
Furgonas	0	Tolimesnis	2.05	1.87	1.55	47.33	8
Furgonas	0	Tolimesnis	2.24	1.64	2.4	49.46	9
Furgonas	0	Tolimesnis	2.01	1.2	1.89	44.1	4
Furgonas	0	Tolimesnis	2.21	1.68	2.39	46.48	7
Furgonas	0	Tolimesnis	2.07	1.38	1.28	42.7	4
Furgonas	0	Tolimesnis	2	1.72	1.44	42.7	4
Furgonas	0	Tolimesnis	1.95	1.39	1.76	44.5	5
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.42	1.59	1.31	45.7	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	3.92	2.36	2.11	48.27	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.22	1.63	2.55	54.8	9
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.23	2.59	2.02	60.54	13
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.07	2.44	2.94	58.27	8
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	4.14	0.9	2.27	40.2	7
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.63	1.48	2.29	48.83	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.97	1.34	1.73	47.7	7
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.99	1.91	1.99	51.9	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.85	1.47	1.47	42.1	6
Sunkusis sunkvežimis	0	Artimesnis	5.52	3.2	3.38	60.76	17
Sunkusis sunkvežimis	0	Artimesnis	5.38	3.64	3.47	58.48	18
Sunkusis sunkvežimis	0	Artimesnis	5.74	3.16	3.18	61.16	14
Sunkusis sunkvežimis	0	Tolimesnis	5.26	3.35	3.56	60.87	15
Sunkusis sunkvežimis	0	Tolimesnis	5.32	3.37	3.08	60.8	20
Sunkusis sunkvežimis	0	Tolimesnis	5.49	3.26	2.33	62.08	20
Autobusas	0	Artimesnis	5.58	3.63	2.5	58.72	20
Autobusas	0	Artimesnis	5.6	3.31	3.46	64.37	24
Autobusas	0	Artimesnis	5.57	3.47	3.02	62.01	22
Autobusas	0	Tolimesnis	5.4	3.3	2.99	59.87	23
Autobusas	0	Tolimesnis	5.51	3.38	3.45	62.2	22
Autobusas	0	Tolimesnis	5.46	3.38	3.55	63.09	20
Lengvoji TP	1	Artimesnis	2.09	1.1	1.4	53.9	6

Lengvoji TP	2	Artimesnis	2.16	1.41	1.08	56.9	5
Lengvoji TP	3	Artimesnis	2.21	1.48	1.09	56	6
Lengvoji TP	4	Artimesnis	1.91	1.59	1.17	52.5	5
Lengvoji TP	5	Artimesnis	2.18	1.53	1.09	52.6	5
Lengvoji TP	6	Artimesnis	1.97	1.45	1.26	53.7	6
Lengvoji TP	7	Artimesnis	1.84	1.48	1.4	56.6	6
Lengvoji TP	8	Artimesnis	2.03	1.3	1.29	54.9	6
Lengvoji TP	9	Artimesnis	1.78	1.4	1.16	54.6	5
Lengvoji TP	10	Artimesnis	2.16	1.3	1.13	54.3	6
Lengvoji TP	1	Tolimesnis	1.07	0.7	0.76	109	3
Lengvoji TP	2	Tolimesnis	1.41	0.87	0.75	52.5	5
Lengvoji TP	3	Tolimesnis	1.53	0.85	0.59	53.8	4
Lengvoji TP	4	Tolimesnis	1.28	0.78	0.64	56	5
Lengvoji TP	5	Tolimesnis	1.25	0.75	1.04	53.1	5
Lengvoji TP	6	Tolimesnis	1.01	1.07	0.79	54.5	3
Lengvoji TP	7	Tolimesnis	1.5	0.98	0.99	53.5	4
Lengvoji TP	8	Tolimesnis	1.04	0.8	0.64	53	4
Lengvoji TP	9	Tolimesnis	1.13	0.87	0.83	51.7	4
Lengvoji TP	10	Tolimesnis	1.49	0.89	0.88	53.4	4
Furgonas	11	Artimesnis	2.45	1.56	1.69	44.1	7
Furgonas	12	Artimesnis	2.57	1.51	1.98	42.9	6
Furgonas	13	Artimesnis	2.38	1.91	2.36	47.6	6
Furgonas	14	Tolimesnis	2.45	1.18	1.29	43.9	5
Furgonas	15	Tolimesnis	2.1	1.52	1.98	42.6	5
Lengvoji TP	11	Tolimesnis	1.46	1.16	0.94	43.3	5
Lengvoji TP	12	Tolimesnis	1.45	0.83	1.08	43.4	3
Lengvoji TP	13	Artimesnis	2.06	0.97	1.14	40.9	5
Lengvoji TP	14	Artimesnis	2.19	1.15	0.91	46.2	6
Lengvoji TP	15	Artimesnis	1.92	1.17	0.93	46.3	6
Lengvasis sunkvežimis	16	Artimesnis	4.74	2.27	1.39	51.5	7
Lengvasis sunkvežimis	17	Artimesnis	4.4	2.14	2.96	49.3	10

Lengvasis sunkvežimis	18	Artimesnis	4.04	1.36	2.89	43.9	10
Lengvasis sunkvežimis	19	Tolimesnis	4.36	1.24	2.38	47.1	9
Lengvasis sunkvežimis	20	Tolimesnis	4.22	1.75	3.08	49.9	10
Lengvoji TP	16	Tolimesnis	0.63	0.22	0.91	56.2	2
Lengvoji TP	17	Tolimesnis	0.68	0.2	0.79	58.7	2
Lengvoji TP	18	Artimesnis	1.83	1.16	1.25	46	5
Lengvoji TP	19	Artimesnis	1.86	1.06	0.75	51	7
Lengvoji TP	20	Artimesnis	2.02	1.25	0.72	50.4	6
Sunkusis sunkvežimis	21	Artimesnis	5.74	3.35	2.78	53.9	18
Sunkusis sunkvežimis	22	Artimesnis	5.91	3.35	2.76	56.1	19
Sunkusis sunkvežimis	23	Tolimesnis	5.77	3.42	2.76	56.4	16
Lengvoji TP	21	Tolimesnis	0.32	0.14	0.91	56.2	2
Lengvoji TP	22	Tolimesnis	0.31	0.11	0.9	55.5	2
Lengvoji TP	23	Artimesnis	2.15	1.28	1.31	57	6
Autobusas	24	Artimesnis	5.46	3.47	2.88	56.9	21
Autobusas	25	Artimesnis	5.68	3.46	2.59	56.1	20
Autobusas	26	Tolimesnis	5.28	3.61	2.02	57.3	22
Autobusas	27	Tolimesnis	5.82	3.27	2.19	57.3	21
Lengvoji TP	24	Tolimesnis	0.33	0.15	0.89	56.8	3
Lengvoji TP	25	Tolimesnis	0.4	0.15	1.02	56.8	3
Lengvoji TP	26	Artimesnis	1.92	0.98	1.11	52.4	6
Lengvoji TP	27	Artimesnis	2.06	0.96	1.09	54.8	5

### 3 priedas. Greičio vektoriaus krypties ir juostų skaičiaus algoritmo rezultatai

TP tipas	TP pora	TP atstumas matavimo prietaiso atžvilgiu	TP ilgis, m	TP plotis, m	TP aukštis, m	TP atsispindėjusio signalo stiprumas, dB	TP taškai
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.06	1.07	0.84	42.4	6
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.56	1.14	1.4	40.6	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.65	1.28	0.86	42.7	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.24	1.08	0.97	46.19	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.74	1.04	1.37	40.2	7
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.82	1.04	1.06	41.7	4
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.64	1.16	0.97	48.42	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.07	0.93	1.39	46.17	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	2.04	0.94	1.52	46.87	5
Lengvoji TP	0	Artimesnis	1.79	0.92	1.4	45.81	6
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.6	1.05	1.05	41.8	3
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.43	1	0.92	40.7	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.48	0.84	1.07	40.5	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.43	0.93	0.91	41.3	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.45	1.05	0.99	40.4	5
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.58	1.02	0.87	40.4	3
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.47	0.91	1.06	41.5	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.73	0.88	1.06	47.05	4
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.53	0.9	1.38	42.9	3
Lengvoji TP	0	Tolimesnis	1.58	0.84	1	42.9	3
Furgonas	0	Artimesnis	1.98	1.36	2.19	43.4	6
Furgonas	0	Artimesnis	2.52	1.76	2.51	53.05	10
Furgonas	0	Artimesnis	2.29	1.84	1.61	48.31	6
Furgonas	0	Artimesnis	2.24	1.58	1.96	44.1	4
Furgonas	0	Artimesnis	2.51	1.62	2.7	51.39	7
Furgonas	0	Artimesnis	2.57	2.12	2.65	48.28	7
Furgonas	0	Artimesnis	2.63	1.62	2.34	49.72	8
Furgonas	0	Artimesnis	2.27	1.53	1.65	44.6	4
Furgonas	0	Artimesnis	2.65	2.04	2.71	51.1	6

Furgonas	0	Artimesnis	2.77	1.76	1.94	52.27	8
Furgonas	0	Tolimesnis	1.97	1.35	2.16	44	4
Furgonas	0	Tolimesnis	1.81	1.14	2.09	44.5	5
Furgonas	0	Tolimesnis	2.1	1.38	1.36	43.1	5
Furgonas	0	Tolimesnis	2.05	1.87	1.55	47.33	8
Furgonas	0	Tolimesnis	2.24	1.64	2.4	49.46	9
Furgonas	0	Tolimesnis	2.01	1.2	1.89	44.1	4
Furgonas	0	Tolimesnis	2.21	1.68	2.39	46.48	7
Furgonas	0	Tolimesnis	2.07	1.38	1.28	42.7	4
Furgonas	0	Tolimesnis	2	1.72	1.44	42.7	4
Furgonas	0	Tolimesnis	1.95	1.39	1.76	44.5	5
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.42	1.59	1.31	45.7	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	3.92	2.36	2.11	48.27	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.22	1.63	2.55	54.8	9
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.23	2.59	2.02	60.54	13
Lengvasis sunkvežimis	0	Artimesnis	4.07	2.44	2.94	58.27	8
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	4.14	0.9	2.27	40.2	7
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.63	1.48	2.29	48.83	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.97	1.34	1.73	47.7	7
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.99	1.91	1.99	51.9	10
Lengvasis sunkvežimis	0	Tolimesnis	3.85	1.47	1.47	42.1	6
Sunkusis sunkvežimis	0	Artimesnis	5.52	3.2	3.38	60.76	17
Sunkusis sunkvežimis	0	Artimesnis	5.38	3.64	3.47	58.48	18
Sunkusis sunkvežimis	0	Artimesnis	5.74	3.16	3.18	61.16	14
Sunkusis sunkvežimis	0	Tolimesnis	5.26	3.35	3.56	60.87	15
Sunkusis sunkvežimis	0	Tolimesnis	5.32	3.37	3.08	60.8	20
Sunkusis sunkvežimis	0	Tolimesnis	5.49	3.26	2.33	62.08	20
Autobusas	0	Artimesnis	5.58	3.63	2.5	58.72	20
Autobusas	0	Artimesnis	5.6	3.31	3.46	64.37	24
Autobusas	0	Artimesnis	5.57	3.47	3.02	62.01	22
Autobusas	0	Tolimesnis	5.4	3.3	2.99	59.87	23
Autobusas	0	Tolimesnis	5.51	3.38	3.45	62.2	22
Autobusas	0	Tolimesnis	5.46	3.38	3.55	63.09	20
Lengvoji TP	1	Artimesnis	1.63	1	1.21	55	5

Lengvoji TP	2	Artimesnis	1.69	1.21	1.11	55	4
Lengvoji TP	3	Artimesnis	1.64	1.34	1	55	4
Lengvoji TP	4	Artimesnis	1.53	1.39	1.03	52.7	4
Lengvoji TP	5	Artimesnis	1.77	1.33	1.29	54.5	4
Lengvoji TP	6	Artimesnis	1.6	1.33	1.18	55	5
Lengvoji TP	7	Artimesnis	1.62	1.34	1.38	55.9	4
Lengvoji TP	8	Artimesnis	1.76	1.2	1.22	54.7	4
Lengvoji TP	9	Artimesnis	1.56	1.27	1.35	54.9	4
Lengvoji TP	10	Artimesnis	1.64	1.16	1.09	56	5
Lengvoji TP	1	Tolimesnis	1.07	0.61	0.76	54.5	3
Lengvoji TP	2	Tolimesnis	1.06	0.79	0.63	53.6	4
Lengvoji TP	3	Tolimesnis	1.13	0.83	0.71	55.3	3
Lengvoji TP	4	Tolimesnis	1.18	0.7	0.69	54	4
Lengvoji TP	5	Tolimesnis	1.1	0.74	0.85	52.1	4
Lengvoji TP	6	Tolimesnis	1.01	0.99	0.79	54.5	3
Lengvoji TP	7	Tolimesnis	1.15	0.94	0.82	53.5	3
Lengvoji TP	8	Tolimesnis	1.04	0.72	0.64	53	4
Lengvoji TP	9	Tolimesnis	1.03	0.78	0.8	52.9	3
Lengvoji TP	10	Tolimesnis	1.15	0.86	0.8	53.6	3
Furgonas	11	Artimesnis	2.09	1.25	1.8	44.5	6
Furgonas	12	Artimesnis	1.98	1.12	1.94	44.3	5
Furgonas	13	Artimesnis	1.89	1.44	2.17	46.4	5
Furgonas	14	Tolimesnis	2.08	1.12	1.46	44.1	4
Furgonas	15	Tolimesnis	2.04	1.33	2.18	44.6	4
Lengvoji TP	11	Tolimesnis	1.17	1.08	0.86	44.7	4
Lengvoji TP	12	Tolimesnis	1.12	0.81	0.91	44.2	3
Lengvoji TP	13	Artimesnis	1.67	0.84	1.09	42.9	4
Lengvoji TP	14	Artimesnis	1.72	0.97	0.96	47.3	5
Lengvoji TP	15	Artimesnis	1.61	0.98	0.81	45.7	5
Lengvasis sunkvežimis	16	Artimesnis	4.49	1.75	1.44	50.5	5
Lengvasis sunkvežimis	17	Artimesnis	4.07	1.61	3.05	48.9	8

Lengvasis sunkvežimis	18	Artimesnis	3.66	0.86	2.88	42.4	8
Lengvasis sunkvežimis	19	Tolimesnis	3.83	0.84	2.47	45.1	6
Lengvasis sunkvežimis	20	Tolimesnis	3.74	1.36	3.02	48.1	7
Lengvoji TP	16	Tolimesnis	0.23	0.15	0.93	55.7	2
Lengvoji TP	17	Tolimesnis	0.4	0.12	0.92	56.9	2
Lengvoji TP	18	Artimesnis	1.53	0.96	1.1	45.4	4
Lengvoji TP	19	Artimesnis	1.53	0.92	0.9	51.6	5
Lengvoji TP	20	Artimesnis	1.6	1.06	0.82	48.6	4
Sunkusis sunkvežimis	21	Artimesnis	5.05	2.32	2.84	54	12
Sunkusis sunkvežimis	22	Artimesnis	5.22	2.3	2.62	54.9	13
Sunkusis sunkvežimis	23	Tolimesnis	4.96	2.33	2.56	56.3	10
Lengvoji TP	21	Tolimesnis	0.32	0.14	0.91	56.2	2
Lengvoji TP	22	Tolimesnis	0.31	0.11	0.9	55.5	2
Lengvoji TP	23	Artimesnis	1.79	1.06	1	55.3	5
Autobusas	24	Artimesnis	5.05	2.32	2.97	54.9	11
Autobusas	25	Artimesnis	4.94	2.32	2.55	56.2	11
Autobusas	26	Tolimesnis	4.79	2.5	2.07	56	13
Autobusas	27	Tolimesnis	4.99	2.34	2.15	56.3	12
Lengvoji TP	24	Tolimesnis	0.33	0.15	0.89	56.8	3
Lengvoji TP	25	Tolimesnis	0.4	0.15	1.02	56.8	3
Lengvoji TP	26	Artimesnis	1.58	0.88	0.92	54.3	4
Lengvoji TP	27	Artimesnis	1.58	0.86	1.08	56.6	4

## 4 priedas. Matlab programinis kodas

```
function [Radar]=DBSCAN_ROAD_C(Radar,epsilon,MinPts, type,trackcoor)

temp_data=Radar.detObj.xy;
before_roid_noise=find(temp_data(:,1)<trackcoor.coorx(1));
after_roid_noise=find(temp_data(:,1)>trackcoor.coorx(end));

roid_noise=[before_roid_noise' after_roid_noise'];

if isempty(roid_noise)==0
    temp_data(roid_noise,:)=[];
end

Radar.detObj.xy_idx=[];
Radar.detObj.isnoise=[];

% for i=1:length(trackcoor.coorx)-1
for i=1:2
    % ValidPoints(i)=find(temp_data(:,1)<trackcoor.coorx(i+1)&temp_data(:,1)>trackcoor.coorx(i));
    ValidPoints=find(temp_data(:,1)<trackcoor.coorx(i+1)&temp_data(:,1)>trackcoor.coorx(i));
    if isempty(ValidPoints)==0
        if isempty(Radar.detObj.xy_idx)==1
            unique_C=0;
        else
            temp=unique(Radar.detObj.xy_idx);
            unique_C=temp(end);
        end
        [temp_xy_idx, temp_isnoise]=DBSCAN_C(temp_data(ValidPoints),epsilon,MinPts,type,unique_C);
        % Radar.detObj.xy_idx=[Radar.detObj.xy_idx' temp_xy_idx'];
        % Radar.detObj.isnoise=[Radar.detObj.isnoise' temp_isnoise'];
        for i_valid=1:length(ValidPoints)
            Radar.detObj.xy_idx(ValidPoints(i_valid))=temp_xy_idx(i_valid);
            Radar.detObj.isnoise(ValidPoints(i_valid))=temp_isnoise(i_valid);
        end
    end
end

after_roid_noise_len=length(after_roid_noise);
before_roid_noise_len=length(before_roid_noise);
Radar.detObj.xy=[zeros(before_roid_noise_len,2); temp_data; zeros(after_roid_noise_len,2)];
try
    Radar.detObj.xy_idx=[zeros(before_roid_noise_len,1) Radar.detObj.xy_idx];
end

try
    Radar.detObj.xy_idx=[Radar.detObj.xy_idx zeros(after_roid_noise_len,1)];
end

try
    Radar.detObj.isnoise=[ones(before_roid_noise_len,1) Radar.detObj.isnoise];
end

try
    Radar.detObj.isnoise=[Radar.detObj.isnoise ones(after_roid_noise_len,1)];
end

% Radar.detObj.xy_idx=[zeros(before_roid_noise_len,1); Radar.detObj.xy_idx; zeros(after_roid_noise_len,1)];
% Radar.detObj.isnoise=[ones(before_roid_noise_len,1); Radar.detObj.isnoise; ones(after_roid_noise_len,1)];

end

function [Radar]=DBSCAN_ROAD_SPEED_C(Radar,epsilon,MinPts, type,trackcoor)

all_valid=[]

temp_data=Radar.detObj.xy;
temp_speed=Radar.detObj.velocity;

before_roid_noise=find(temp_data(:,1)<trackcoor.coorx(1));
after_roid_noise=find(temp_data(:,1)>trackcoor.coorx(end));

roid_noise=[before_roid_noise' after_roid_noise'];

if isempty(roid_noise)==0
    temp_data(roid_noise,:)=[];
end

Radar.detObj.xy_idx=[];
Radar.detObj.isnoise=[];

for i=1:length(trackcoor.coorx)-1
    ValidPoints_road=find(temp_data(:,1)<trackcoor.coorx(i+1)&temp_data(:,1)>trackcoor.coorx(i));

    if(strcmp(trackcoor.direction(i),'UP'))
        ValidPoints_speed=find(temp_speed<0);
    elseif(strcmp(trackcoor.direction(i),'DOWN'))
        ValidPoints_speed=find(temp_speed>0);
    end
    % [a,b,c] = setxor(ValidPoints_speed,ValidPoints_road);
    if isempty(ValidPoints_speed)==0&&isempty(ValidPoints_road)==0
        ValidPoints = intersect(ValidPoints_road,ValidPoints_speed);
        all_valid=[all_valid; ValidPoints];
    else
        ValidPoints=[];
    end
end

if isempty(ValidPoints)==0
```



```

if(isempty(Radar.detObj.xy_idx)==1)
    unique_C=0;
else
    temp=unique(Radar.detObj.xy_idx);
    unique_C=temp(end);
end

[temp_xy_idx, temp_isnoise]=DBSCAN_C(temp_data(ValidPoints),epsilon,MinPts,type,unique_C);
for i_valid=1:length(ValidPoints)
    Radar.detObj.xy_idx(ValidPoints(i_valid))=temp_xy_idx(i_valid);
    Radar.detObj.isnoise(ValidPoints(i_valid))=temp_isnoise(i_valid);
end
end
end

% Radar.detObj.xy=[zeros(1,length(after_roid_noise)) temp_data zeros(1,length(before_roid_noise))]
if(isempty(Radar.detObj.xy_idx)==1)
    nr_of_elements=1:1:length(temp_data);
    all_valid=unique(all_valid);
    missing=setdiff(nr_of_elements,all_valid);

% if(isempty(missing))==0
% for i=1:length(missing)
%     Radar.detObj.xy_idx=[Radar.detObj.xy_idx(1:i-1); 0; Radar.detObj.xy_idx(i:end)];
%     Radar.detObj.isnoise=[Radar.detObj.isnoise(1:i-1); 1; Radar.detObj.isnoise(i:end)];
% end
% end

after_roid_noise_len=length(after_roid_noise);
before_roid_noise_len=length(before_roid_noise);
Radar.detObj.xy=[zeros(before_roid_noise_len,2); temp_data; zeros(after_roid_noise_len,2)];

try
    Radar.detObj.xy_idx=[zeros(before_roid_noise_len,1); Radar.detObj.xy_idx];
end

try
    Radar.detObj.xy_idx=[Radar.detObj.xy_idx; zeros(after_roid_noise_len,1)];
end

try
    Radar.detObj.isnoise=[ones(before_roid_noise_len,1); Radar.detObj.isnoise];
end

try
    Radar.detObj.isnoise=[Radar.detObj.isnoise; ones(after_roid_noise_len,1)];
end

% Radar.detObj.xy_idx=[zeros(before_roid_noise_len,1); Radar.detObj.xy_idx; zeros(after_roid_noise_len,1)];
% Radar.detObj.isnoise=[ones(before_roid_noise_len,1); Radar.detObj.isnoise; ones(after_roid_noise_len,1)];
else
    Radar.detObj.xy_idx=zeros(length(temp_data),1);
    Radar.detObj.isnoise=ones(length(temp_data),1);
end
end

end

function [Radar]=DBSCAN_SPEED_C(Radar,epsilon,MinPts, type,speedvar,var_dir,trackcoor)
temp_data=Radar.detObj.xy;
temp_speed=Radar.detObj.velocity;

Radar.detObj.xy_idx=[];
Radar.detObj.isnoise=[];

% if(strcmp(var_dir,'VAR')==1)
%     idx=length(temp_speed);
% elseif(strcmp(var_dir,'DIR')==1)
%     idx=length(trackcoor.direction);
% end

for i=1:idx

    if(strcmp(var_dir,'VAR')==1)
        if(i==1)
            temp_find=find(temp_speed>0);
            mean_speed=mean(temp_speed(temp_find));
            ValidPoints=find(temp_speed<mean_speed+speedvar&temp_speed>mean_speed-speedvar);
        elseif(i==2)
            temp_find=find(temp_speed<0);
            mean_speed=mean(temp_speed(temp_find));
            ValidPoints_prev=ValidPoints;
            ValidPoints=find(temp_speed<mean_speed+speedvar&temp_speed>mean_speed-speedvar);
            if(isempty(ValidPoints)==0)
                ValidPoints=setdiff(ValidPoints,ValidPoints_prev);
            end
        end
    end
%     ValidPoints=find(temp_speed<temp_speed(i)+speedvar&temp_speed>temp_speed(i)-speedvar)
elseif(strcmp(var_dir,'DIR')==1)
    if(strcmp(trackcoor.direction(i),'UP'))
        ValidPoints=find(temp_speed>0);
    elseif(strcmp(trackcoor.direction(i),'DOWN'))
        ValidPoints=find(temp_speed<0);
    end
end

if(isempty(ValidPoints)==0)
    if(isempty(Radar.detObj.xy_idx)==1)
        unique_C=0;
    else
        temp=unique(Radar.detObj.xy_idx);
        unique_C=temp(end);
    end
    figure
end

```

```

% plot(temp_data(ValidPoints,1),temp_data(ValidPoints,2),'o')
% xlim([-15 15])
% ylim([0 15])
% grid on
[temp_xy_idx, temp_isnoise]=DBSCAN_C(temp_data(ValidPoints,:),epsilon,MinPts,type,unique_C);
for i_valid=1:length(ValidPoints)
    Radar.detObj.xy_idx(ValidPoints(i_valid))=temp_xy_idx(i_valid);
    Radar.detObj.isnoise(ValidPoints(i_valid))=temp_isnoise(i_valid);
end
% Radar.detObj.xy_idx=[Radar.detObj.xy_idx' temp_xy_idx'];
% Radar.detObj.isnoise=[Radar.detObj.isnoise' temp_isnoise'];
end
end

% Radar.detObj.xy=[zeros(1,length(after_roid_noise)) temp_data zeros(1,length(before_roid_noise))]
% Radar.detObj.unique_number=unique(Radar.detObj.xy_idx);
% if(Radar.detObj.unique_number>0)
% % [Radar] = dbscan_separate(Radar);
% % [ excel{files_idx}.road ] = dbscan_obj_excel( Radar,excel{files_idx}.road);
% end

end

function [Radar]=h_std_filter(Radar)
tempx=Radar.detObj.x;
tempy=Radar.detObj.y;
tempz=Radar.detObj.z;
tempvelocity=Radar.detObj.velocity;
tempdB=Radar.RangeFFT_pt;
temprange=Radar.detObj.range;

disp(['STD: ',num2str(std(Radar.detObj.z))]);
z_std_idx_low=find(abs(Radar.detObj.z)<std(Radar.detObj.z));
z_std_idx_high=find(abs(Radar.detObj.z)>std(Radar.detObj.z));

Radar.detObj.x=tempx(z_std_idx_low);
Radar.detObj.y=tempy(z_std_idx_low);
Radar.detObj.z=tempz(z_std_idx_low);
Radar.detObj.velocity=tempvelocity(z_std_idx_low);
Radar.RangeFFT_filt=tempdB(z_std_idx_low);
Radar.detObj.range=temprange(z_std_idx_low);
Radar.detObj.xy=[Radar.detObj.x' Radar.detObj.y'];

Radar.detObj.gar.x=tempx(z_std_idx_high);
Radar.detObj.gar.y=tempy(z_std_idx_high);
Radar.detObj.gar.z=tempz(z_std_idx_high);
Radar.detObj.gar.velocity=tempvelocity(z_std_idx_high);
Radar.gar.RangeFFT_filt=tempdB(z_std_idx_high);
Radar.detObj.gar.range=temprange(z_std_idx_high);
end

```