



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Gintaras Sabataitis

**MAGNETINIO LAUKO JUTIKLIŲ PANAUDOJIMO TRANSPORTO
SRAUTŲ VALDYMO SISTEMOSE TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Dangirutis Navikas

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS AKULTETAS
ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**MAGNETINIO LAUKO JUTIKLIŲ PANAUDOJIMO TRANSPORTO
SRAUTŲ VALDYMO SISTEMOSE TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Elektronikos inžinerija (621H61002)

Vadovas

(parašas) Prof. dr. Dangirutis Navikas
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Mindaugas Žilys
(data)

Projektą atliko

(parašas) Gintaras Sabataitis
(data)

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS

(Fakultetas)

GINTARAS SABATAITIS

(Studento vardas, pavardė)

Elektronikos inžinerija (621H61002)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Gintaro Sabataičio** baigiamasis projektas tema „Magnetinio lauko jutiklių panaudojimo transporto srautų valdymo sistemose tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Sabataitis, Gintaras. Magnetinio lauko jutiklių transporto srautų valdymo sistemose tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Dangirutis Navikas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektronikos inžinerijos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: transporto priemonė, greičio nustatymas, ilgio nustatymas, klasifikavimas.

Kaunas, 2018. 47 p.

SANTRAUKA

Šio magistrinio darbo tikslas yra: ištirti magnetinių rezistiviųjų jutiklių panaudojimo transporto valdymo sistemose, nustatant transporto priemonės judėjimo greitį bei ilgį, galimybes. Tiriami metodai galintys būti naudojami šių signalų apdorojimui. Atlikta transporto srautų valdymo sistemų, kurios naudoja magnetinius jutiklius analizė. Išnagrinėti sistemų veikimo principai, galimybės. Atlikti skirtingų transporto priemonių greičio nustatymo tyrimai esant skirtingam jutiklių išdėstymui. Laiko skirtumas tarp dviejų jutiklių signalų apskaičiuojamas panaudojant pikų radimo ir abipusės koreliacijos metodus. Toliau darbe nagrinėjamas transporto priemonės ilgio nustatymas. Tai atliekama panaudojant pikų radimo, išvestinių pikų radimo, bei ribinės vertės metodus. Apskaičiuojamos skirtingų metodų paklaidos skirtingiems automobiliams. Atliktas ilgesnių automobilių ilgio nustatymo tyrimas, palyginti duomenys.

Sabataitis Gintaras. Research of Magnetic Field Sensors for Traffic Management Systems. Master's thesis in Electronics Engineering studies, supervisor prof. dr. Dangirutis Navikas. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electronics Engineering.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: Vehicle, speed estimation, length estimation, classification.

Kaunas, 2018. 47 p.

SUMMARY

The main object of this master thesis is research of magnetoresistive sensors usage in transport control systems, determining speed and length of moving vehicles. The methods, can be used for this signal processing are investigated. Analyzed systems functioning principles and possibilities. Analyzed engineering solutions to investigate the earth's magnetic field signals that are distorted by vehicles. Perform different vehicle speed detection tests with different sensor layouts. The time difference between the two sensor signals is calculated using the methods for finding peaks and cross-correlation. Further, research of the length of the vehicle is analyzed at work. This is done using methods for finding peaks, derivative peaks, and by using threshold value. Different method errors for different cars are calculated. Research of longer vehicles using derivative peaks method is made, results compared.

TURINYS

ĮVADAS.....	7
1 LITERATŪROS APŽVALGA	9
1.1 Transporto priemonės greičio nustatymo priemonės	9
1.2 Magnetiniai jutikliai transporto valdymo sistemose	11
1.2.1 Transporto priemonės aptikimas	12
1.2.2 Transporto priemonės greičio nustatymas.....	16
1.2.3 Transporto srauto greičio nustatymas.....	18
1.2.4 Greičio nustatymas surandant signalų pikus.	18
1.2.5 Greičio nustatymas užsiduodant ribinę vertę	19
1.3 Greičio matavimo įrenginiai naudojantys magnetinius jutiklius.....	21
1.3.1 Realus laiko transporto srauto stebėjimo sistema naudojanti AMR jutiklius.....	21
1.3.2 Transporto priemonės greičio nustatymo metodai panaudojant vieną magnetinį jutiklį	22
2 TIRIAMOJI DALIS IR REZULTATAI	25
2.1 Tyrimo rezultatai	25
2.1.1 Transporto priemonės greičio nustatymas.....	25
2.1.2 Transporto priemonės greičio paklaidos priklausomybė nuo greičio.....	30
2.1.3 Transporto priemonės ilgio nustatymas	33
2.1.4 Kiti transporto priemonės greičio ir ilgio nustatymo metodai.....	35
2.1.5 Transporto priemonių ilgio nustatymas, panaudojant pikus.....	36
2.1.6 Transporto priemonių ilgio nustatymas, analizuojant signalo išvestinę.....	37
2.1.7 Transporto priemonių ilgio nustatymas, panaudojant skirtingas ribines vertes	39
2.1.8 Pikų paieškos, išvestinių pikų paieškos bei ribinės vertės rezultatų apibendrinimas ..	41
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	45
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	46

IVADAS

Per pastaruosius keliasdešimt metų labai sparčiai tobulėjant technologijoms, žmonių poreikiai taip pat auga. Technologijos labai palengvina žmonių kasdienybę įvairiose situacijose, tiek darbuose, tiek kasdieninėje veikloje. Ne išimtis ir sistemos, kurios kontroliuoja transporto srautus. Nors šios technologijos dar pakankamai naujos, tačiau jau spėjo sparčiai įsilieti į žmonių gyvenimą ir be jų šių dienų kasdienybė stipriai apsunktų. Tam kad žmogus jaustųsi visapusiškai patenkintas reikia užtikrinti aukštą gyvenimo kokybę, kurią sudaro daugybė įvairių veiksnių. Kadangi pakankamai svarbūs veiksniai, sąlygojantys žmonių gyvenimo kokybę, yra saugumo jausmas ir teisingas laiko paskirstymas, transporto srautų valdymo sistemos taip pat ženkliai prisideda prie šių veiksnių. Ilgas laukimas transporto spūstyse, parkavimo vietos paieška ir panašūs procesai yra pakankamai gerai suvaldomi srautų valdymo sistemų. Tačiau saugumas yra daug svarbesnis veiksnys, prie kurio kontrolės prisideda transporto srautų valdymo sistemos. Didžiausią įtaką žmonių saugumui šios sistemos atlieka kontroliuojant transporto priemonės judėjimo greitį, kadangi dėl viršijamo leistino greičio įvyksta daugybė avarijų, kurių metu žūsta žmonės. Greičio kontroliavimas paremtas tam tikra atsakomybe priklausomai nuo padarytų pažeidimų. O tam, kad būtų galima nustatyti pažeidimus naudojama greičio matavimo įranga.

Būdai, kuriais yra nustatomas transporto priemonės greitis yra įvairūs. Vienas iš jų, kuris labiausiai paplitęs pasaulyje yra greičio matuokliai, kurių veikimas paremtas Doplerio efektu. Kai transporto joda radaro atžvilgiu, iš radaro išsiųsti atitinkamo dažnio ir bangos ilgio signalai atsispindėję nuo transporto priemonės sugrįžta pasikeitę. Taip pat greitis gali būti nustatomas selektyviais greičio matuokliais, kurių esmė yra ta, kad jie tiesiogiai nematuoja transporto priemonės greičio, o užfiksuoja laiką, kada transporto priemonė pravažiavo pro tam tikrą vietą. Laikas užfiksuojamas dviejose vietose, tarp kurių yra žinomas atstumas ir žinant laiką suskaičiuojamas greitis. Panašiu principu transporto priemonės greitis gali būti nustatomas naudojant AMR (*angl. Anisotropic Magneto-Resistive*), magnetinius rezistyviusius jutiklius. Į kelio dangą įmontavus du jutiklius tam tikru atstumu, transporto priemonei pravažiavus pro juos iš kiekvieno jutiklio turėtų būti gaunami labai panašūs magnetinio lauko iškraipymai, juos sutapatinus, žinant laiko skirtumą ir atstumą tarp jutiklių paskaičiuojamas greitis. Kiekviena transporto priemonė skirtingai iškraipys magnetinį lauką, todėl kaupiant duomenis galima nustatyti ne tik greitį bet ir identifikuoti kokia tai transporto priemonė.

Darbo tikslas – ištirti magnetinių rezistiviųjų jutiklių panaudojimo transporto valdymo sistemose, nustatant transporto priemonės judėjimo greitį bei ilgį, galimybes.

Darbo uždaviniai :

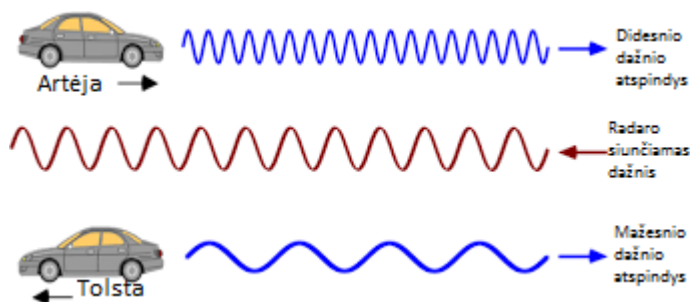
- atlikti literatūros šaltinių analizę;
- išanalizuoti anizotropinių magnetinių rezistiviųjų jutiklių panaudojimo galimybes greičio nustatymui;
- ištirti metodus, kuriuos naudojant atliekamas greičio nustatymas magnetiniais jutikliais;
- pasiūlyti ir ištirti metodus, transporto priemonių ilgio nustatymui.

1 LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Transporto priemonės greičio nustatymo priemonės

Transporto priemonės judėjimo greitis gali būti nustatomas naudojant įvairias skirtingas priemones. Vienos gali nustatyti konkrečios transporto priemonės momentinį greitį, kitos – srauto judėjimo greitį. Keletas greičio nustatymo priemonių tipų:

Radarai. Šiomis dienomis bene populiariausia priemonė greičio nustatymui yra radaras. Tam kad radaras nustatytų judančios transporto priemonės greitį, naudojamas Doplerio efektas. Tai reiškia, kad radaro siųstuvas pasiunčia tam tikro dažnio mikrobanginį signalą. Jei objektas juda, tai nuo jo atsispindėjusio signalo dažnis bus šiek tiek kitoks nei pradinis ir kai jį nuskaitys radaro imtuvas, bus galima įvertinti, koks yra signalo pokytis. Pasinaudojant šiuo pokyčiu galima nesunkiai nustatyti judančio objekto greitį. Tokie radarai, veikiantys Doplerio efekto principu yra naudojami ne tik greičio nustatymui, bet ir atliekant įvairius matavimus, aviacijoje, radiologijoje.



1 pav. Doplerio efektas[23]

Lidarai. Panašiai kaip ir radarai, lidarai siunčia signalą, tačiau signalas yra ne mikrobanginis, o šviesos. Nuo objekto atsispindėjusi šviesa sugrįžta, o žinant laiką, kiek užtruko šviesa nukeliauti iki objekto ir sugrįžti atgal, bei šviesos greitį, apskaičiuojamas atstumas iki objekto.

Dar vienas didelis lidarų skirtumas nuo radarų, kurie veikia Doplerio efekto principu yra tas, kad galima pamatuoti konkrečios transporto priemonės greitį esančios judančiame sraute.

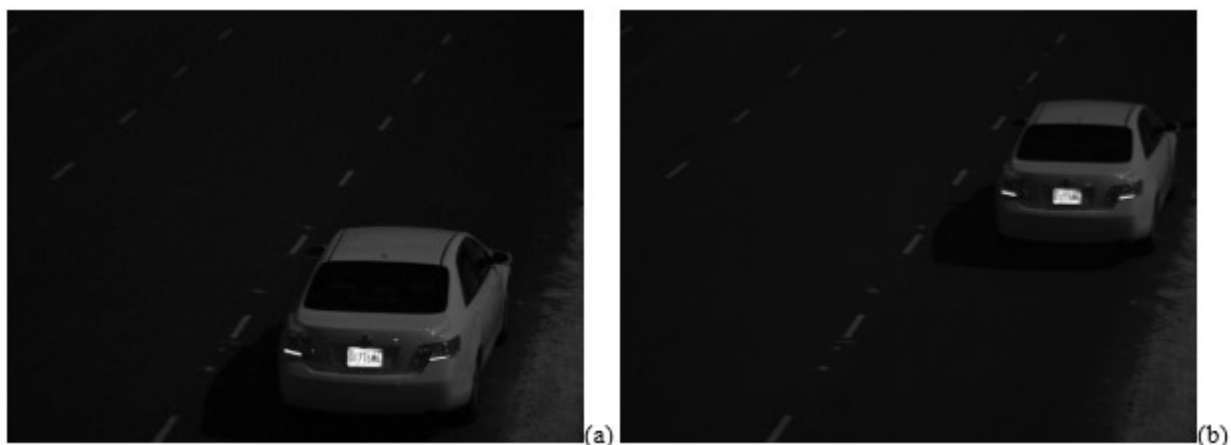
Norint pamatuoti greitį pirmiausia nusitaikoma į transporto priemonės numerius, pasinaudojant taikikliu, kuris gali vaizdą priartinti 2 arba daugiau kartų. Nusitaikyti galima nebūtinai į numerius, tinka ir kitos gerai šviesą atspindinčios detalės, tačiau numerius pastebėti lengviausia, o šie yra padengti šviesą atspindinčia medžiaga. Atlikti matavimą ir paleidus matuoklį, šis siunčia trumpą 30ns, 1 kHz lazerinį impulsą. Pasiekęs objektą impulsas atsispindi ir yra nuskaitymas matuoklio. Toliau siunčiami papildomi impulsai, kad būtų galima nustatyti greitį.

Kiekvienas išsiųstas ir atsispindėjęs impulsas suteikia informaciją apie atstumą iki objekto. Žinant kelių impulsų atstumus apskaičiuojamas greitis. Nors šie radarai sukurti pakankamai senai, tačiau yra labai greiti ir tikslūs.

Vaizdo kamera. Transporto priemonės judėjimo greitis gali būti aptinkamas ne tik naudojant radarus ar lidarų ir siuntinėjant impulsus. Tai galima atlikti panaudojant vaizdo kamerą.

Priklausomai nuo to, kaip sureguliuota kamera gali skirtis jos veikimas, bet iš esmės pirmiausia kamera turi aptikti ir įvertinti, kad tai yra judantis objektas. Vienas iš variantų yra aptikti transporto priemonės numerius, tai leidžia padaryti jau sukurti numerių atpažinimo algoritmai. Norint tik nustatyti greitį, atpažinimas nėra būtinas, užtenka rasti tokią transporto priemonės vietą, kurią būtų galima sekti. Numeriai pasirenkami todėl, kad jie yra standartinio tipo ir juos turi kiekviena transporto priemonė.

Kamerai aptikus judančios transporto priemonės numerius ji yra sekama, o numeriai yra stebimi kiekviename kadre. Palyginus transporto priemonės greitis yra labai mažas, o kai analizuojamas kiekvienas kadras, vaizdas pasikeičia labai nežymiai.



2 pav. Vaizdo pokytis esant 0,5 sekundės laiko tarpui: a) kai objektas buvo aptiktas; b) praėjus 0,5 sekundės[16]

Matyti, kad iš bendro vaizdo yra išskiriami numeriai (2 pav.), kurie yra sekami visą laiką, kol yra matymo lauke.

Transporto greitis nustatomas įvertinus aptiktų numerių buvimo vietą kiekviename kadre, padalinant nukeliatą atstumą iš laiko pokyčio. Tačiau nukeliatas atstumas šiuo atveju yra pikseliai. Norint gauti realų judėjimo greitį reikia pikselius pakeisti į metrus. Tam, kad tai būtų galima padaryti reikalingas vaizdo kameros sukaliavimas, o tai reiškia, kad kiekvienoje skirtingoje vietoje reikia atlikti atskirą kameros kalibravimą.[16]

1.2 Magnetiniai jutikliai transporto valdymo sistemose

Magnetiniai jutikliai transporto srautų valdymo sistemose naudojami įvairiems tikslams, nuo apsaugos sistemų transporto priemonėje, kurios gali nuspėti ir tam tikromis indikacijomis informuoti vairuotoją apie galimą susidūrimą, iki sistemų, kurios aptinka, atpažįsta transporto priemones ir matuoja jų judėjimo greitį.

Magnetinis rezistyvumas – tai medžiagos arba medžiagų sistemos savybė, kuri reiškia keičiantis magnetiniam laukui keičiasi varža. Daugelis magnetinių medžiagų pasižymi magnetiniu rezistyvumu, kuris yra anizotropinis ir pakankamai tikslus, kad būtų galima naudoti jutikliuose.

Dažniausiai sutinkama ir naudojama magnetinio rezistyvumo išraiška [1] yra:

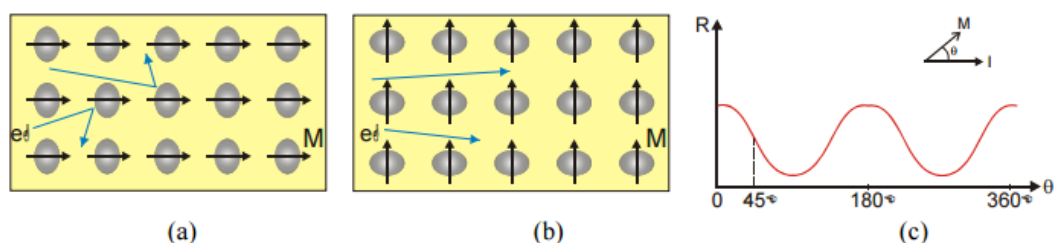
$$MR\% = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\min}} \quad (1)$$

Ši išraiška parodo kokia gali būti didžiausia signalo vertė gaunama iš jutiklio. AMR jutikliams šis santykis dažniausiai būna 1 – 2 %.

Anizotropinis magnetinis rezistyvumas vadinamas anizotropiniu todėl, kad jis priklauso nuo kampo tarp elektros srovės tekėjimo krypties ir įmagnetinimo krypties. Šis efektas apibūdinamas kaip elektronų orbitalių išsisklaidymo iškraipymas dėl magnetinio lauko. Didžiausia varža gaunama kai įmagnetinimo kryptis yra lygiagrečiai elektros srovės tekėjimo kryptčiai, (t.y. 0° arba 180°). Mažiausia varža – kai kryptys yra statmenos. Varža šiuo atveju yra apibūdinama kaip kampo funkcija tarp magnetinio lauko ir srovės tekėjimo kryptčių:

$$R = R_0 + \Delta R \cos^2(\theta) \quad (2)$$

Funkcija grafiškai pavaizduota 3 paveiksle

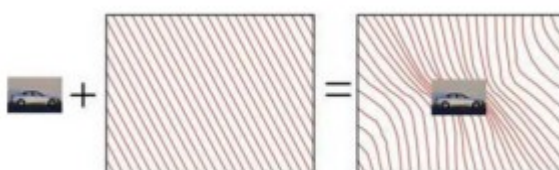


3 pav. AMR efektas parodantis kaip nuo magnetinio lauko krypties keičiasi elektronų orbitalių iškraipymas, (a) lygiagretus srovės tekėjimo kryptčiai, (b) statmenas. (c) Varžos pokyčio funkcija nuo kampo tarp srovės ir įmagnetinimo. [1]

Didžiausiais jautrumas ir tiesiškumas gaunamas, kai kampas tarp įmagnetinimo ir srovės yra 45° .

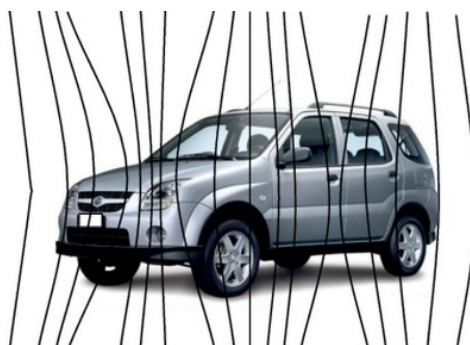
1.2.1 Transporto priemonės aptikimas

Kadangi didžiausią transporto priemonės dalį sudaro metalinės detalės, todėl judanti transporto priemonė iškraipo magnetinį lauką, kurie gali būti nesunkiai aptinkami ir išmatuojami. Transporto aptikimui plačiai naudojamos indukcinės kilpos, tačiau norint jas naudoti reikia jas įmontuoti į asfaltą, o tai yra brangu, kadangi kilpos yra pakankamai didelės. Šiuo atveju magnetiniai jutikliai yra gerokai pranašesni kadangi jų nebūtina įmontuoti į asfaltą ir jie yra pakankamai nedideli.



4 pav. Transporto priemonės įtaka žemės magnetiniam laukui [2]

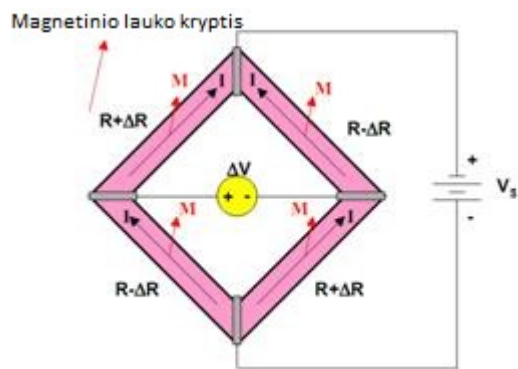
4 paveiksle pavaizduota kaip transporto priemonė iškraipo žemės magnetinį lauką. Automobilyje metalinės dalys nėra išdėstytos tolygiai, todėl iš magnetinis laukas iškraipomas netolygiai. 5 pav. parodyta kaip skirtingos automobilio vietos iškraipo magnetinį lauką.



5 pav. Skirtingų automobilio vietų įtaka žemės magnetiniam laukui [3]

Priekyje aplink variklio skyrių, taip pat prie galinės ašies gaunami didesni iškraipymai, todėl kad būtent tose vietose yra daugiausia metalinių dalių.

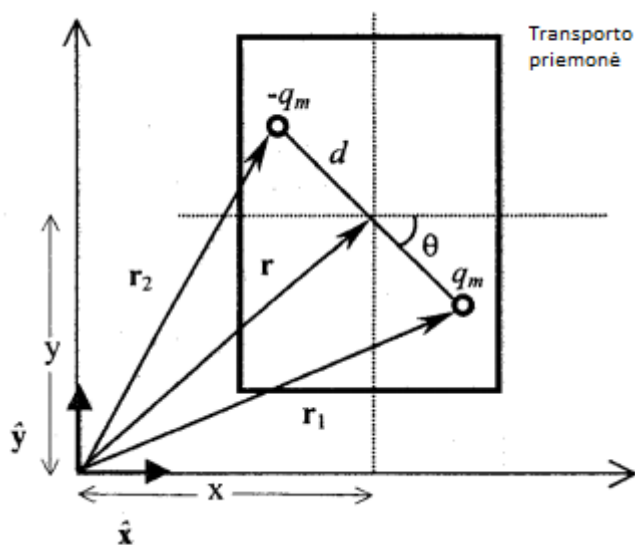
Transporto priemonės sukelti magnetinio lauko iškraipymai išmatuojami naudojant AMR jutiklius. Jutiklis sudarytas iš keturių magnetinių rezistyvųjų elementų, kurie yra sujungti į Vinstono tiltą. Tiltelio iliustracija pateikiama 6 paveiksle.



6 pav. Magnetinio rezistyvino jutiklio tiltelio schema [4]

Transporto priemonė yra kaip magnetinis dipolis, kuris turi savo magnetinį lauką. Šis laukas priklauso nuo transporto priemonės tipo, masės, dydžio, formos. Pravažiavus pro jutiklį užfiksuojama žemės ir transporto priemonės magnetinių laukų sąveika. Kiekviena skirtinga transporto priemonė duos skirtingus rezultatus, todėl jas galima ne tik aptikti, bet ir nustatyti kokia tai transporto priemonė (motociklas, lengvasis automobilis, sunkvežimis ar autobusas).

7 pav. pavaizduotas suprojektuotas dviejų ašių tariamos transporto priemonės modelis. Magnetinis rezistyvusis jutiklis yra koordinatinių plokštumos pradžioje. Tarkime, kad transporto priemonė juda ašies y kryptimi vienodu greičiu. Transporto magnetinis laukas sumodeliuojamas kaip du lygūs magnetiniai krūviai, tarp kurių atstumas yra lygus $2d$. Vektorius r atitinka transporto priemonės centrą, arba centrą tarp dviejų magnetinių krūvių. Tam kad analizė būtų paprastesnė transporto priemonei pravažiavus pro jutiklį polių orientacija nepasikeičia. Tokiu atveju magnetinio lauko srautas gali būti pateikiamas išraiška:



7 pav. Suprojektuotas judančios transporto priemonės matematinis modelis [5]

$$\mathbf{B} = \frac{\mu}{4\pi} q_m \left(\frac{\mathbf{r}_1}{r_1^3} - \frac{\mathbf{r}_2}{r_2^3} \right) \quad (3)$$

o atstumai iki polių priklausomi nuo laiko

$$\mathbf{r}_1 = \hat{\mathbf{x}}(x + d \cos \theta) + \hat{\mathbf{y}}(y - d \sin \theta) \quad (4)$$

$$\mathbf{r}_2 = \hat{\mathbf{x}}(x - d \cos \theta) + \hat{\mathbf{y}}(y + d \sin \theta) \quad (5)$$

Išreiškiami B_x ir B_y parametrai:

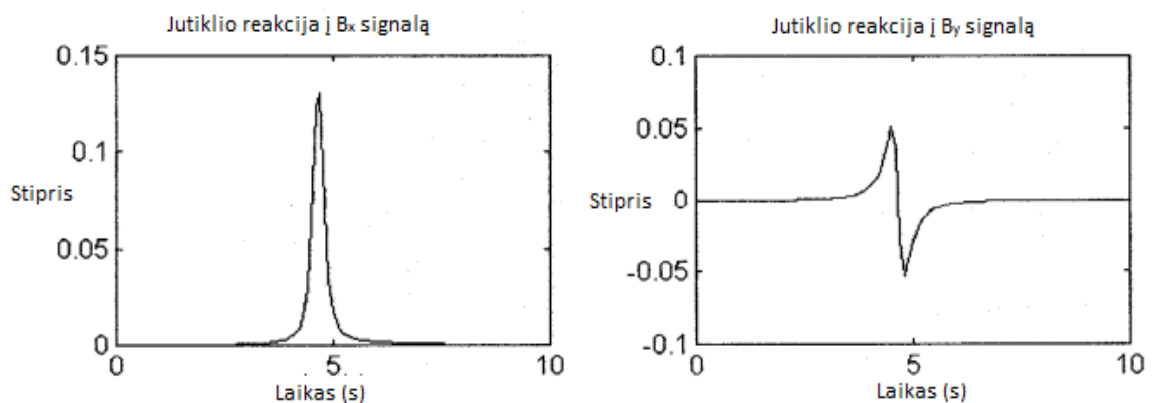
$$B_x = \frac{\mu}{4\pi} q_m \left[x \left(\frac{1}{r_1^3} - \frac{1}{r_2^3} \right) + d \cos \theta \left(\frac{1}{r_1^3} + \frac{1}{r_2^3} \right) \right] \quad (6)$$

$$B_y = \frac{\mu}{4\pi} q_m \left[y \left(\frac{1}{r_1^3} - \frac{1}{r_2^3} \right) + d \sin \theta \left(\frac{1}{r_1^3} + \frac{1}{r_2^3} \right) \right] \quad (7)$$

Tada gaunama bendra magnetinio lauko srauto išraiška:

$$\mathbf{B} = \hat{\mathbf{x}}B_x + \hat{\mathbf{y}}B_y \quad (8)$$

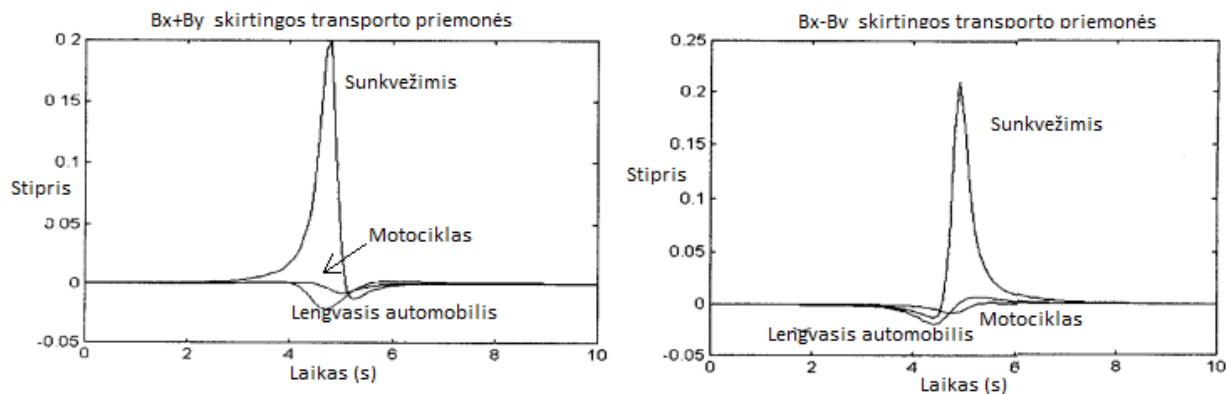
Iš (6) ir (7) išraiškų galima atlikti kompiuterinę kiekvienos ašies magnetinio lauko srauto simuliaciją. Srauto stiprumas labai priklauso nuo atstumo tarp dipolio ir jutiklio.



8 pav. Užfiksuoti judančio dipolio signalai jutiklyje [5]

8 paveiksle matomi jutiklio užfiksuoti judančio pro jutiklį dipolio magnetinio lauko srauto stipriai x ir y ašyse.

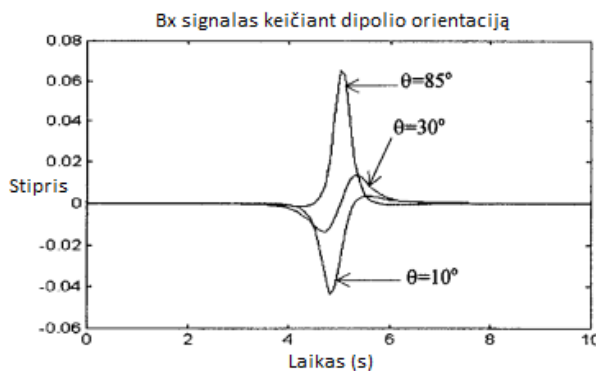
Faradėjaus dėsnis teigia, kad magnetinio lauko srauto, kertančio kontūrą, kitimas laike kontūre sukuria elektrovaros jėgą ir kontūru ima tekėti elektros srovė. Kadangi transporto priemonės dipolio magnetinis laukas priklauso nuo transporto priemonės formos, masės, jutiklio padėties, galima nustatyti kokia tai transporto priemonė, nes iš jutiklio gautas signalas kiekvienu atveju bus skirtingas. Tam kad galima būtų lengviau atskirti transporto priemonės tipą, reikia padidinti jutiklio jautrumą ir tikslumą. Taip padaroma sudedant ir atimant magnetinio lauko komponentus B_x ir B_y .



9 pav. Iš jutiklio gauti signalai skirtingoms transporto priemonėms susumavus ir atėmus magnetinio lauko srauto komponentus x ir y [5]

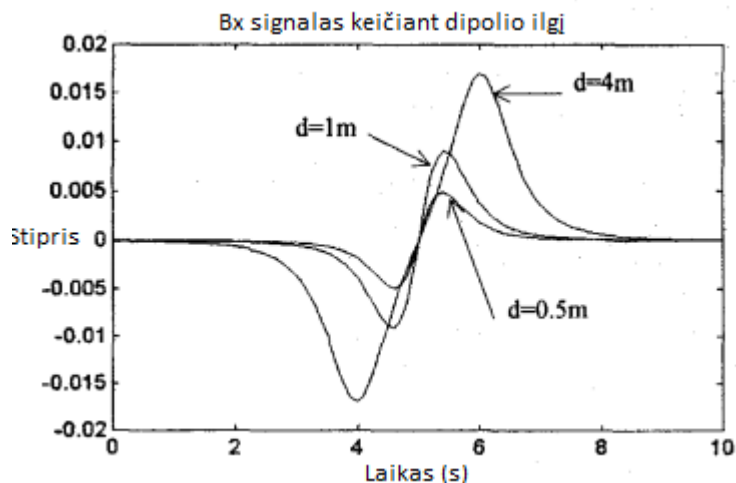
9 paveiksle parodyti iš jutiklio gauti motociklo, lengvojo automobilio ir sunkvežimio signalai kai komponentai susumuojami ir atimami. Palyginus su 8 paveiksle pateiktais signalais matomas aiškus skirtumas.

Dipolio orientacija taip pat įtakoja gautą signalą, 10 paveiksle parodyta kaip keičiasi gautas signalas B_x , kai jis pasukamas $\theta = 85^\circ, 30^\circ, 10^\circ$. Tai reiškia, kad jei transporto priemonė pro jutiklį pravažiuos skirtingais kampais, bus gaunami skirtingi rezultatai. Tam, kad būtų galima gauti norimus rezultatus, galima pasukti patį jutiklį.



10 pav. Iš jutiklio gauti signalas B_x esant skirtingoms dipolio (transporto priemonės) orientacijoms [5]

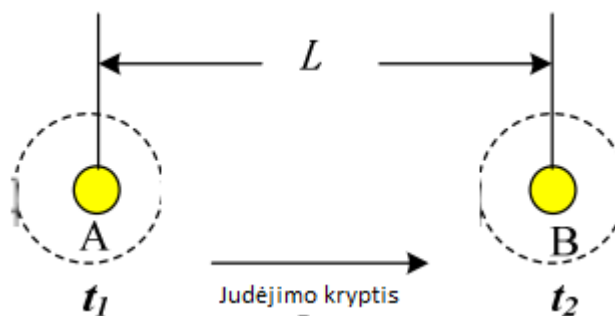
Dipolio ilgio įtaka taip pat įtakoja gaunamą signalą. 11 paveiksle pavaizduoti signalai keičiant atstumą tarp polių d , o kitus parametrus paliekant tuos pačius. Dipolio (transporto priemonės) ilgis taip pat turi įtakos gaunamiems signalams, kas taip pat gali būti išnaudojama identifikuojant transporto priemonę.



11 pav. Iš jutiklio gauti signalas B_x esant skirtingiems dipolio (transporto priemonės) ilgiams [5]

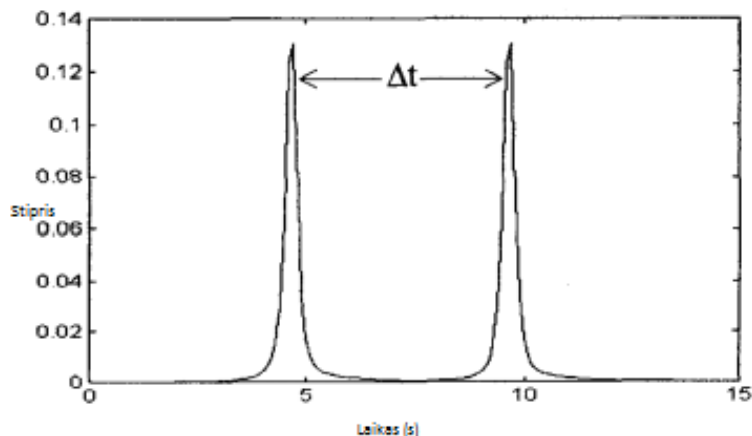
1.2.2 Transporto priemonės greičio nustatymas

Transporto priemonės judėjimo greitis gali būti nustatomas panaudojant du magnetinius rezistyviusius jutiklius. 12 paveiksle parodyta jutiklių pora, pro kurią turi pravažiuoti transporto priemonė. Jutikliai turi būti orientuoti ta pačia kryptimi. A jutiklio signalas, turi beveik sutapti su B jutiklio signalu todėl, kad tarp jų yra nedidelis atstumas ir pravažiuoja ta pati transporto priemonė, o tai reiškia, kad žemės magnetinio lauko iškreipymas bus tas pats. Norint suskaičiuoti greitį labai svarbu žinoti tikslų atstumą L tarp jutiklių.



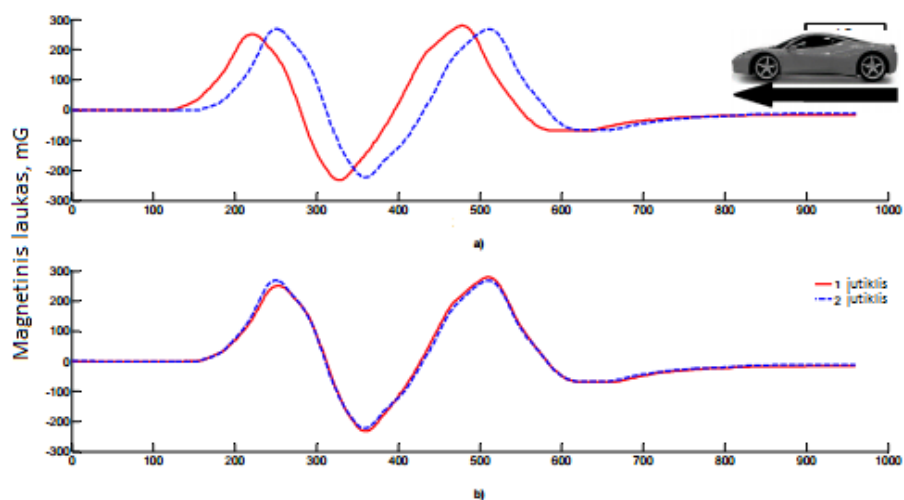
12 pav. Jutikliai A ir B transporto priemonės greičio nustatymu []

Nesvarbu kokia būtų transporto priemonė, motociklas, lengvasis automobilis ar sunkvežimis, pravažiavus pro jutiklius iš abiejų gaunamas individualus ir labai panašus rezultatas. Esminis greičio nustatymo aspektas naudojant tokią schemą yra sužinoti kiek įmanoma tikslesnį laiką, tarp vieno ir kito jutiklių rezultatų (13 pav.).



13 pav. Laiko skirtumas tarp dviejų jutiklių rezultatų [5]

Dėl šios priežasties abiejų jutiklių rezultatai sutapatinami kaip parodyta 14 pav. ir surandamas laikas. Tai gali būti padaroma įvairiais metodais, tokiais kaip ieškant signalų pikų ir juos lyginant arba signalams taikant koreliaciją. Skirtingi metodai lemia skirtingas paklaidas, todėl reikia parinkti racionaliausią variantą laikui tarp signalų rasti, kad paklaida būtų kiek įmanoma labiau sumažinama. Taip pat reikia atsižvelgti ir į tai, kad siekiant kuo labiau sumažinti paklaidą dažnu atveju reikia atlikti daugiau skaičiavimų, o tai reiškia, kad signalų apdorojimas gali būti labai sudėtingas ir neefektyvus, nes tam reikės labai galingo procesoriaus, greitesnio duomenų perdavimo.



14 pav. Iš A ir B jutiklių gautų duomenų vaizdas (a), sutapatintas jutiklių duomenų vaizdas (b) [7]

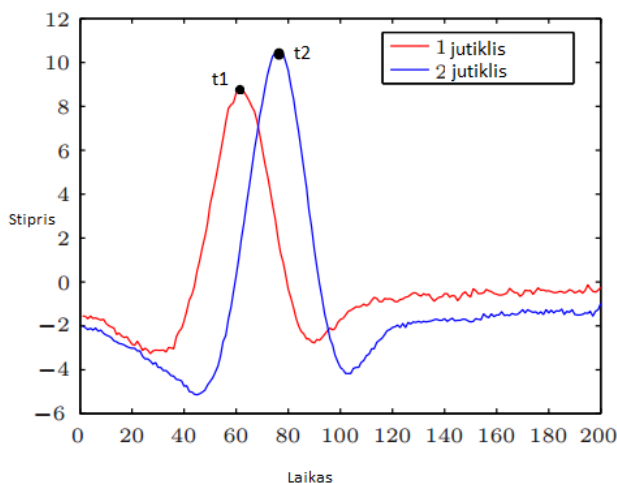
1.2.3 Transporto srauto greičio nustatymas

Naudojant magnetinius jutiklius, arba vieną magnetinį jutiklį galima nustatyti transporto priemonių srauto judėjimo greitį. Toks greičio nustatymo būdas naudojamas aptikti transporto spūstims. Jutiklis aptinka transporto priemones vieną po kitos ir pagal tai sudaro funkciją $q(v,d) \geq 0$, kur v yra vidutinis transporto priemonių judėjimo greitis, o d yra vidutinis atstumas tarp transporto priemonių. Srauto greitis ir atstumas tarp transporto priemonių gali būti randamas įvairiais būdais. Kai vidutinis greitis ir atstumas tampa mažesni už nustatytą ribą, tai traktuojama, kaip transporto spūstis.

Toks greičio matavimo metodas nereikalauja atlikti daug skaičiavimų, tačiau jis nėra tikslus. Deja, bet šiuo metodu negalima nustatyti nei momentinio, nei vidutinio vienos transporto priemonės greičio.

1.2.4 Greičio nustatymas surandant signalų pikus.

Kaip jau minėta anksčiau, tam kad apskaičiuoti judančios transporto priemonės greitį, reikia žinoti laiką tarp dviejų signalų. Vienas paprastesnių, būdų tai padaryti yra signalo pikų ieškojimas. Signalo pikas yra maksimali signalo vertė, arba kai gretimos signalo vertės yra ženkliai mažesnės.



15 pav. Dviejų jutiklių signalų pikai

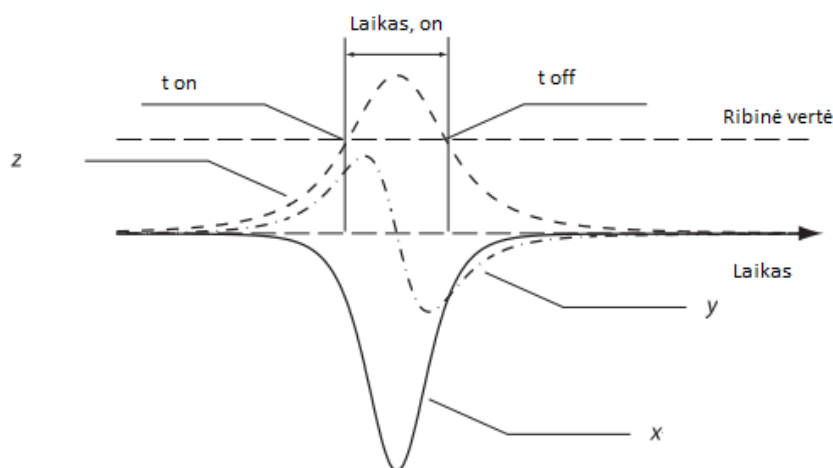
Turint dviejų signalų pikus galima iš vėlesniojo signalo diskretinio laiko vertės atimti pirmojo signalo laiko vertę, taip gaunamas diskretinio laiko skirtumas, kurį žinant galima suskaičiuoti laiką ir greitį.

Tačiau toks laiko skaičiavimo būdas dažnu atveju gali būti labai netikslus, kadangi užfiksuota maksimali vertė nebūtinai atitiks tikrąją vertę dėl diskretizacijos dažnio, o tai lems

nemažas paklaidas. Kad ši paklaida būtų sumažinta reikia didinti diskretizacijos dažnį, bet tai gali paversti sistemą neoptimalia.

1.2.5 Greičio nustatymas užsiduodant ribinę vertę

Norint, kad greičio matavimas būtų tikslesnis, laiką galima matuoti nusistačius tam tikrą ribinę vertę ir užfiksuoti kylančio ir krintančio signalo vertes, kurios kerta užsiduotą ribą. 16 paveiksle matomas signalas trijose ašyse, užsiduota ribinė vertė, ją kertantis signalas ir gaunamos laiko atskaitos.



16 pav. Signalas trijose ašyse ir užsiduota ribinė vertė [15]

Kadangi signalai turėtų būti vienodi, atlikus tokius matavimus galima gauti dvi greičio vertes v_1 ir v_2 iš jų apskaičiuoti vidurkį, siekiant padidinti tikslumą. Greičio vidurkio skaičiavimas pateikiamas 9 išraiškoje.

$$v_{\text{est}} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{t_{2,\text{on}} - t_{1,\text{on}}} + \frac{d}{t_{2,\text{off}} - t_{1,\text{off}}} \right). \quad (9)$$

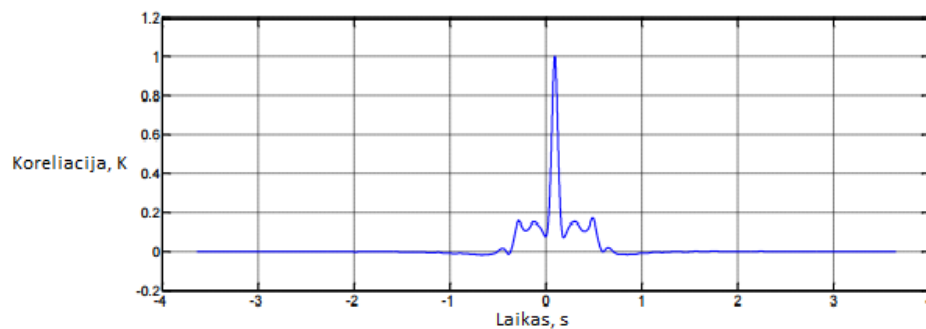
Tokiam greičio skaičiavimui įtaką turi jutiklių jautrumas, kuris į signalą įneša nedidelį vėlinimą ε . Skaičiuojant nedidelių transporto priemonių greitį šis vėlinimas turi nykstamai mažą įtaką, tačiau jei norima suskaičiuoti didesnės transporto priemonės greitį, į išraišką reikia įtraukti vėlinimą.

$$v_{\text{est}} = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{t_{2,\text{on}} - t_{1,\text{on}} + \varepsilon} + \frac{d}{t_{2,\text{off}} - t_{1,\text{off}} - \varepsilon} \right) \quad (10)$$

$$= \frac{d(t_{2,\text{on}} - t_{1,\text{on}} + t_{2,\text{off}} - t_{1,\text{off}})}{(t_{2,\text{on}} - t_{1,\text{on}})(t_{2,\text{off}} - t_{1,\text{off}}) + \varepsilon([t_{2,\text{on}} - t_{1,\text{on}}] - [t_{2,\text{off}} - t_{1,\text{off}}]) + \varepsilon^2}.$$

Kuo didesnis atstumas tarp jutiklių, tuo mažesnę paklaidą galima gauti, taip pat didesnis diskretizacijos dažnis gali padidinti tikslumą. Kai signalo diskretizacijos dažnis yra didesnis nei du kartus už Nyquist dažnį, tada signalui galima atlikti interpoliaciją. Tai sumažintų skaičiavimų skaičių, tačiau dėl šios priežasties nukentėtų rezultato tikslumas.

Kitas būdas laiko skirtumui tarp dviejų signalų nustatyti yra abipusė koreliacija. Gauti signalai yra lyginami vienas su kitu ir taip randamas atskaitų skaičius per kurį gautos kreivės yra nutolusios viena nuo kitos. Sujungus diskretinius taškus gaunama koreliacijos kreivė.



17 pav. Koreliacijos kreivė

Atskaitų skaičius padalinamas iš diskretizacijos dažnio ir taip vietoje diskretinio gaunamas realus laikas. Geriausias signalų sutapimas ir mažiausia klaida gaunama, kai koreliacijos koeficientas yra didžiausias.

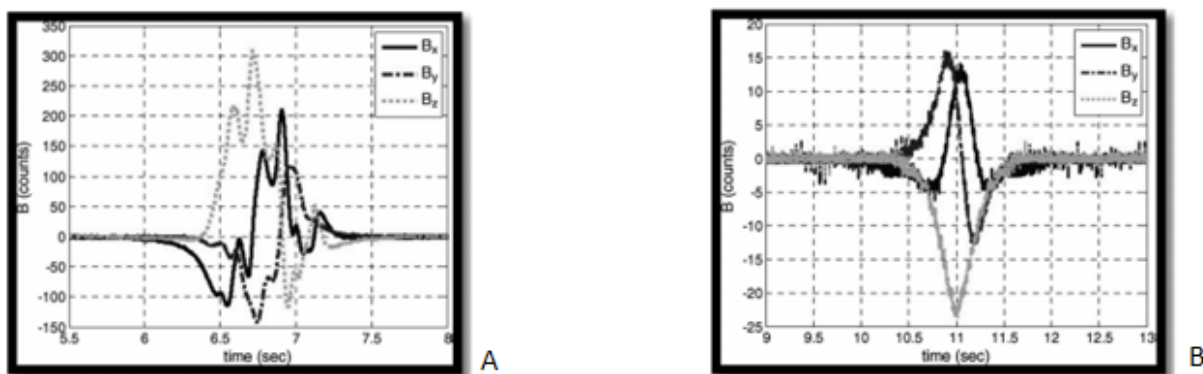
1.3 Greičio matavimo įrenginiai naudojantys magnetinius jutiklius

1.3.1 Realus laiko transporto srauto stebėjimo sistema naudojanti AMR jutiklius

Pagrindinis šio projekto [17] tikslas buvo sukurti automatizuotą sistemą, kurią sudaro 3 AMR jutikliai. 2 jutikliai padeda nustatyti transporto priemonės aukštį, o trečiasis padėtas nuo kitų dviejų tam tikru iš anksto nustatytu atstumu reikalingas greičio matavimui. Naudojant tokią sistemą galima nustatyti automobilio greitį, bei dydį, kuris gali būti panaudojamas klasifikavimui. Sistemą valdo PIC mikrovaldiklis. Pats mikrovaldiklis duomenų neapdoroja, o tik nuskaito ir reikalingus duomenis perduoda į kompiuterį. Jutikliai išdėstyti šalia kelio važiuojamosios dalies, taip siekiant gauti kuo panašesnius signalus.

Tam, kad apskaičiuoti automobilio greitį panaudojami du horizontaliai kelio atžvilgiu esantys jutikliai. Greičio nustatymui reikalingas abiejų jutiklių objekto atpažinimo laikas. Laikas įvertinamas nustatčius tam tikras ribines vertes, kurias peržengus užfiksuojamas laikas. Žinant šį laiką apskaičiuojamas greitis. Padalinus atstumą iš abiejų jutiklių įsijungimo laikų ir išsijungimo laikų vidurkio gaunamas greitis.

Palyginus kokie rezultatai gaunami, kai jutikliai būna įtaisyti į kelio dangą per vidurį važiuojamosios juostos ir kai naudojamas perkeliamas sistema ir jutikliai išdėstyti šalia važiuojamosios dalies gaunamas nemažas rezultatų skirtumas.



18 pav. Signalai gauti iš magnetinių jutiklių: a) kai jutiklis įmontuotas į kelią; b) kai jutiklis šalia kelio [17]

18 paveiksle matyti, kad analizuojant signalus, kai jutiklis yra įmontuotas į kelią, o kitas šalia kelio, pakeltas nuo žemės apie 60 centimetrų. Antruoju atveju rezultatas gaunamas daug tolydesnis tačiau signalo vertės gaunamos 10 kartų mažesnės.

19 pav. parodo trijų jutiklių išdėstymą, kurie pastatomi prie važiuojamosios dalies. Jutikliai 1 ir 3 nutolę vienas nuo kito tiksliai žinomu atstumu, tam kad būtų galima suskaičiuoti greitį. Transporto priemonių klasifikavimui naudojami visi trys jutikliai.



19 pav. Jutiklių išdėstymo schema transporto priemonės greičio ir parametrų nustatymui.

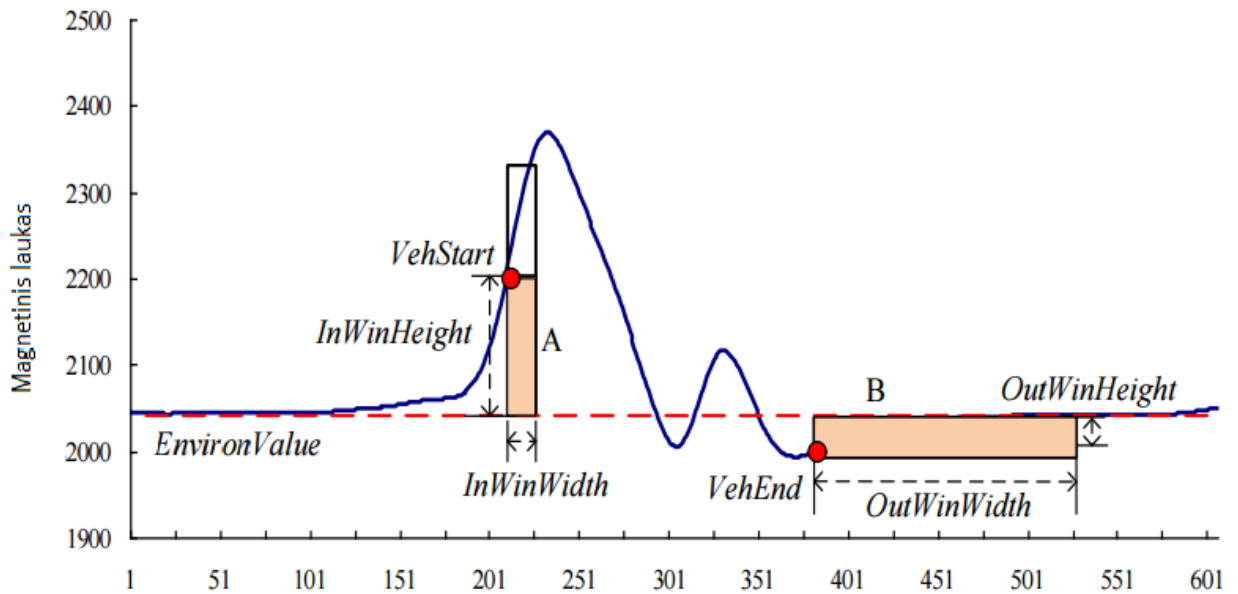
[17]

Šiame projekte norima parodyti, kad tokia perkeliama sistema geba pakankamai tiksliai nustatyti transporto priemonių greitį, jas klasifikuoti, bei skaičiuoti. Taip pat patogu tai, kad sistemos nereikia įmontuoti į kelio dangą, užtenka tiesiog pastatyti šalia kelio. Tačiau sistema gali klasifikuoti transporto priemones tik į dvi grupes (didelės ir mažos transporto priemonės), taip pat nustatytos ribinės vertės pagal kurias skaičiuojamas greitis gali būti netikslios, kadangi kiekvienos transporto priemonės signalas bus skirtingas, dėl šios priežasties gali atsirasti paklaidos arba greitis apskritai gali būti nebeapskaičiuotas, ypač esant didesniam greičiui.

1.3.2 Transporto priemonės greičio nustatymo metodai panaudojant vieną magnetinį jutiklį

Kaip jau žinoma transporto priemonė pravažiuodama pro magnetinį jutiklį iškraipo žemės magnetinį lauką ir taip gaunamas tam tikras signalas. Šiame projekte [18] nuskaitytas signalas apdorojamas žemo dažnio FIR filtru ir taip paruošiamas analizei. Tam kad aptikti transporto priemonę yra nustatoma slenkstinė vertė. Tik tuo atveju kai magnetinio lauko amplitudė yra pakankamai didelė ir nesumažėja žemiau slenkstinės vertės pakankamą laiką, transporto priemonė yra identifikuojama.

Kaip parodyta 20 pav. InWinHeight ir InWinWidth nurodo transporto priemonės pradžios generuojamo signalo amplitudės ir laiko slenkstines vertes. Taip pat, kaip ir transporto priemonės pradžios nustatymui, pabaigai naudojamos kitos slenkstinės vertės OutWinHeight ir OutWinWidth, kurios taip pat nurodo reikiamą amplitudę ir laiko tarpą. A sritis yra transporto priemonės pradžios sritis, kai artėjama link jutiklio, B sritis – pabaigos sritis, kai tolstama nuo jutiklio. Keturios slenkstinės vertės turi būti sukalibruojamos pagal tam tikrus duomenis.



20 pav. Grafikas parodantis transporto priemonės pradžios(artėjimo) ir pabaigos (tolėjimo) sritis [18]

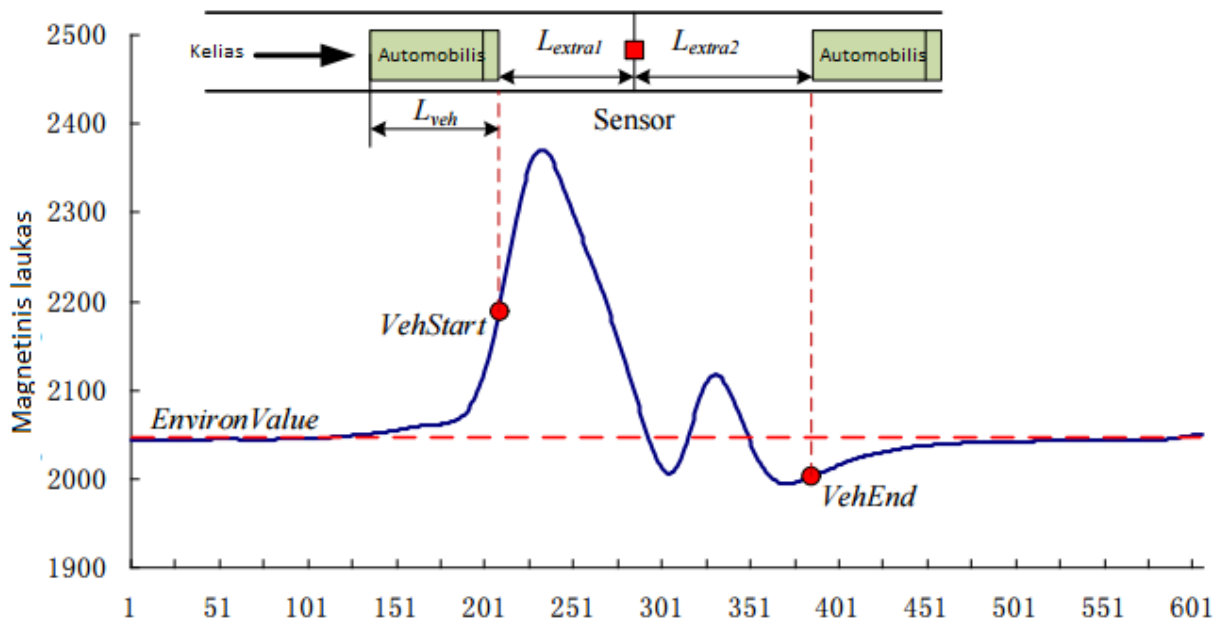
Įvertinant tai, kad tarp žemės magnetinio lauko ir pravažiavusios transporto priemonės generuojamų signalų skirtumas yra labai didelis, kai amplitudė viršija nustatytą ribą (A, 20 pav.) tą vietą galima pažymėti ir jei per tam tikrą laiką amplitudė nenukrenta žemiau nustatytos ribos, tai traktuoti kaip transporto priemonės pradžią. Analogiška situacija ir su pabaiga (B, 20 pav.).

Jei transporto priemonės ilgis yra žinomas atsižvelgiant į laiką, per kurį ji pravažiuoja pro jutiklį, galima suskaičiuoti judėjimo greitį.

$$v_A = \frac{(L_{Veh} + L_{extra}) \times 1000 \times 3.6 \times fs}{VehEnd - VehStart} \text{ (km/h)} \quad (11)$$

L_{Veh} – transporto priemonės ilgis, L_{extra} – papildomas ilgis, fs – diskretizacijos dažnis, $Vehstart$ ir $Vehend$ tai yra diskretiniai transporto priemonės pradžios ir pabaigos taškai.

Kadangi tiek $Vehstart$, tiek ir $Vehend$ taškų amplitudės nėra lygios amplitudėms, kurios gaunamos tiksliai tada, kai transporto priemonės priekis arba galas būna prie jutiklio reikia pridėti parametą L_{extra} . Kai gauto signalo amplitudė yra lygi $Vehstart$, atstumas tarp transporto priemonės priekio ir jutiklio yra L_{extra1} . Ta pati situacija ir esant už jutiklio. Atstumas nuo jutiklio iki $Vehend$ yra L_{extra2} . Taip gaunamas bendras atstumas $L_{extra} = L_{extra1} + L_{extra2}$.



21 pav. Grafikas parodantis transporto priemonės pradžią, pabaigą ir L_{extra} [18]

Žinant tai, kad tos pačios transporto priemonės signalas bus vienodas, tačiau priklausomai nuo jo greičio skirsis ar signalas bus suspaustas, ar ištemptas. O tuo pačiu greičiu judančių transporto priemonių signalas skirsis. Taigi to pačio tipo transporto priemonėms L_{extra} turi būti vienodas, o skirtingų tipų – gali skirtis. Tada remiantis klasifikacijos duomenimis skirtingiems tipams gali būti pritaikomas skirtingas L_{extra} . Šio projekto tyrimai parodė, kad skirtingų tipų transporto priemonių L_{extra} daugeliu atvejų labai daug nesiskyrė, todėl buvo paimtas visų rezultatų vidurkis.

Iš esmės tai yra veikiantis greičio nustatymo metodas, tačiau jis gali būti taikomas tik tam tikriems transporto priemonių tipams. Reikalingi duomenys apie automobilių ilgį bei magnetinio lauko iškraipymus. Turint tikslius duomenis ir gaunant signalą be jokių trikdžių greitį apskaičiuoti galima pakankamai tiksliai, tačiau tai veikia tik teoriškai, kadangi realiomis sąlygomis signalą gali įtakoti aplinkos trikdžiai ir jis gali būti neteisingai įvertintas. Taip pat jei transporto priemonė pakrauta kažkokių medžiagų, kurios gali daryti įtaką magnetiniam laukui, sistema gali neteisingai atpažinti arba iš viso neatpažinti.

2 TIRIAMOJI DALIS IR REZULTATAI

Tiriamojame dalyje aprašomas duomenų apdorojimo procesas. Atliekama gautų duomenų analizė, panaudojami skirtingi duomenų apdorojimo metodai. Pateikiami gauti rezultatai, grafikai ir lentelės.

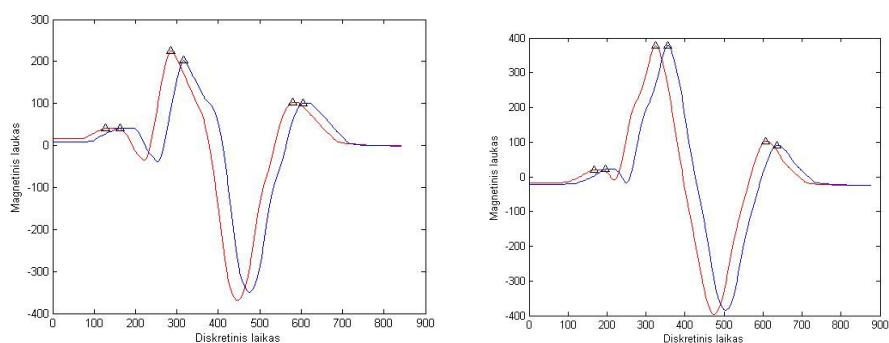
2.1 Tyrimo rezultatai

2.1.1 Transporto priemonės greičio nustatymas

Duomenys gaunami ant kelio padėjus 2 magnetinius jutiklius. Jutikliai buvo išdėstyti viduryje juostos, taip sumažinant kitose eismo juostose, važiuojančių automobilių įtaką nuskaitomiems signalams ir sumažinant tikimybę gauti klaidingus signalus. Kadangi palyginus su automobilio ilgiu atstumas tarp jutiklių yra pakankamai mažas (30 cm), taip pat sumažinama tikimybė gauti skirtingus signalus iš atskirų jutiklių, net jei automobilis pro juos pravažiuos nevisai tiesiai, pavyzdžiui darydamas persirikiavimo į kitą eismo juostą manevrą.

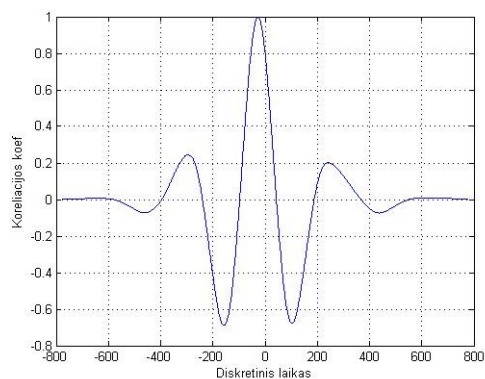
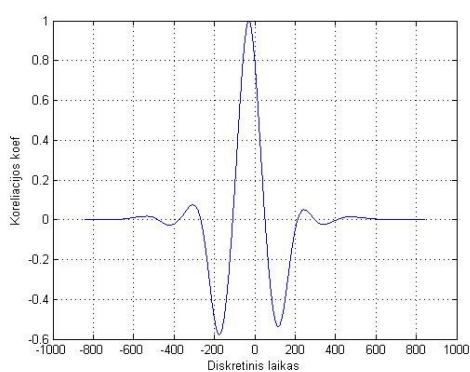
Tyrimas atliktas laiką surandant naudojant abipusę koreliaciją ir skaičiuojant laiko skirtumų vidurkį tarp signalo pikų. Taip virš jutiklių buvo pravažiuojama trijose skirtingose vietose, kas 20cm į šonus.

Surandami signalų pikai X ašyje:



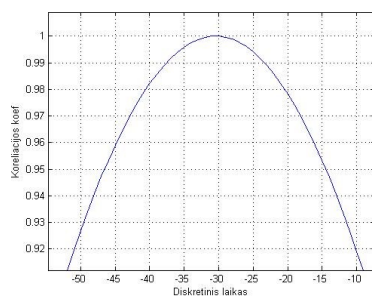
22 pav. Volvo automobilio dviejų jutiklių signalai ir jų pikai X ašyje

Surandama signalų abipusė koreliacija X ašyje:



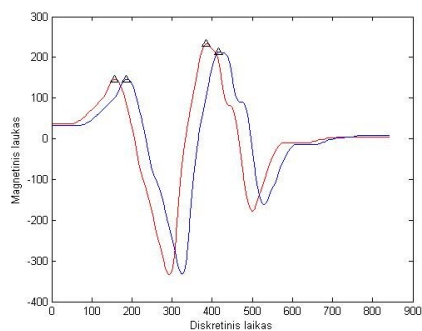
23 pav. Volvo automobilio dviejų jutiklių signalų abipusės koreliacijos kreivės X ašyje

Kaip matyti iš grafikų tiek grafikai, kur ieškoma signalų pikų, tiek abipusės koreliacijos grafikai, kai transporto priemonė pro jutiklius pravažiavo skirtingose vietose yra labai panašūs.

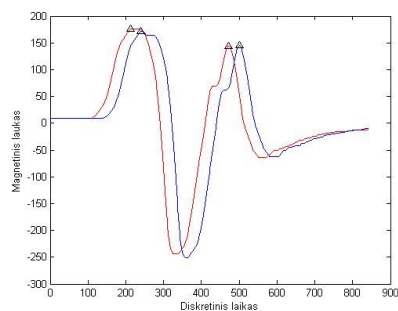


24 pav. Volvo automobilio dviejų jutiklių signalų abipusės koreliacijos kreivės X ašyje

Surandami signalų pikai Y ir Z ašyse:



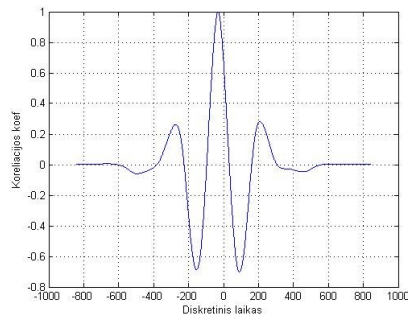
a)



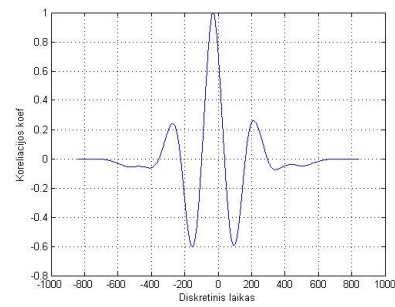
b)

25 pav. Volvo automobilio dviejų jutiklių signalai ir jų pikai a)Y ašyje, b)Z ašyje

Pagal signalų grafikus sunku nuspręsti, kurią ašį naudoti laiko tarpo tarp signalų paieškai būtų geriausia, kadangi pro jutiklius pravažiuavus būtent šiuo automobiliu gaunami pakankamai ryškūs pikai.



a)



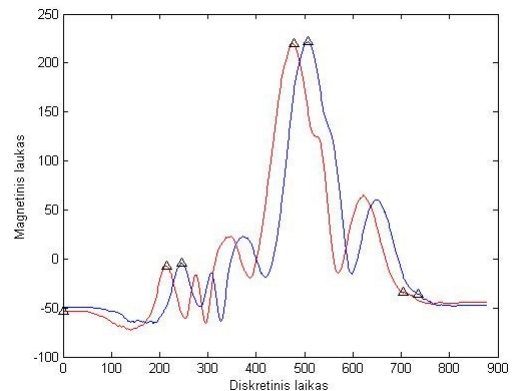
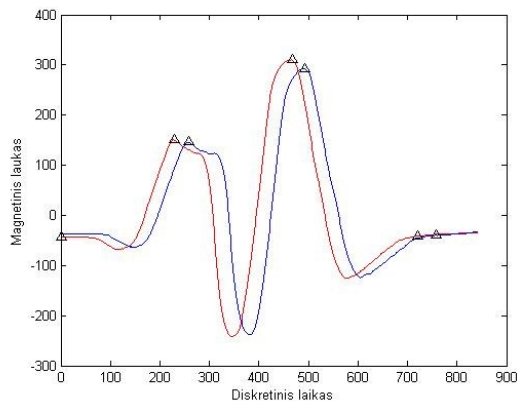
b)

26 pav. Volvo automobilio dviejų jutiklių signalų abipusės koreliacijos kreivės a) Y ašyje, b) Z ašyje

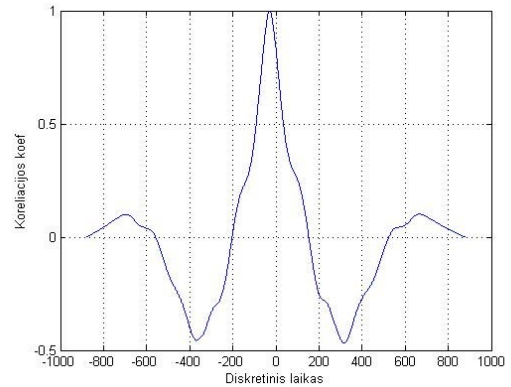
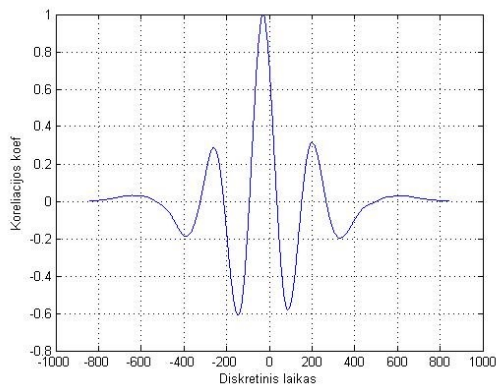
Kitas metodas, kuris naudojamas šiam tyrimui yra, kai surandamas signalo visų trijų ašių modulis, kuris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Mod_t = \sqrt{x_t^2 + y_t^2 + z_t^2}; \quad (12)$$

Apskaičiavus signalo visų trijų ašių modulį, jam taikomos tokios pačios procedūros, ieškoma pikų ir atliekama abipusė koreliacija.



27 pav. Volvo automobilio pravažiavusio skirtingose vietose virš jutiklių signalų modulių grafikai ir jų pikai



28 pav. Volvo automobilio pravažiavusio skirtingose vietose virš jutiklių signalų modulių abipusės koreliacijos kreivės

Dar vienas metodas, kuris naudojamas šiam tyrimui, tai vektorinė deviacija. Ši deviacija apskaičiuojama naudojant išraiškas:

$$\cos_{x_l} = \frac{x_l}{\text{mod}_l}; \quad (13)$$

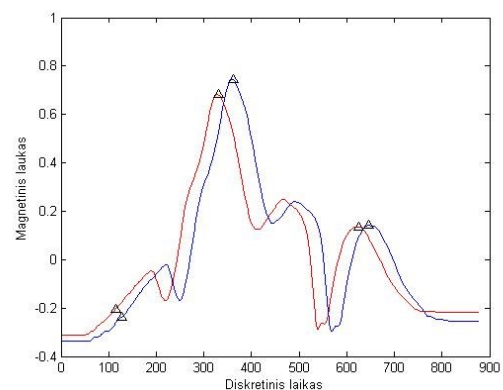
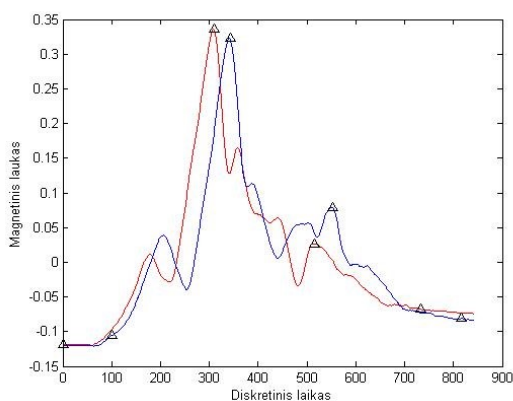
$$\cos_{y_l} = \frac{y_l}{\text{mod}_l}; \quad (14)$$

$$\cos_{z_l} = \frac{z_l}{\text{mod}_l}; \quad (15)$$

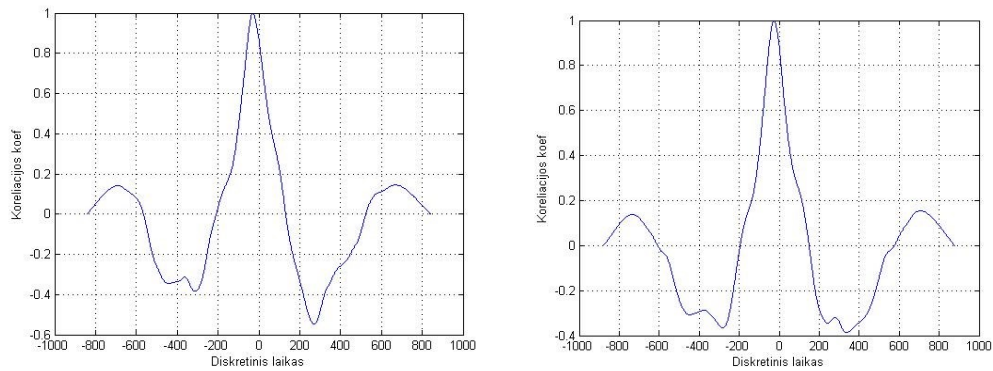
$$K = \sqrt{(\cos_{x_l} - \cos_{x_0})^2 + (\cos_{y_l} - \cos_{y_0})^2 + (\cos_{z_l} - \cos_{z_0})^2}; \quad (16)$$

, kai mod_i randamas panaudojus (1) išraišką.

Apskaičiavus vektorinę deviaciją vėl bandoma surasti signalų pikus ir koreliacijas.



29 pav. Volvo automobilio pravažiavusio skirtingose vietose virš jutiklių vektorinės deviacijos signalai ir jų pikai



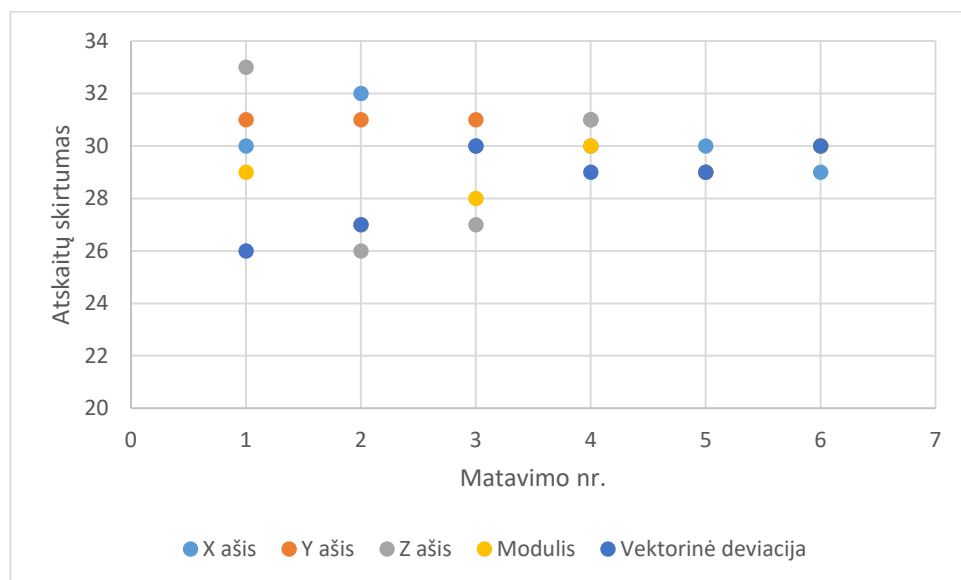
30 pav. Volvo automobilio pravažiavusio skirtingose vietose virš jutiklių signalų vektorinės deviacijos abipusės koreliacijos kreivės

Atlikus šiuos skaičiavimus matlab programoje duomenys suvedami į lentelę:

1 lentelė. Signalų skirtumo rezultatai

	Pikų skirtumo vidurkis			Koreliacija		
	Volvo +20cm	Volvo	Volvo -20 cm	Volvo +20cm	Volvo	Volvo -20 cm
X ašis	30	32	30	30	30	29
Y ašis	31	31	31	31	29	30
Z ašis	33	26	27	31	29	30
Modulis	29	27	28	30	29	30
Vektorinė deviacija	26	27	30	29	29	30

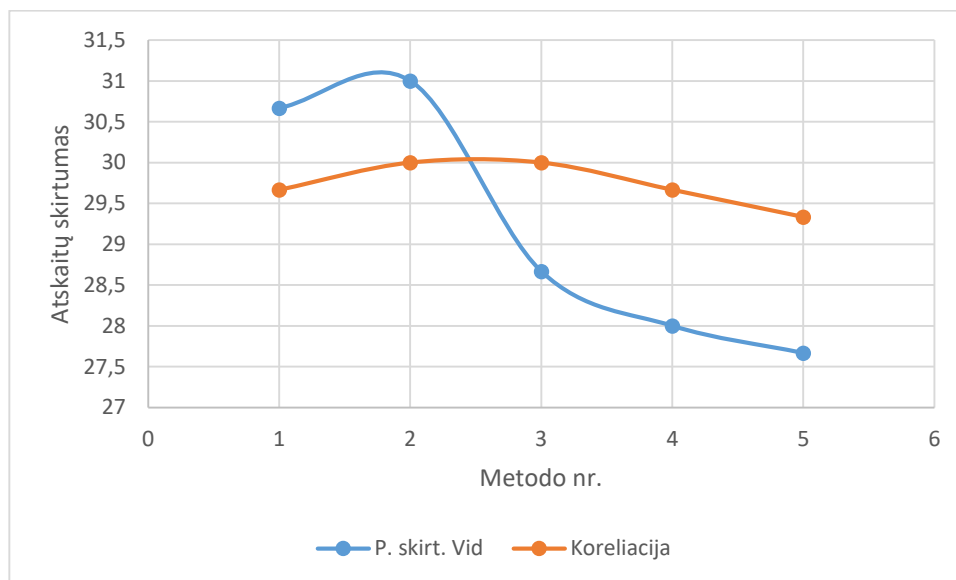
*



31 pav. Volvo automobilio pravažiavusio skirtingose vietose virš jutiklių, gautų laiko skirtumų pikų paieškos ir koreliacijos metodais, duomenų išsibarstymas

2 lentelė. Signalų skirtumų vidurkio rezultatai

	P. skirt. Vid	Koreliacija
X ašis	30,7	29,7
Y ašis	31	30
Z ašis	28,7	30
Modulis	28	29,7
Vektorinė deviacija	27,7	29,3

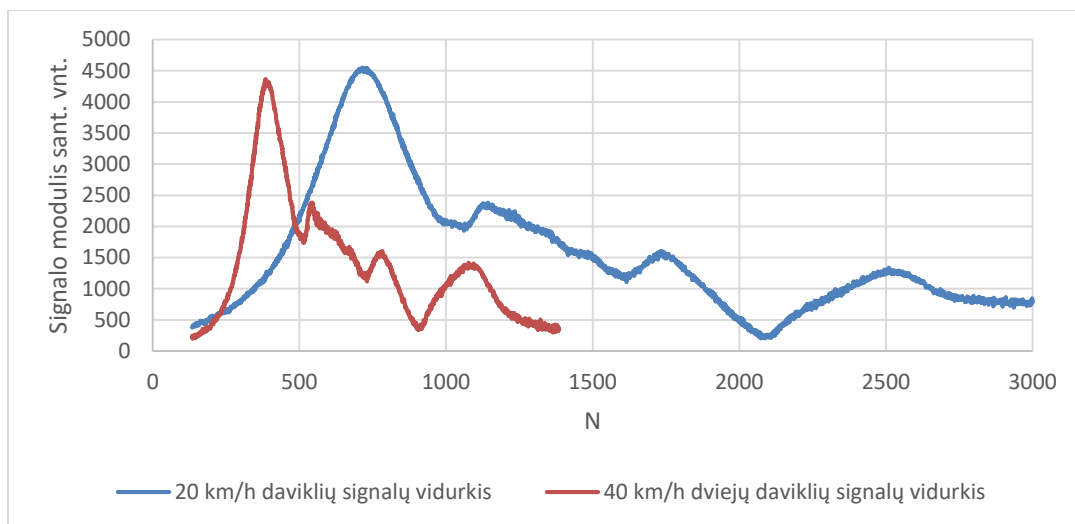


32 pav. Volvo automobilio pravažiavusio skirtingose vietose virš jutiklių, gautų laiko skirtumų pikų paieškos ir koreliacijos metodais, vidurkio išsibarstymas

Kadangi ieškant laiko skirtumo tarp signalų, panaudojant koreliacijos metodą rezultatai gavosi tikslesni – didžiausias skirtumas tarp skirtingų duomenų apdorojimo gavosi mažesnis, nei 3 %, kai pikų skirtumo atveju – daugiau nei 8 %. Taip pat koreliacijos atveju išsibarstymas gavosi mažesnis.

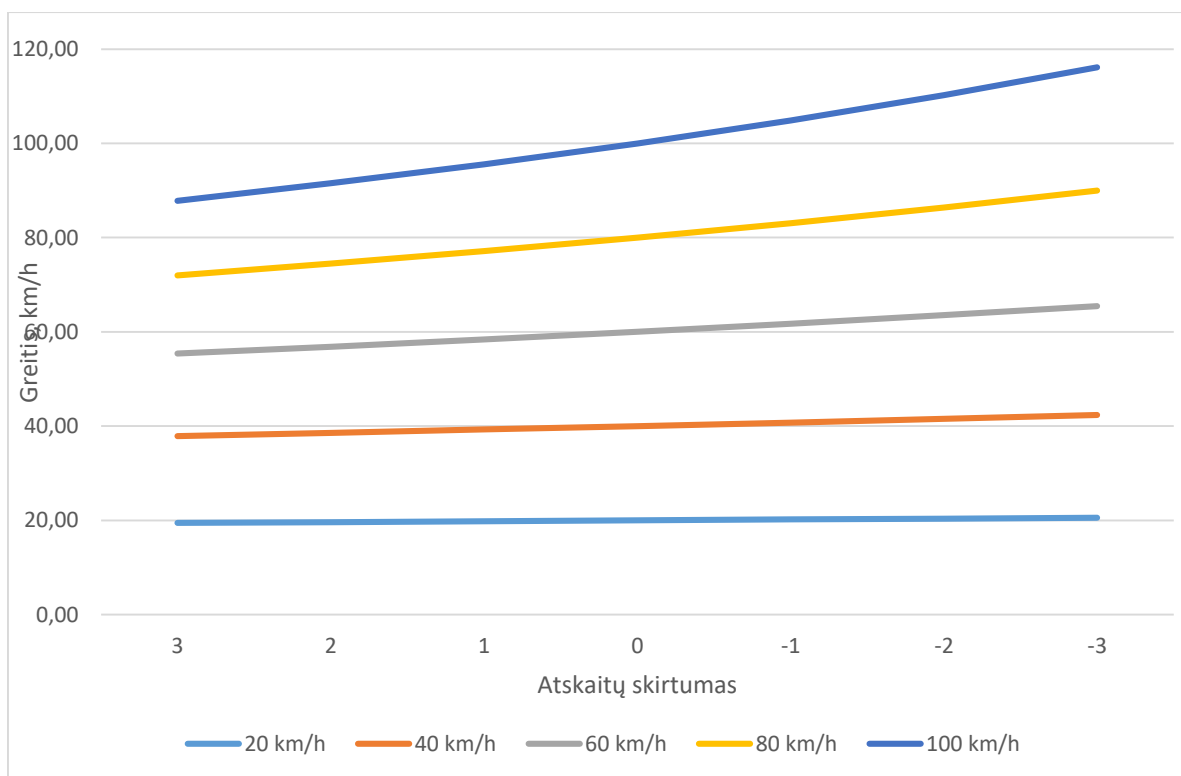
2.1.2 Transporto priemonės greičio paklaidos priklausomybė nuo greičio

Kadangi tai to paties automobilio signalai, tik esant skirtingam greičiui, jie yra labai panašūs, tik skiriasi pačių signalų ilgis. Taip yra todėl, kad diskretizavimo dažnis yra tas pats ir per tą patį laiką yra gaunama tiek pat atskaitų, tik esant didesniai greičiui jos įrašomos greičiau. Automobilio pravažiavusio pro jutiklius 20 km/h ir 40 km/h signalo moduliai pateikiami 33 pav.



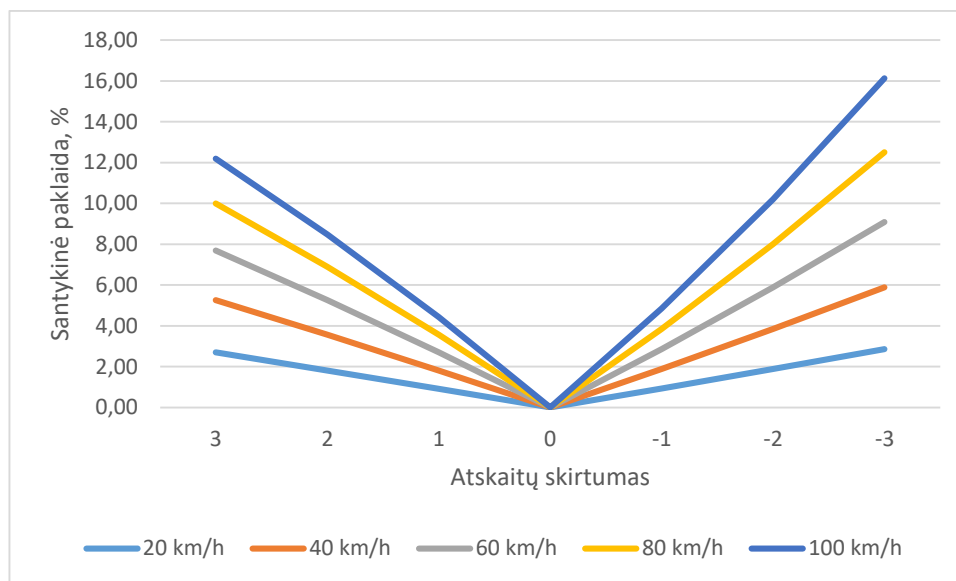
33 pav. Pravažiavusio automobilio virš jutiklių, 40 km/h ir 20 km/h greičiu, gautų signalų moduliai bendroje laiko ašyje

Didėjant transporto priemonės greičiui, dėl pakankamai nedidelio diskretizacijos dažnio, didėja paklaida. Jei greitis skaičiuojamas naudojant koreliacijos metodą, net ir nedidelė koreliacijos paklaida gali lemti pakankamai didelę greičio paklaidą. Apskaičiuoto greičio priklausomybė nuo koreliacijos paklaidos pateikiama 34 pav. Atskaitų skirtumas yra koreliacijos paklaida atskaitomis.



34 pav. Apskaičiuoto greičio priklausomybė nuo koreliacijos paklaidos

Kai koreliacijos paklaidos nėra (atskaitų skirtumas = 0) greitis apskaičiuojamas tiksliai.



35 pav. Santykinų apskaičiuotų greičių paklaidų priklausomybė nuo koreliacijos paklaidos

Esant mažam greičiui (20 km/h), jei koreliacijos paklaida neviršija 3 atskaitų, greičio paklaidai nėra didelė ir nesiekia 3 %. Tačiau jei greitis didesnis, 3 atskaitų paklaida sudarys daugiau nei 12 % paklaidą. Didėjant greičiui paklaida didėja, taip pat jei koreliacijos paklaida didėja, santykinė greičio paklaida didėja tiesiškai, 35 pav.

Jei koreliacijos paklaida yra minusinė, santykinė greičio paklaida didėja greičiau. Taip yra todėl, kad greitis skaičiuojamas iš labai mažo laiko tarpo, o esant minusinei koreliacijos paklaidai jis dar labiau mažėja ir artėja link nulio.

Sumažinti šias apskaičiuoto greičio paklaidas, kurios tampa ypač didelės esant dideliame transporto priemonės judėjimo greičiui, galima keliais būdais.

- Diskretizacijos dažnio padidinimas. Padidinus diskretizacijos dažnį bus gaunama daugiau signalo taškų ir taip bus galima tiksliau apskaičiuoti greitį.
- Interpoliacija. Norint sumažinti paklaidas nekeičiant diskretizacijos dažnio signalus galima tiesiškai interpoliuoti. Taip signalas bus sudarytas iš daugiau taškų, kad šiuo atveju sumažins paklaidas.
- Atstumas tarp jutiklių. Padidinant atstumą tarp jutiklių paklaidos taip pat gali būti sumažinamos. Tačiau padidinus atstumą, paklaidos gali susidaryti dėl ne tiesia kryptimi virš jutiklių pravažiuojančios transporto priemonės, pavyzdžiui atliekant lenkimo manevrą.

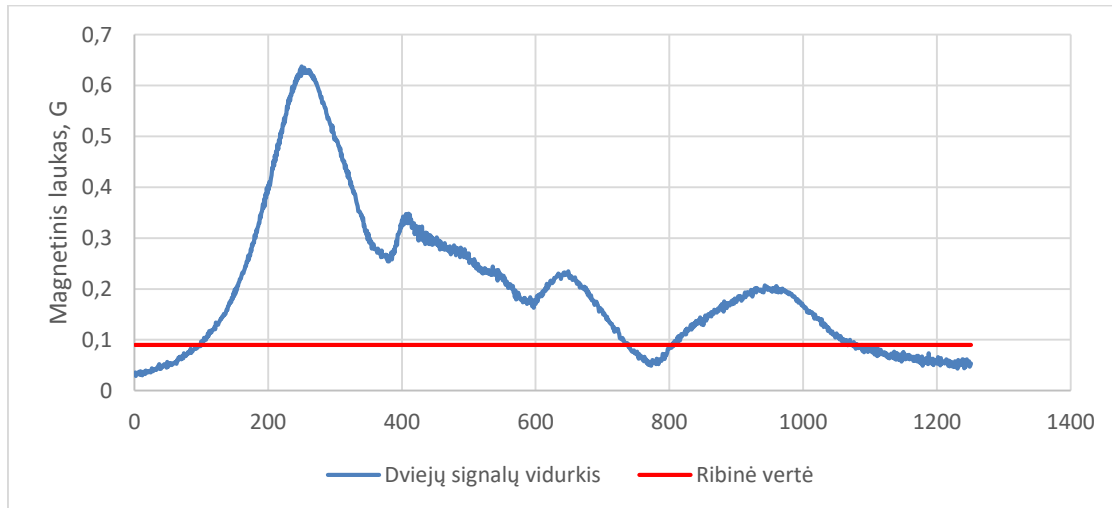
Problema, kad didėjant greičiui paklaida didės, visais atvejais išliks, tačiau ji taps mažesnė.

2.1.3 Transporto priemonės ilgio nustatymas

Automobilio ilgio nustatymas, kuris vėliau gali būti panaudojamas skirtingų transporto priemonių klasifikavimui arba netgi atskirų automobilių skaičiavimui, kadangi kiekvieno automobilio magnetinio lauko iškraipymo signalai skiriasi dėl skirtingai išdėstytų, skirtingų masių metalinių dalių, kurios skirtingai iškraipo magnetinį lauką. Vienodos markės ir modelio automobiliai magnetinį lauką iškraipys labai panašiai, sukaupus tam tikrą kiekį duomenų, pagal gautus signalus, galima būtų išskirti net ir automobilio modelį.

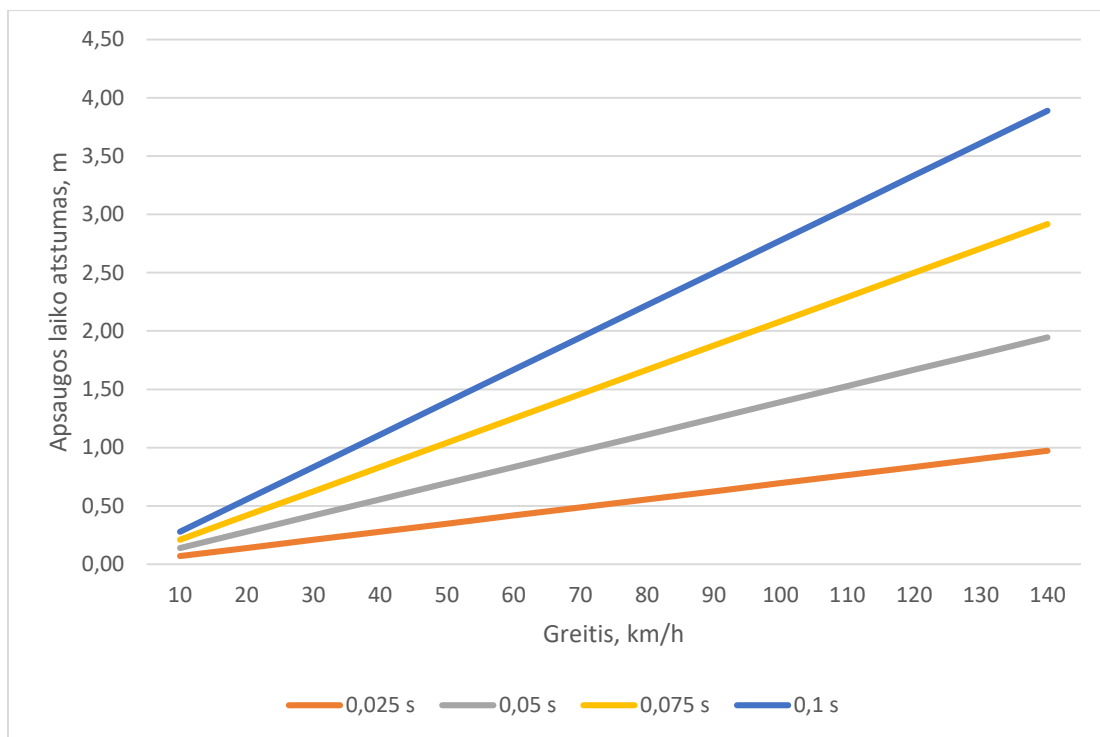
Automobilio aptikimui ir ilgio nustatymui galima naudoti paprastą metodą, kai nustatoma ribinė vertė, kurią peržengus traktuojama, kad tai yra automobilio pradžia ir pabaiga.

Gautą signalą reikia normalizuoti magnetinio lauko vienetais nuo 0 iki 1. Jei lauko stiprumas viršija nustatytas ribas, laikoma, kad tai automobilio pradžia ir pabaiga. Signalo ribinė vertė randama eksperimentiškai, pagal automobilio sukeltus žemės magnetinio lauko iškraipymo signalus. Literatūroje nurodoma, kad optimalios ribinės vertės yra: 40-60 mG [19]. Tokios vertės parenkamos todėl, kad esant šioms vertėms transporto priemonė jau aptinkama, o šalia esančiose eismo juostose važiuojančių transporto priemonių iškraipomo magnetinio lauko stiprumas neturėtų viršyti šių verčių.



36 pav. Pravažiavusio automobilio virš jutiklių, 40 km/h greičiu, gauto signalo modulio vidurkis ir ribinė vertė

Kaip matosi 36 pav. signalas ribinę vertę kerta kelis kartus. Dėl šios priežasties, kad nebūtų klaidingai gaunamas automobilio ilgis, reikia nustatyti apsaugos zoną. Jei signalas nukritęs žemiau per tam tikrą laiko tarpą vėl pakyla virš ribinės vertės, šis kritimas nelaikomas kaip transporto priemonės pabaiga ir kitos transporto priemonės pradžia. Laiko tarpas gali būti parenkamas

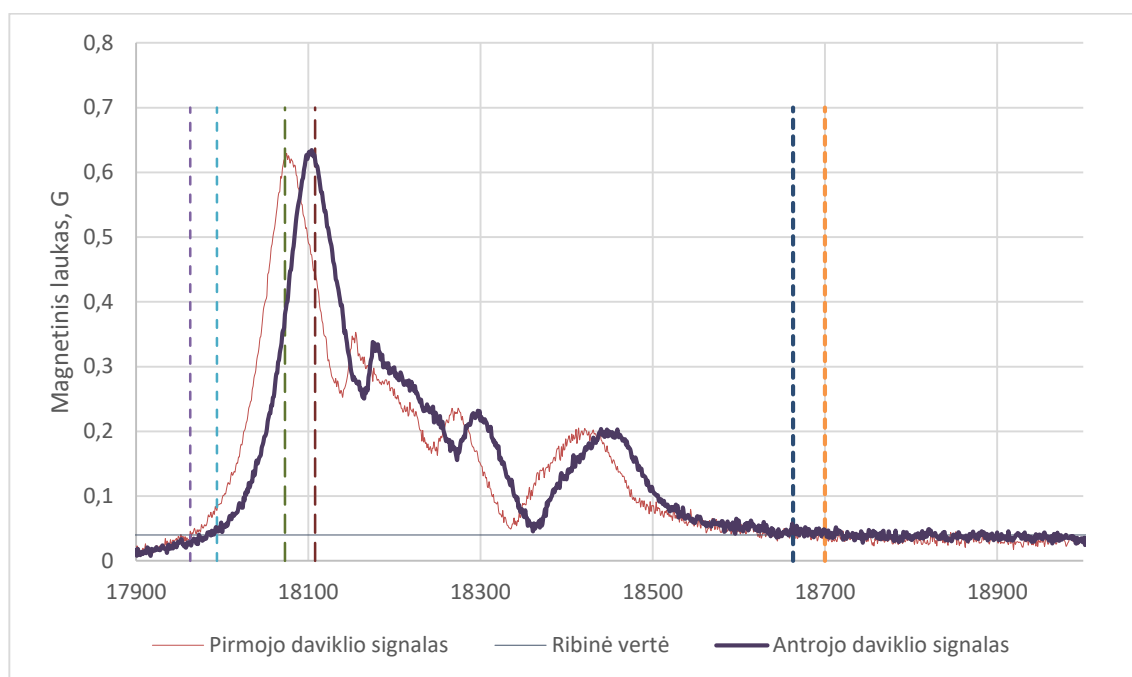


37 pav. Apsaugos laiko priklausomybė nuo greičio esant skirtingiems laiko tarpams

37 pav. parodo kaip kinta apsaugos zonos ilgis esant skirtingam greičiui. Mažiausias atstumas gaunamas, kai paimamas mažiausias laiko tarpas, tačiau esant tokiam mažam laiko tarpui, jo gali būti maža ir automobilio ilgis užfiksuojamas klaidingai.

2.1.4 Kiti transporto priemonės greičio ir ilgio nustatymo metodai

Sekantiems metodams, bus panaudoti duomenys, kurie surinkti kitoje vietoje, važiuojama kita kryptimi, tačiau panaudojant tą patį automobilį (Toyota Avensis) 38 pav. Kadangi matuojant to pačio automobilio, signalų moduliai gauti labai panašūs, taigi, galima daryti prielaidą, kad net matuojant magnetinį lauką skirtingose vietose, automobilio magnetinio lauko iškreipymo signalai leis atpažinti konkretų automobilį.



38 pav. Pravažiavusio automobilio virš jutiklių, 80 km/h greičiu, gautų signalų moduliai ir ribinė vertė(0,04G)

Gautos reikšmės pateiktos 4 lentelėje.

3 lentelė. Greičio rezultatų lentelė

	Skirtumas	Nustatytas greitis km/h
Koreliacija	26	83,1
Pikų skirtumas	28	77.1
Ribinės reikšmės kirtimas pradžioje	31	74
Ribinės reikšmės kirtimas pabaigoje	25	86.4

Kadangi esant didesniai greičiui signalai gauti nevisai tikslūs, su dideliais svyravimais, kurie turi įtakos teisingam vietai, kur kertama ribinė vertė nustatymui – greičio paklaidos taip pat gavo didesnę.

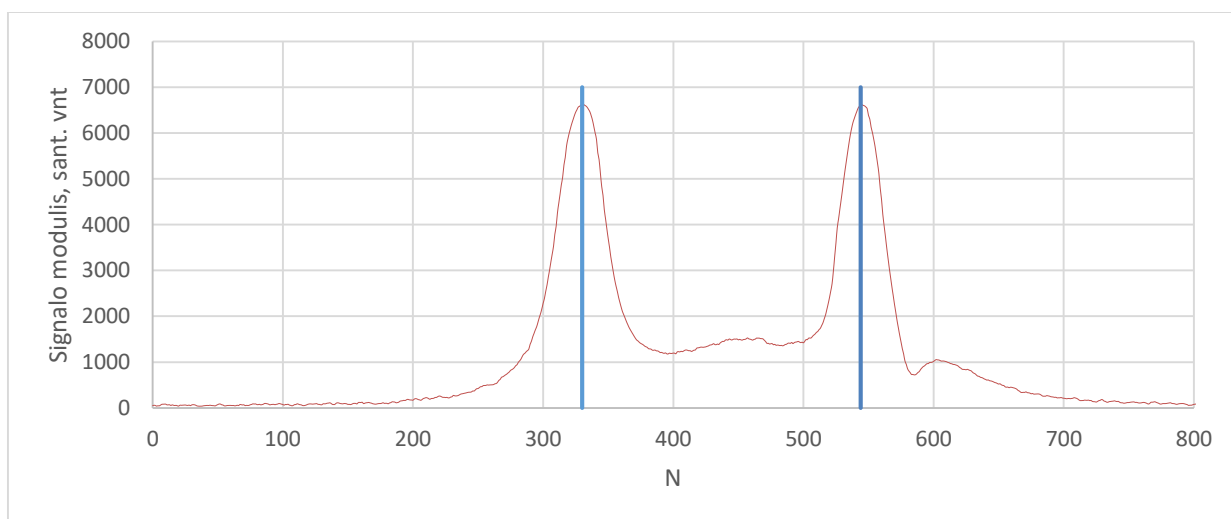
Tam kad sumažinti šias paklaidas, reikia signalą apdoroti slenkančio vidurkio funkcija. Reikia rasti tinkamą intervalą, kadangi neteisingas intervalo parinkimas gali sukelti dar didesnes paklaidas.

Suvidurkintas signalas tampa tolygesnis ir tokiu būdu galima išvengti klaidų vietose, kur signalas kerta ribinę vertę. Taip pat maksimalios signalo reikšmės, kurios naudojamos diskretinio laiko skirtumui rasti tarp dviejų signalų, tampa aiškesnės.

2.1.5 Transporto priemonių ilgio nustatymas, panaudojant pikus

Toliau tyrimui naudojami duomenys surinkti realiame eisme, kur važinėja skirtingos transporto priemonės, jų važiavimo trajektorijos skiriasi, taip pat greitis nėra iš anksto žinomas. Iš surinktų duomenų apskaičiuojamas transporto priemonių greitis, kuris reikalingas norint apskaičiuoti transporto priemonės ilgį. Iš dviejų jutiklių signalų išvedamas vidurkis. Taip pat signalui pritaikomas slenkančio vidurkio filtras, kad pašalinti smulkius svyravimus.

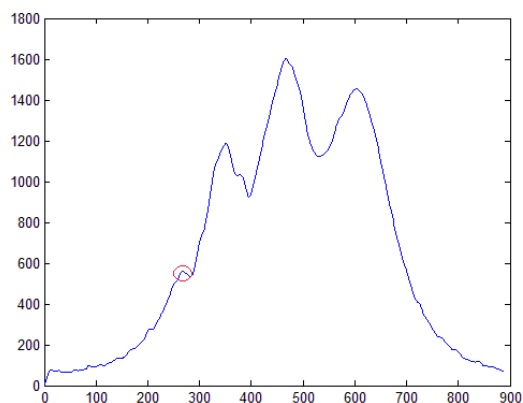
Pirmasis tiriamas būdas automobilio ilgiui nustatyti yra skirtumo, tarp dviejų ryškių pikų, suradimas ir įvertinimas, 39 pav. Kadangi dažniausiai daugiausia įvairių metalinių detalių transporto priemonėse išdėstyta ties priekine ir gale ašimis. Atitinkamai likusi automobilio dalis priekyje ir gale standartiškai būna panašaus ilgio. Įvertinant tai, suradus atstumą tarp pikų ir pritaikius tam tikrą koeficientą, galima gauti apytikslį automobilio ilgį nepriklausomai nuo automobilio markės ar modelio.



39 pav. Pravažiavusio Audi TT automobilio virš jutiklių signalas ir pikai

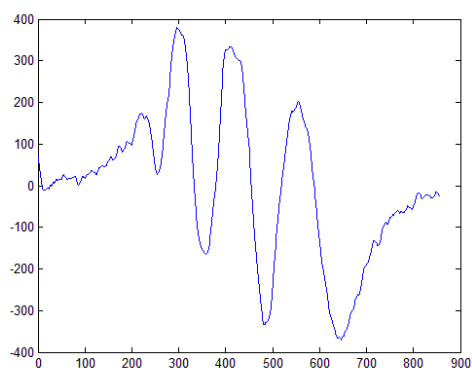
2.1.6 Transporto priemonių ilgio nustatymas, analizuojant signalo išvestinę

Kitas metodas transporto priemonės ilgio nustatymui, yra gauto signalo išvestinės analizavimas. Kaip ir prieš tai, pirmiausia iš dviejų jutiklių signalų išvedamas vidurkis ir gautam rezultatui pritaikomas slenkančiojo vidurkio filtras. Išvestinės analizavimas naudojamas dėl tos priežasties, kad modulio maksimalios vertės gali būti aptinkamos neteisingai. Signalas modulis pavaizduotas 40 paveiksle.



40 pav. Pravažiavusio VW Golf mk4 automobilio virš jutiklių signalas

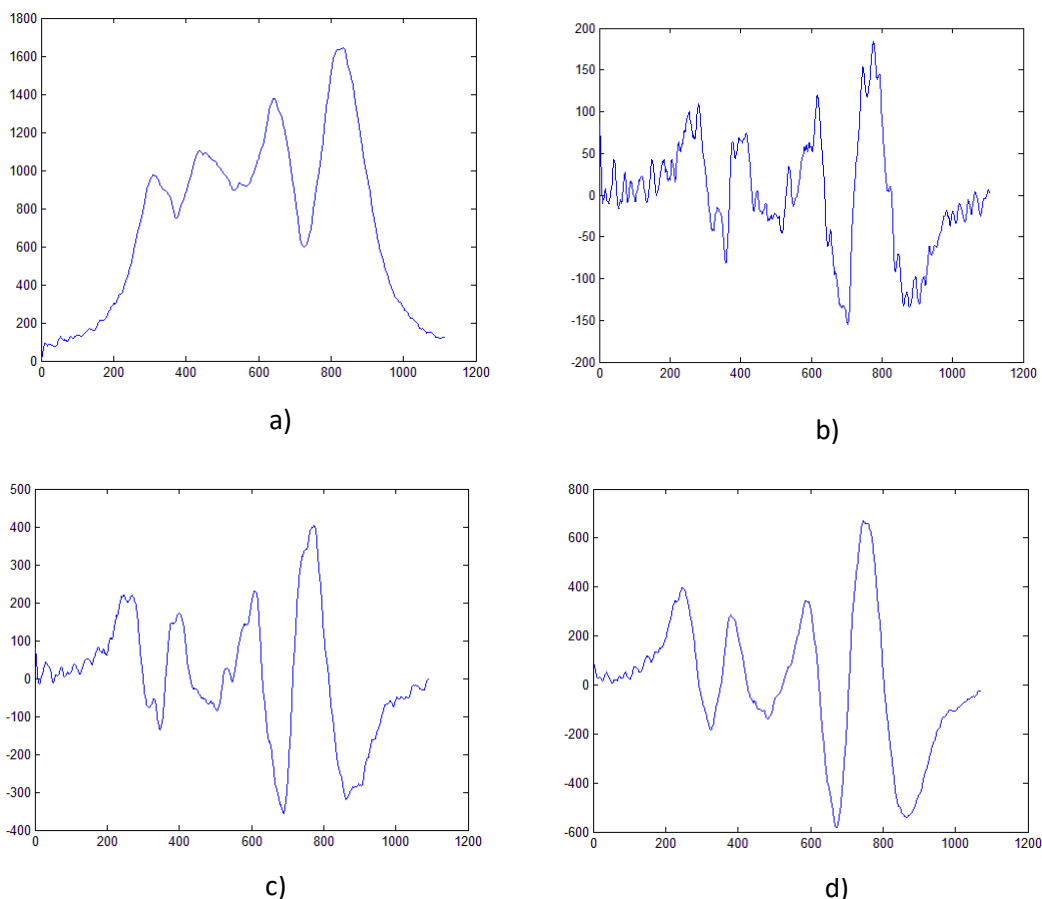
Pravažiavęs automobilis šiuo atveju yra VW Golf, kurio greitis važiuojant virš jutiklių buvo 82,23 km/h. Iš grafiko matyti, kad signalo pradžioje yra pikas, kuris yra pakankamai aukštai, kad būtų aptiktas kaip pirmasis pikas ir tokiu atveju ilgis būtų apskaičiuojamas neteisingai. Tam, kad to išvengti, naudojama signalo išvestinė (41 pav.), kur pikai yra ryškesni ir juos lengviau aptikti.



41 pav. Pravažiavusio VW Golf mk4 automobilio virš jutiklių signalo išvestinė

Turint signalo išvestinę surandamos pirma ir paskutinė maksimalios vertės ir tarp jų skaičiuojamas diskretinio laiko skirtumas. Turint šį skirtumą randamas ilgis. Apskaičiavus ilgis gautas 3,98m, kai realus automobilio VW Golf ilgis yra 4,15m.

Taip pat reikia teisingai įvertinti išvestinės laiko pokytį, ir kaip teisingai aptikti pikus. Taigi pirmiausia bandoma parinkti išvestinės laiko pokytį. Nuo šio dydžio priklauso koks bus gautas rezultatas – jei išvestinės laiko pokytis bus mažesnis, bus gaunama daugiau nereikšmingų pikų turinti kreivė, dėl kurių gali būti neteisingai surasti reikalingi pikai, tačiau tokiu atveju išvestinės pikai ties stačiausiais kylančiu ir krentančiu frontais bus aiškiausi. Didinant išvestinės laiko pokytį stačiausių frontų pikai taps mažiau ryškūs, bet sumažės nereikalingų pikų, kurie gali būti aptikti ir duoti klaidingus rezultatus.



42 pav. Pravažiavusio automobilio signalo modulis (a) ir išvestinės (b,c,d)

42 pav. pavaizduota: a) pravažiavusio automobilio signalo modulis; b) signalo išvestinė, kai išvestinės laiko pokytis = 10 atskaitų (5 ms); c) signalo išvestinė, kai išvestinės laiko pokytis = 20 atskaitų (10 ms); d) signalo išvestinė, kai išvestinės laiko pokytis = 30 atskaitų (15 ms).

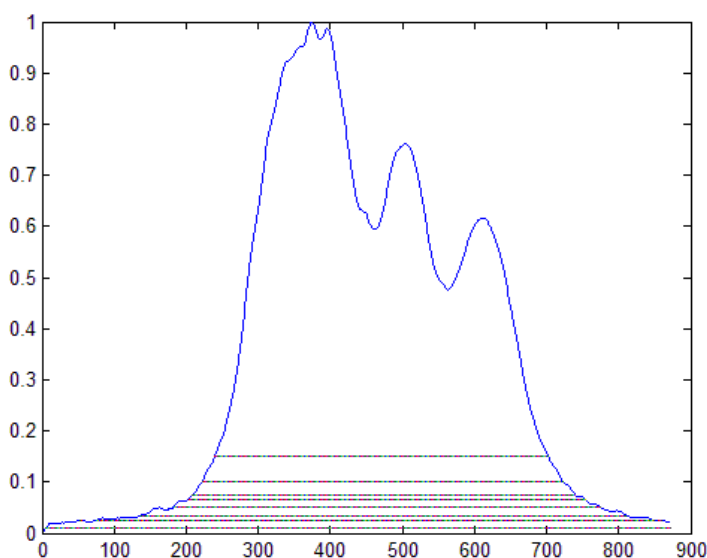
Iš 42 pav. matyti, kad, kai išvestinės laiko pokytis lygus 10 atskaitų, išvestinė gaunama su daug svyravimų ir reikiamas pikas gali būti aptiktas neteisingai. Didinant išvestinės laiko pokytį, nereikalingų svyravimų mažėja, pikai tampa aiškūs ir vis dar pakankamai ryškūs. Išvestinės laiko pokytis, kuris bus naudojamas toliau lygus 30 atskaitų arba 15 ms.

Taip pat parenkama vertė, kurią viršijus fiksuojam pirmas ir paskutinis pikai. Vertė lygi 30% maksimalios išvestinės vertės.

Kaip ir pikų paieškos atveju signalo išvestinės analizė atliekama 20 skirtingų automobilių.

2.1.7 Transporto priemonių ilgio nustatymas, panaudojant skirtingas ribines vertes

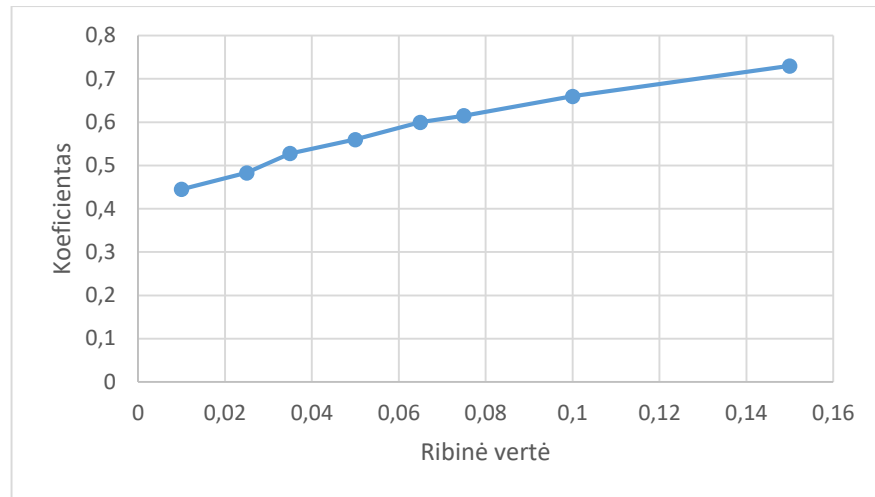
Transporto priemonės ilgio nustatymui užduodamos normalizuoto signalo ribinės vertės nuo 0,01 iki 0,15. Matavimai atliekami 20 automobilių, kiekvienam iš jų pritaikant 8 skirtingas ribines vertes, 43 pav.



43 pav. Pravažiavusio Audi A6 automobilio virš jutiklių signalo modulis, bei ribinės vertės

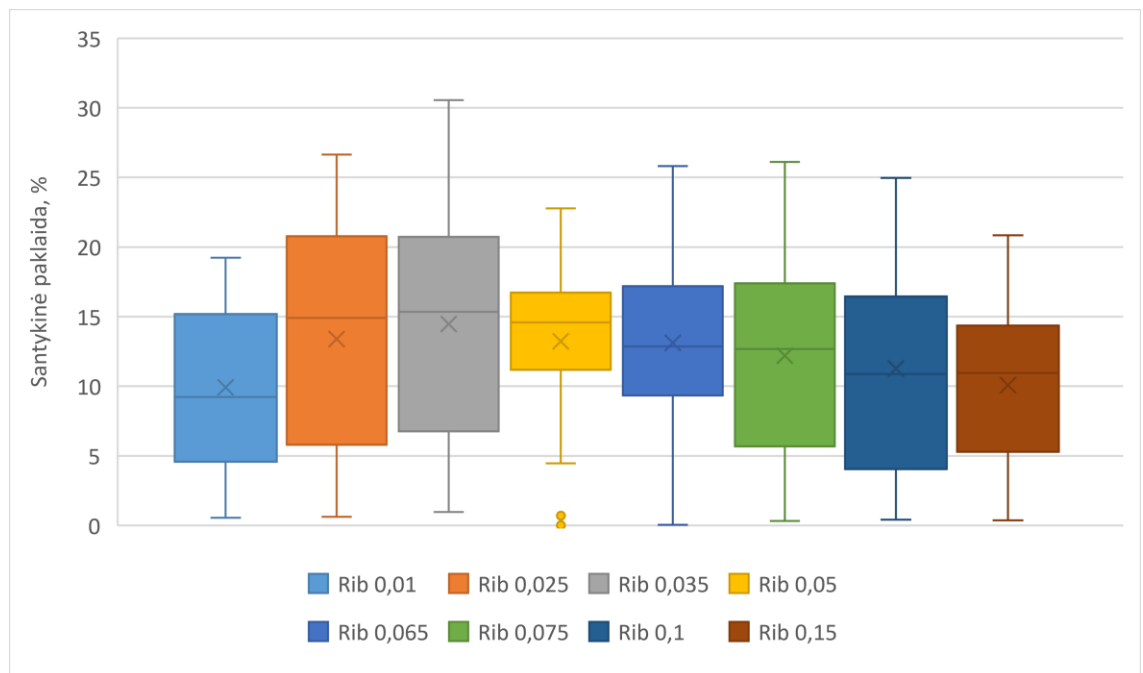
Diskretinio laiko skirtumas gaunamas tarp pirmo ir paskutinio susikirtimo, kur signalas kertasi su ribine verte.

Kintant ribinei vertei, kinta ir koeficientas iš kurio yra dauginamas gautas atstumas, kad gauti artimiausią ilgį įvairių automobilių ilgiui. Kadangi kiekvienas automobilis gali būti skirtingas, todėl koeficientą stengiamasi parinkti tokį, kad būtų gaunamos kuo mažesnės paklaidos.



44 pav. Koeficientų priklausomybė nuo ribinių verčių

44 paveikslas parodo, kad siekiant kuo tiksliau apskaičiuoti automobilio ilgį, kad ir kaip būtų nustatoma ribinė vertė, koeficientas beveik tiesiškai priklauso nuo ribinės vertės.

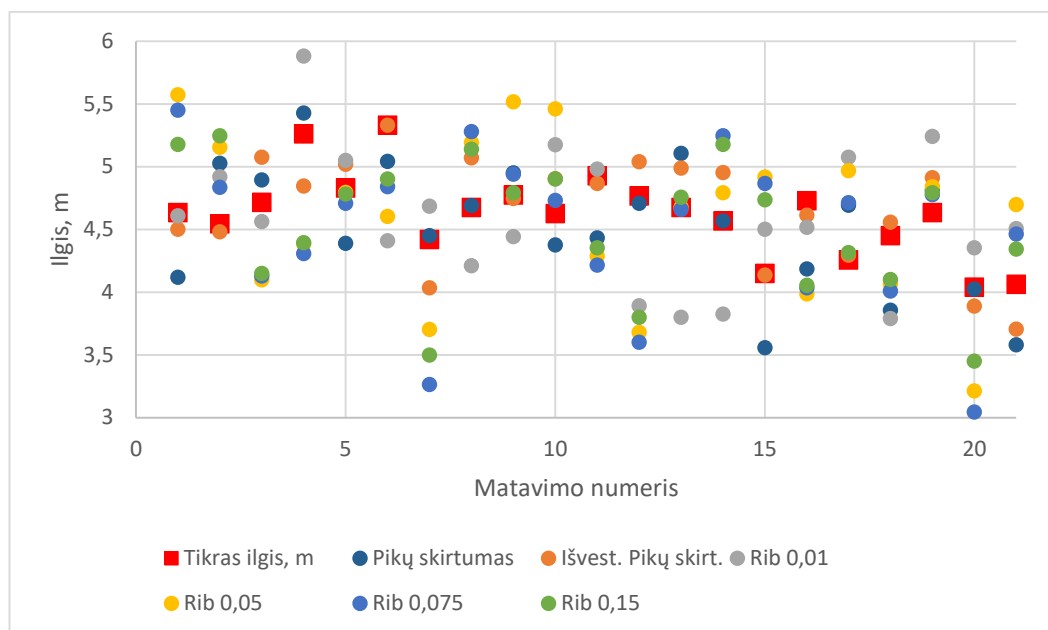


45 pav. Rezultatų pasiskirstymas esant skirtingoms ribinėms vertėms

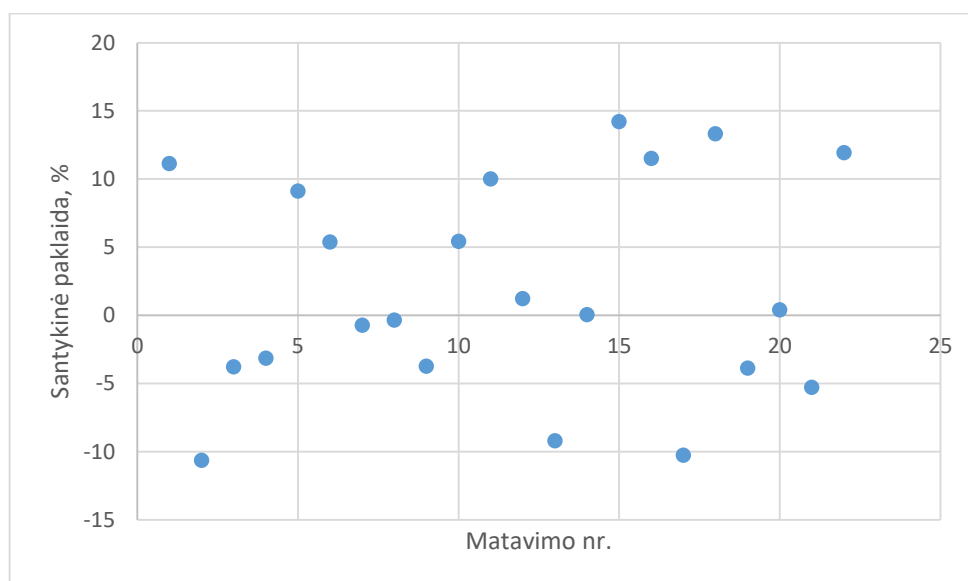
Kaip matosi iš 45 grafiko, rezultatai esant skirtingoms ribų vertėms skiriasi netolygiai. Didžiausias paklaidos vidurkis gaunamas, kai ribinė vertė yra 0,035, o mažiausias, kai ribinė vertė lygi 0,01. Paklaidų išsibarstymas didžiausias, kai ribinė vertė yra 0,025, o mažiausias, kai ribinė vertė lygi 0,05.

2.1.8 Pikų paieškos, išvestinių pikų paieškos bei ribinės vertės rezultatų apibendrinimas

Naudojant skirtingus signalų apdorojimo metodus, gauti skirtingi transporto priemonių ilgiai, kurie pateikti 46 paveiksle.

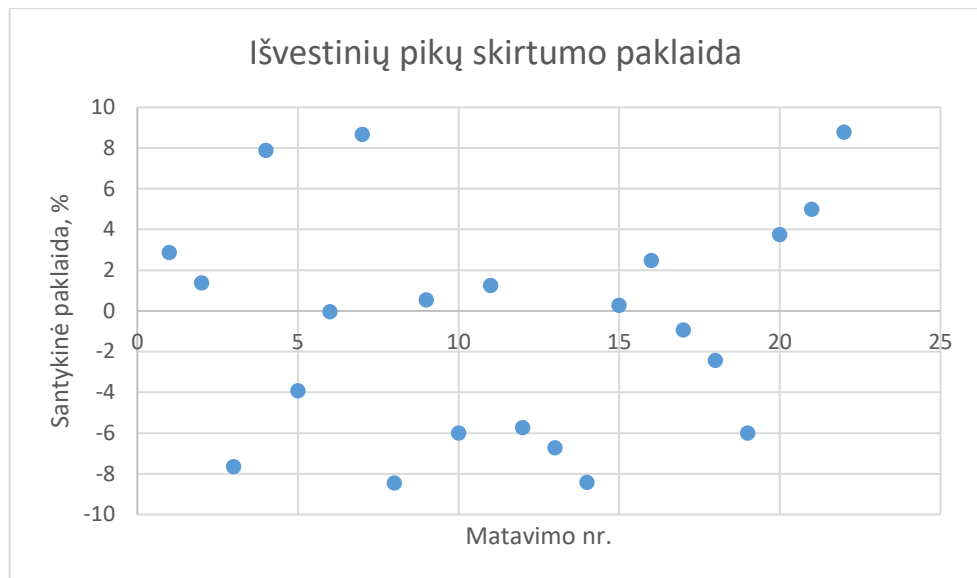


46 pav. Realus ir gautų ilgių išsibarstymas atliekant skirtingus matavimus



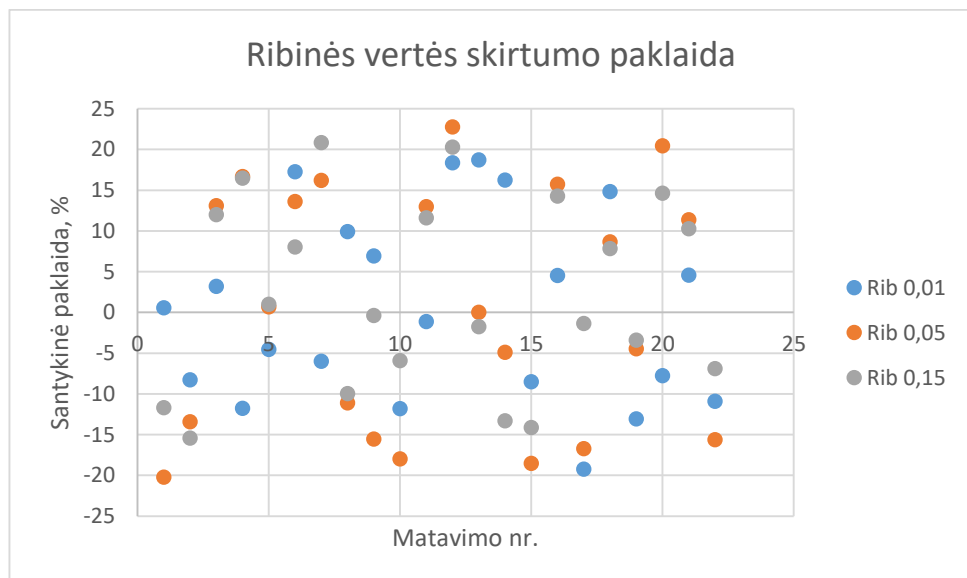
47 pav. Gauto atstumo pikų paieškos metodu ir realaus ilgio skirtumai

Naudojant pikų paieškos metodą, apskaičiuavus automobilių ilgius, lyginant su realiais ilgiais gautos paklaidos pasiskirsčiusios netolygiai, pavaizduota 47 pav. Didžiausia gauta ilgio paklaida yra 14,2 %.



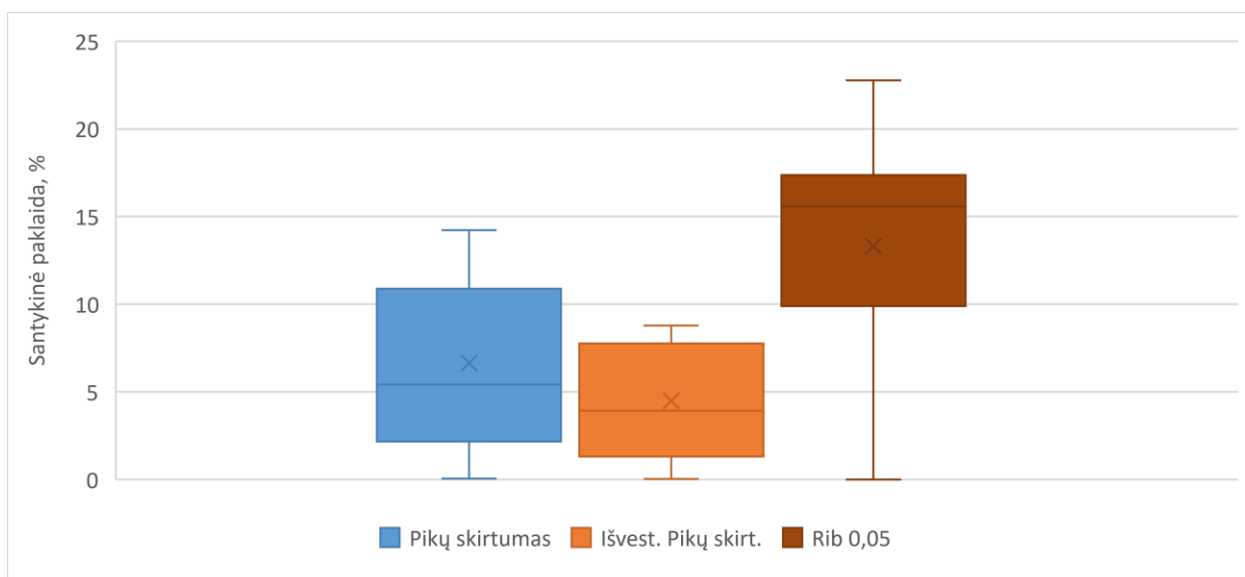
48 pav. Gauto atstumo išvestinių pikų paieškos metodu ir realaus ilgio skirtumai

Atlikus signalų išvestinių pikų paiešką ir apskaičiavus gautus ilgius bei juos palyginus su tikraisiais automobilių ilgiais gauti rezultatai yra tikslesni, nei signalų pikų paieškos metodu, nes paklaidos gautos mažesnės, 48 pav. Didžiausia gauta paklaida: 8,79 %.



49 pav. Gauto atstumo ribinių verčių metodu ir realaus ilgio skirtumai

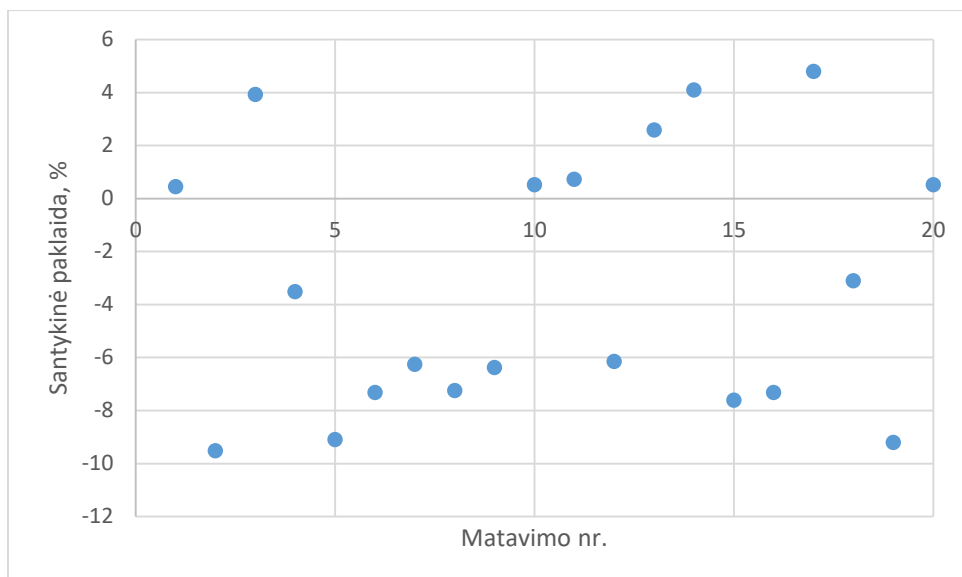
Atlikus automobilio ilgio skaičiavimą signalams apdoroti panaudojant ribines vertes, rezultatai gavosi prastesni, nei skaičiuojant anksčiau minėtais metodais, 49 pav. Paklaidos pasiskirsčiusios netolygiai, didesnė jų dalis viršija 10 %.



50 pav. Paklaidos pasiskirstymas gautas apdorojant signalus skirtingais metodais

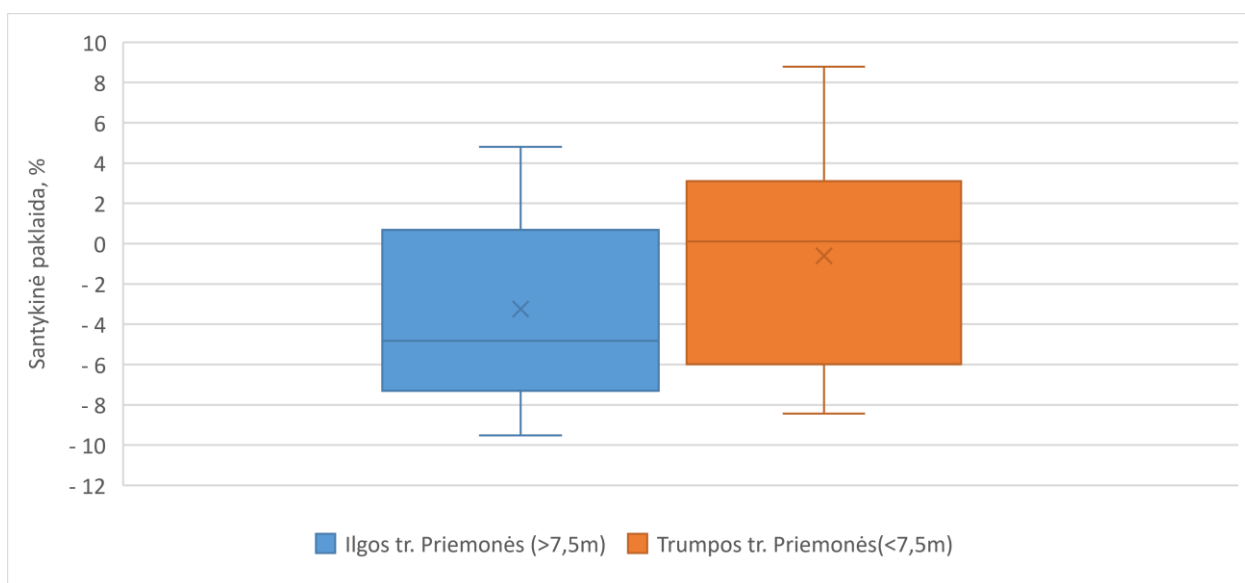
Kiekvieno metodo santykinės paklaidos analizės rezultatai pateikti 50 pav. Didžiausias paklaidos vidurkis gautas naudojant ribinę vertę, kuris lygus 13,2 %. Pikų skirtumo atveju paklaidos vidurkis gautas 6,58 %. Mažiausias paklaidos vidurkis gautas ieškant signalų išvestinių pikų: 4,5 %. Paklaidų išsibarstymas ieškant išvestinių pikų ir užduodant ribinę vertę gautas panašus, tačiau kadangi ieškant išvestinių pikų paklaidos vidurkis gavosi beveik triskart mažesnis, todėl galima teigti kad šis metodas geriausias ir duos tiksliausių rezultatus. Ieškant skirtumo tarp signalų pikų, paklaidos vidurkis gavosi šiek tiek didesnis, nei naudojant išvestines, taip pat didesnis ir paklaidų išsibarstymas, todėl šis metodas tam tikriems atvejams gali būti tikslesnis, bet tiriant didesnę kiekį automobilių, rezultatai bus prastesni.

Toliau apdorojami kiti 20 signalų, kurie gauti, kai pro jutiklius pravažiuoja ilgesnės transporto priemonės, kuriu ilgis daugiau kaip 7,5 metro. Atlikus skaičiavimus išvestinių pikų radimo metodu, gauti ilgių santykinų paklaidų rezultatai pateikiami 51 pav.



51 pav. Santykinė tikro ir apskaičiuoto ilgių skirtumo paklaida ilgoms (>7,5m) transporto priemonėms

Santykinė skirtumo tarp tikro ir apskaičiuoto ilgio paklaida didesnėms transporto priemonėms, kurių ilgis didesnis kaip 7,5 metro neviršija 10 %. Šios paklaidos vidurkis gautas 5,02 %.



52 pav. Paklaidų pasiskirstymas gautas apdorojant signalus išvestinių pikų metodu mažoms ir didelėms transporto priemonėms

Apskaičiavus paklaidas didesnėms transporto priemonėms, kurių ilgis didesnis kaip 7,5 metro gauti rezultatai gavosi panašūs kaip ir mažų automobilių atveju. Santykinė paklaida šiek tiek didesnė, tačiau paklaidų išsibarstymas nežymiai mažesnis.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Atlikta transporto srautų valdymo sistemų, kurios naudoja magnetinius jutiklius analizė. Išnagrinėti sistemų veikimo principai, galimybės. Pastebėta, kad naudojant tuos pačius jutiklius, bet skirtingai apdorojant gautus signalus galima gauti skirtingus tikslumus atliekant skirtingus operacijų kiekius. Nustatyta kad ne visi apžvelgti metodai gali tiksliai nustatyti momentinį transporto priemonės greitį. Taip pat pastebėta, kad ne tik signalo apdorojimo metodas, tačiau ir transporto priemonės tipas, dydis, masė turi įtakos greičio matavimui magnetiniais jutikliais.

Atlikti skirtingų transporto priemonių greičio nustatymo tyrimai esant skirtingam jutiklių išdėstymui. Taip pat atliktas tos pačios transporto priemonės greičio nustatymas esant skirtingiems greičiams, bei palyginti rezultatai. Greičio suradimui naudojamas trijų ašių signalų modulis. Laiko tarpo tarp signalų nustatymui naudojamas koreliacijos metodas.

Panaudojant daugiau duomenų, ištirti pikų paieškos, išvestinių pikų paieškos, bei ribinės vertės metodai. Išanalizavus kiekvieną metodą ir apskaičiavus paklaidas didžiausias paklaidos vidurkis gautas naudojant ribinę vertę (13,2 %). Pikų skirtumo atveju paklaidos vidurkis gautas 6,58 %. Mažiausias paklaidos vidurkis gautas ieškant signalų išvestinių pikų: 4,5 %. Paklaidų išsibarstymas ieškant išvestinių pikų ir užduodant ribinę vertę gautas panašus, tačiau kadangi ieškant išvestinių pikų paklaidos vidurkis gavosi beveik triskart mažesnis, todėl galima teigti kad šis metodas tinkamiausias ir duos tiksliausių rezultatus. Ieškant skirtumo tarp signalų pikų, paklaidos vidurkis gavosi šiek tiek didesnis, nei naudojant išvestines, taip pat didesnis ir paklaidų išsibarstymas, todėl šis metodas tam tikriems atvejams gali būti tikslesnis, bet tiriant didesnę kiekį automobilių, rezultatai bus prastesni.

Panaudojant išvestinių pikų metodą apdorota 20 ilgesnių nei 7,5 metro transporto priemonių signalų. Santykinė paklaida šiuo atveju gavosi 5,02 %. Tai reiškia, kad panaudojant šį metodą, tiek mažų, tiek didelių transporto priemonių ilgiui skaičiuoti, galima gauti pakankamai tikslius rezultatus transporto priemonių klasifikavimui – lengvųjų ir didesnių transporto priemonių suskirstymui į trumpas ir ilgas transporto priemones.

INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. **Albrecht Jander; Carl Smithb; Robert Schneide.** Magneto-resistive Sensors for Nondestructive Evaluation. NVE Corporation. 2005.
2. **Bo Yang; Yiqun Lei.** Vehicle Detection and Classification for Low-Speed Congested Traffic With Anisotropic Magneto-resistive Sensor. *Ieee sensors journal*, 15, 2. 2015
3. **Zusheng Zhang; Tiezhu Zhao; Huaqiang Yuan.** A Vehicle Speed Estimation Algorithm Based on Wireless AMR Sensors. *Dongguan University of Technology*, No. 1. 2015
4. **Daubaras, A.; Žilys, M.** Vehicle Detection based on Magneto-Resistive Magnetic Field Sensor. *Elektron. Elektrotech.* 2012, 2, 27–32.
5. **T. Phan, B.W. Kwan; L.J. Tung.** Magneto-resistors for vehicle detection and identification. 1997
6. **Daubaras, A.; Markevičius, V.; Navikas, D.; Čepėnas, M.; Žilys, M.; Andriukaitis, D.** Vehicle Influence on the Earth's Magnetic Field Changes. *Elektron. Elektrotech.* 2014, 4, 27–32.
7. **Valinevičius, A.; Markevičius, V.; Navikas, D.; Čepėnas, M.; Žilys, M.; Andriukaitis, D.** Dynamic Vehicle Detection via the Use of Magnetic Field Sensors. *Sensors*, 2016, 16, 78.
8. **Wolfgang Schulz; Isabella Geis.** Future role of cost-benefit analysis in intelligent transport system – research.. *IET journal*, 2015, 9, 626-623
9. **Saber Taghvaeeyan; Rajesh Rajamani.** Two-Dimensional Sensor System for Automotive Crash Predictio. *Ieee transactions on intelligent transportation systems journal*, 15, 1. 2015
10. **Zusheng Zhang; Ming Tao; Huaqiang Yuan.** A Parking Occupancy Detection Algorithm based on AMR Sensor. *Ieee sensors journal*, 15, 2. 2014
11. **Saowaluck Kaewkamnerd1; Ronachai Pongthornseril; Jatuporn Chinrungrueng1; Teerapol Silawan.** Automatic Vehicle Classification Using Wireless Magnetic Sensor. *IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, 2009
12. **Farshad Ahdi; Mehdi Kalantari Khandani; Masoud Hamedi; Ali Haghani.** Traffic data collection and anonymous vehicle detection using wireless sensor networks. 2012

13. **Lisa Jogschies; Daniel Klaas; Rahel Kruppe; Johannes Rittinger; Piriya Taptimthong; Anja Wienecke; Lutz Rissing; Marc Christopher Wurz.** Recent Developments of Magnetoresistive Sensors for Industrial Applications. *Ieee sensors journal*, 15, 2015
14. **Michael J. Caruso; Lucky S. Withanawasa.** Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors. 1999
15. **Martin Isaksson.** Vehicle Detection using Anisotropic Magnetoresistors. 2007
16. **Wencheng Wu; Vladimir Kozitsky; Martin E. Hoover; Robert Loce; D. M. Todd Jackson.** Vehicle Speed Estimation Using a Monocular Camera. *The International Society for Optical Engineering*, 2015
17. **Surabhi P. Jinturkar; Sushant J. Pawar.** Real-Time Traffic Monitoring with Portable AMR Sensor System. *Smart Trends in Information Technology and Computer Communications*, 2016
18. **Haijian Li; Honghui Dong; Limin Jis; Dongwei Xu; Yong Qin.** Some Practical Vehicle Speed Estimation Methods by a Single Traffic Magnetic Sensor. *Ieee sensors journal*, 14, 2011
19. **Zhu, H.; Yu, F.** A cross-correlation technique for vehicle detections in wireless magnetic sensor network. *IEEE Sens. J.* 2016, 16, 4484–4494.
20. **Amine Haoui; Robert Kavalier; Pravin Varaiya.** Wireless magnetic sensors for traffic surveillance. *Sensys Networks Inc., 2560 Ninth Street, Suite 211, Berkeley, CA 94710, USA.*
21. **Hongmei Zhu; Fengqi Yu.** A Cross-Correlation Technique for Vehicle Detections in Wireless Magnetic Sensor Network. *IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 16, NO. 11, JUNE 1, 2016.*
22. **Xu Bao; Haijian Li; Dongwei Xu; Limin Jis; Bin Ran; Jian Rong.** Traffic Vehicle Counting in Jam Flow Conditions Using Low-Cost and Energy-Efficient Wireless Magnetic Sensors. *IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 16, NOVEMBER 6, 2016.*
23. HOW DOES A SPEED CAMERA OR RADAR GUN WORK? [interaktyvus] [žiūrėta 2016-10-08]. Prieiga per internetą: [https://www.neltronics.com.au/how-does-a-speed-camera-or-radar-gun-work/;](https://www.neltronics.com.au/how-does-a-speed-camera-or-radar-gun-work/)