KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Jogundas Juškys

Automobilio greičio nustatymo tyrimas naudojant magnetorezistyvinius jutiklius

Magistro projektas

Vadovas
prof. dr. Vytautas Markevičius

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Automobilio greičio nustatymo tyrimas naudojant magnetorezistyvinius jutiklius

Magistro projektas

Elektronikos inžinerija (kodas 621H61002)

Vadovas
prof. dr. Vytautas Markevičius

Recenzentas
Doc. dr. Nerijus Bagdanavičius

Projektą atliko
Jogundas Juškys

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Jogundas Juškys

(Studento vardas, pavardė)

Elektronikos inžinerija (kodas 621H61002)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 26 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Jogundo Juškio** baigiamasis projektas tema „Automobilio greičio nustatymo tyrimas naudojant magnetorezistyvinius jutiklius“ 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)*

Jogundas Juškys, automobilio greičio nustatymo tyrimas naudojant magnetorezistyvinius jutiklius, magistro baigiamasis darbas elektronikos inžinerijos studijose, darbo vadovas prof. dr. Vytautas Markevičius, elektronikos inžinerijos katedra, elektros ir elektronikos fakultetas, Kauno technologijos universitetas. – Kaunas, 2015. – 52 p.

SANTRAUKA

Pagrindinė magistrinio darbo nagrinėjama problema yra, kokius inžinerinius sprendimus reikia pritaikyti, norint ištirti transporto priemonių magnetinio lauko gaunamus parametrus ir kokius metodus reikia pritaikyti siekiat išmatuoti greitį, naudojant magnetorezistyvinius jutiklius? Taikant du magnetorezistyvinius jutiklius siekiama išmatuoti magnetinio lauko iškraipymus pravažiavus automobiliui ir pagal gaunamus signalus išsiskaičiuoti laiką, per kurį automobilis pravažiavo per abu jutiklius. Žinant atstumą tarp jutiklių ir išskaičiuotą laiką, apskaičiuojama, kokiu greičiu važiavo automobilis. Abiejų jutiklių signalai greičio matavimui apdorojami dviem būdais, signalų pikų radimas ir abipusė koreliacija tarp dviejų sensorių. Tiksliems matavimams reikalingas abiejų jutiklių preciziškas duomenų gavimo laikas, turi būti taikomas vienas laikmatis, tada realu apskaičiuoti tikslų automobilio greitį. Gaunami signalai yra identiški vienas kito atžvilgiu, būtinas tikslus laikas.

Jogundas Juškys, Research of vehicle speed detection using magneto-resistive sensors, master's thesis in electronics engineering studies, supervisor prof. dr. Vytautas Markevičius; department of electronics, faculty of electrical and electronics engineering, Kaunas University of Technology. – Kaunas, 2015. – 52 p.

SUMMARY

Primary master thesis examine problem is what kind of engineering solutions has to be made on purpose to explore vehicles magnetic field distortions and what type of method need to be used for vehicle speed detection using magnetoresistive sensors. For speed detection using two magnetoresistive sensors mounted on the road by selected distance between them. Knowing the distance between sensors and measured time, we can easily estimate vehicle speed which was using driving throw sensors. Both sensors signals for speed measurement processed in two selected methods, first is signals picks detection and second is discrete autocorrelation function. For accurate vehicle speed measurement need to be operate with one stopwatch for both sensors data reception. Obtained signals from both sensors are identical relative to each other it's necessary to use one stopwatch.

TURINYS

ĮVADAS 7

1. GREIČIO MATUOKLIAI 9

1.1 RADIOLOKACINIAI RADARAI 9

1.2 LIDARAI 13

2. MAGNETOREZISTYVINIŲ JUTIKLIŲ PANAUDOJIMO GALIMYBĖS 17

2.1 MATEMATINIS JUDANČIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ MODELIS 18

2.2 KOMPIUTERINĖ SIMULIACIJA 21

2.3 APIBENDRINIMAS 26

3. TRANSPORTO PRIEMONIŲ APTIKIMAS NAUDOJANT AMR DAVIKLIS 27

3.1 TRANSPORTO PRIEMONIŲ APTIKIMO TAIKYMAS 27

3.2 GREIČIO NUSTATYMAS 30

4. TIRIAMOJI DALIS IR REZULTATAI 31

4.1 SISTEMOS FUNKCIONAVIMO APRAŠYMAS 31

4.2 ATLIKTŲ TYRIMŲ DUOMENŲ KAUPIMAS, KILUSIOS PROBLEMOS 34

4.3 TYRIMŲ REZULTATAI 41

4.4 SIGNALO PIKŲ IDENTIFIKAVIMAS, ABIPUSĖ KORELIACIJA TARP DVIEJŲ JUTIKLIŲ 44

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI 50

INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS: 52

PRIEDAI 53

ĮVADAS

Šiais laikais sparčiai tobulėjant technologijoms taip pat auga ir žmonių poreikiai. Žmonės siekia, kad visus darbus, kasdienines veiklas būtų galima atlikti kuo paprasčiau ir tuos darbus supaprastina atitinkamos sistemos. Kiekviena sistema yra tobulinama ir siekiama, kad ji atliktų kuo daugiau funkcijų ir veiktų su kuo mažesne paklaida. Žmogus gyvena stebėjimo kamerų, jutiklių ir daviklių pasaulyje. Vienas iš svarbiausių žmogaus gyvenimo kokybę atspindinčių faktorių yra saugumas. Augant technologijoms bei daugėjant žmonių skaičiui visame pasaulyje, taip pat daugėja ir automobilių skaičius. Kiekvienais metais kelyje miršta tūkstančiai žmonių ir tai yra labai aktuali problema, sąlygojama kiekvienos situacijos. Viena iš jų yra greičio viršijimas. Taigi siekiant mažinti greičio viršijimo problemą taikomos įvairios sankcijos, taip pat tam yra naudojama tam tikra greičio nustatymo įranga.

Yra taikomi įvairūs greičio matavimo būdai, labiausiai paplitę yra radiolokaciniai radarai, bene visame pasaulyje policija naudoja šiuos radarus nustatyti, kokiu greičiu važiuoja automobiliai, šių radarų veikimo principas paremtas Doplerio efektu - jei objektas juda artyn, tai nuo jo atsispindėjusios radijo bangos dažnis didėja. Transporto priemonės (TP) greitį galima nustatyti įvairiais būdais, vienas iš jų yra naudojant magnetinius rezistyvinius jutiklius, ant asfalto įtaisius atitinkamu atstumu du jutiklius ir transporto priemonei pravažiavus pro juos yra nuskaitomas jos magnetinis laukas (ML) ir pagal jį galima apskaičiuoti, kokiu greičiu transporto priemonė juda. Vienas iš pagrindinių šio būdo privalumų yra tas, kad galima nustatyti ne tik transporto priemonės greitį, bet ir jos magnetinį lauką, kurį kiekviena mašina turi skirtingą. Remiantis tais pačiais duomenimis galima nustatyti, kokios rūšies tai transporto priemonė. Taigi šiuo būdu galima nustatyti ne tik greitį, bet ir kitus transporto priemonės parametrus.

Įvertinus šiuos pastebėjimus iškyla **probleminis klausimas** – kokius inžinerinius sprendimus reikia pritaikyti, norint ištirti transporto priemonių (TP) magnetinio lauko gaunamus parametrus ir kokius metodus reikia pritaikyti siekiant išmatuoti greitį naudojant magnetorezistyvinius jutiklius?

Darbo objektas – automobilio greičio nustatymo tyrimas naudojant magnetorezistyvinius jutiklius.

Darbo tikslas – ištirti magnetorezistyvinių jutiklių galimybes šioje srityje.

Darbo uždaviniai:

- Atlikti automobilių greičio nustatymo įrenginių lyginamąją analizę;
- Apžvelgti magnetorezistyvinių jutiklių panaudojimo galimybes;
- Sukurti tokios sistemos maketą;
- Padaryti tyrimus naudojant sukurtą sistemos maketą;
- Apdoroti gautus rezultatus siekiant nustatyti greitį.

Darbo eiga – darbas pradedamas nuo literatūros analizės, mokslinių publikacijų apžvalgos, panašios paskirties įtaisų aptarimo. Toliau apžvelgiami šio metodo realizavimo ir projektavimo būdai, modeliavimas. Tolesniu veiksmu atliekama prototipo gamyba ir testavimas. Atlikus testavimą ir įsitikinus, kad sistema veikia, atliekami eksperimentiniai tyrimai realiomis sąlygomis, rezultatų interpretavimas. Gavus tikslingus tyrimo rezultatus jie bus matematiškai apdorojami taikant kelis greičio matavimo būdus ir iš jų bus pasirenkamas tinkamiausias. Darbo pabaigoje suformuluojamos išvados, kurios pagrindžia prielaidą, ar šis metodas turi realias panaudojimo galimybes ir kur jos galėtų būti taikomos.

1. Greičio matuokliai

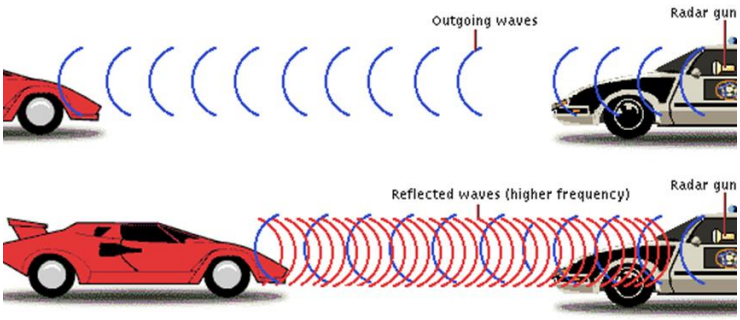
Greičio matuokliai veikia "šūvio" principu, greičio matavimo metu matuoklis "šauna", radarų detektorius šūvį aptinka ir apie jį praneša garsiniu signalu. Greičio matuoklių tipai:

1) **Radarai** - matuodami greitį skleidžia radijo bangas. Bangos nėra koncentruotos, pasklinda didelėje teritorijos dalyje, todėl yra lengvai aptinkamos net nesant tiesioginiam matomumui.

2) **Lidarai** (arba **lazeriai**) - greičiui matuoti naudoja IR spindulį (panašiai kaip TV valdymo pultas). Ne taip kaip radijo bangos, lazerio spindulys yra siauras, koncentruotas tik į tą vietą kur nusitaikoma, todėl aptikti lazerį įmanoma tik tiesioginio matomumo zonoje. Matuojant greitį siunčiamas IR spindulys, kuris atsimušęs nuo automobilio paviršiaus turi sugrįžti atgal, greičio matuoklis tokiu būdu apskaičiuoja automobilio greitį - visa tai įvyksta akimirksniu.

1.1 Radiolokaciniai radarai

Radiolokaciniai radarai yra specializuoti radarai, kurie naudoja Doplerio efektą gaminant greičio informaciją apie judančius objektus. Jų veikimo principas yra toks: siunčiamas mikrobangų signalas, nutaikytas į judantį objektą ir žiūrima koks gaunamas atsispindėjęs signalas imtuve, iš grįžusio signalo galima pasakyti kaip signalo dažnis pakito priklausant nuo objekto judėjimo greičio. Iš gauto atsispindėjusio signalo galima išsiskaičiuoti tikslų greitį. Radiolokaciniai radarai yra naudojami aviacijoje, garso palydovuose, metrologijoje, policijos greičio matuokliuose, radiologijoje. [1]



1 pav. Doplerio efektas

Doplerio efektas leidžia naudoti siauros juostos imtuvų filtrus, kurie mažina arba panaikina signalus nuo lėtai judančių ir stacionarių objektų. tai leidžia efektyviai eliminuoti klaidingus signalus, kuriuos sukelia medžiai, debesys, paukščiai, vėjas ir kiti aplinkos veiksniai. Pigūs Doplerio radarai gali sukelti klaidingus matavimus.

Nenutrūkstamos bangos Doplerio radarai tik suteikia greičio srovę, kaip signalo atsispindėjęs dažnis nuo taikinio yra palyginamas su originaliu signalo dažniu. Ankstyvesni Doplerio radarai įskaitant nenutrūkstamos bangos radarus, kuriuos greitai pakeitė patobulinti dažnio moduliavimo nuolatinės veiklos radarai, kurie nušluoja siųstuvo dažnį jį užkoduoja ir nustato diapazoną.

Tobulėjant skaitmeninėms technologijoms, impulsiniai radarai tapo pakankamai lengvi naudojant aviacijoje ir Doplerio procesoriai nuosekliems impulsams tapo labiau suderinti. Tai suteikė look-down / shoot-down galimybę. Pagrindinis privalumas Doplerio procesorių suderinamumo su impulsiniais radarais yra tas, kad pateikiama tikslesnė greičio informacija. Šis greitis vadinamas ribos dydis. Tai apibūdina dydį, kurį sukelia objekto judėjimas artyn arba tolyn nuo radaro. Objektas be ribinio dydžio atspindi dažnį panašų į siųstuvo dažnį ir toks signalas negali būti aptiktas. Klasikinis nulinis Doplerio taikinys yra tas, kuris priešais radaro antenos spinduliuojamą impulsinį signalą. Iš esmės, bet koks taikinys, kuris juda 90 laipsnių kampu į antenos skleidžiamą signalą negali būti aptiktas.[4]

2 pav. Berkut R radiolokacinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas.

„Berkut R“ – radiolokacinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas, skirtas naudoti tiek stacionariai, tiek važiuojant patruliniu automobiliu. Greičio matavimo diapazonas – nuo 20 iki 250 km/val. Greičio matavimo paklaida visame matavimo diapazone – ±2 km/val. Prietaisas leidžia

matuoti tiek artėjančių, tiek tolstančių transporto priemonių greitį, fiksuoja transporto priemonės greitį ir matavimo laiką. Matavimų duomenys saugomi prietaiso atmintyje.

3 pav. VIZIR radiolokacinis TP važiavimo greičio matavimo ir vaizdo fiksavimo prietaisas.

„VIZIR“ – radiolokacinis TP važiavimo greičio matavimo ir vaizdo fiksavimo prietaisas. Paklaida stacionariame greičio matavimo režime ± 1 km/val.; patruliniame greičio matavimo režime ± 2 km/val.; matuojamas TP judėjimo greitis nuo 20 iki 250 km/val.; patrulinio automobilio judėjimo greitis, vykdant matavimą nuo 30 iki 150 km/val. Prietaisas leidžia matuoti tiek artėjančių, tiek tolstančių transporto priemonių greitį. Prietaisas fiksuoja transporto priemonės greitį, matavimo datą ir laiką bei pažeidimo vaizdą. Matavimų duomenys saugomi prietaiso atmintyje.

4 pav. Berkut VIZA mobili radiolokacinė TP važiavimo greičio matavimo ir vaizdo fiksavimo sistema.

„Berkut VIZA“ – mobili radiolokacinė TP važiavimo greičio matavimo ir vaizdo fiksavimo sistema. Leistinos paklaidos: stacionarus greičio matavimo režimas <±1 km/val., patrulinis greičio matavimo režimas <± 2 km/val.; matavimo ribos: matuojamų TP judėjimo greitis nuo 20 iki 250 km/val., patrulinio automobilio patruliniame režime judėjimo greitis nuo 30 iki 150 km/val.

Prietaisas fiksuoja transporto priemonės greitį, datą, laiką bei padaro vaizdo įrašą. Matavimų duomenys saugomi prietaiso atmintyje.

5 pav. MultaRadar S580 stacionarus radiolokacinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas.

„MultaRadar S580“ – stacionariai į apsauginę dėžę montuojamas radiolokacinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas. Greičio matavimo diapazonas – 20 iki 250 km/val. Greičio matavimo paklaida, kai užfiksuotas greitis nuo 20 iki 100 km/val. ±3 km/val., kai >100 km/val. – ±3 %. Prietaisas matuoja tiek artėjančių, tiek tolstančių, tiek abejomis kryptimis važiuojančių transporto priemonių greitį. Prietaisui užfiksavus leistino greičio viršijimo atvejį yra daroma pažeidimo fotonuotrauka, kurioje matoma greitį viršijusi transporto priemonė, jos valstybinis numeris ir vairuotojo veidas. Duomenys iš greičio matuoklio iškarto siunčiami į duomenų centrą.

6 pav. MultaRadar C mobilus radiolokacinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas.

„MultaRadar C“ – mobilus radiolokacinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas montuojamas arba į transporto priemonę, arba ant trikojo stovo. Greičio matavimo diapazonas – 20 iki 250 km/val. Greičio matavimo paklaida, kai užfiksuotas greitis nuo 20 iki 100 km/val. ±3

km/val., kai >100 km/val. – ±3%. Prietaisas matuoja tiek artėjančių, tiek tolstančių, tiek abejomis kryptimis važiuojančių TP greitį. Prietaisui užfiksavus leistino greičio viršijimo atvejį yra daroma pažeidimo fotonuotrauka, kurioje matoma greitį viršijusi transporto priemonė, jos valstybinis numeris ir vairuotojo veidas. Duomenys iš greičio matuoklio iškarto siunčiami į duomenų centrą.

1.2 Lidarai

Lidarai yra nuotolinio stebėjimo technologija, kuri matuoja atstumą apšviečiant taikinį lazeriu ir analizuojant atsispindėjusią šviesą. Taip pat lidarai plačiai laikomi kaip šviesos aptikimo ir svyravimo akronimai, terminas lidaras buvo sukurtas ir vadinamas kaip šviesos ir radaro lagaminas. [3]

LiDAR greičio matuoklis, kurį naudoja policija su tikslu aptinkant greitį viršijančius vairuotojus. Priešingai Doplerio radarams, kurie remiasi Doplerio efektu matuojant transporto priemonės greitį, šie matuokliai leidžia pareigūnams matuoti greitį kiekvienai mašinai atskirai net ir eismo sraute.

LiDAR greičio matuokliai remiasi laiku, kurį nukeliavo paduodami du ar daugiau trumpi 905 nm bangos ilgio impulsai principu. Trumpai aprašysiu kaip vyksta LiDAR greičio matavimo procesas.

Nusitaikymas: Policijos pareigūnas nusitaiko su LiDAR taikikliu, kuris paprastai priartina 2X – 8X priklauso nuo modelio, kuris įmontuotas į greičio matavimo prietaisą. Taikiklis leidžia policijos pareigūnui pamatyti transporto priemonę, dar prieš transporto priemonės savininkui pamatant pareigūną, paprastai tai yra nuo 300 iki 1200 metrų atstumu. Pareigūnai yra išmokyti, kad pasiųstų 4 miliradiano impulsus į transporto priemonės numerius ir tai padarius gauna atsispindėjusius impulsus. Mašinos numerių plokštelės yra padengiamos atspindžio danga, siekiant sukurti 4 miliradianų impulso atsispindėjimą į LiDAR ginklo imtuvą. Matuojamą atstumą įtakoja matuoklio gamintojo kokybiškumas, matuojamo taško atsispindėjimas ir klimato sąlygos (temperatūra, krituliai, rūkas). LiDAR greičio matavimas gali būti įrašytas nuo 1.5 metro iki 1.2 kilometro. Dauguma policijos dalinių kurie naudoja LiDAR matuoklius, pasirenka 2X padidinimą. Naudojant 8X priartinimą komplikuoja tolesnius greitai judančius objektus aptikti dėl nusitaikymo nestabilumo. [3]

Impulsų siuntimas: policijos pareigūnai dažniausiai taikosi į automobilio numerius, bet tai nebūtinai turi būti numeriai, tai gali būti žibintai, chromuotos priekinės grotelės, tai kas atspindi siunčiamus impulsus, kai kurie matuokliai turi funkciją pranešti apie grįžtamo signalo kokybę, taip pat gali matuoti pora TP ir išsirinkti važiuojančią greičiau. 4 miliradianų kūgis atvaizduoja apšvietimą tik 1 kvadratinį metrą 300 metrų atstumu. Todėl tai įgalina lengvai atskirti kiekvieno automobilio greitį, net jeigu jie važiuoja vienoje grupėje. TP greitis, kurios užstotos kitomis transporto priemonėmis negali būti nustatytas. Nuspaudus LiDAR ginklo mygtuką paleidžiamas trumpas 30 nanosekundės lazerinis impulsas, kuris skrieja link taikinio ir į jį atsimuša. Tuo pačiu metu impulsas yra išlaisvinamas į lazerio šviesą, jis yra užfiksuotas aukštos rezoliucijos ir aukšto greičio taimerio kuris yra integruotas į LiDAR ginklą. Papildomi lazerio impulsai yra taip pat siunčiami 1 kHz dažnumu. Taigi LiDAR matuoja kiekvieno išsiųsto ir gauto impulso laiko tarpą tarp siuntimo ir gavimo ir gali nuskaityti 2 kartus laiko periode 3/1000 sekundės nustatant transporto priemonės greitį.

Atsispindėjimas: Lazerio impulsas atsispindi nuo transporto priemonės į kurią buvo pasiunčiamas impulsas. Testavimo protokolas LiDAR matuokliams naudojama atsispindėjimo medžiaga, kurios dydis kaip automobilio numerių plokštelė, juodame fone skirta testavimui. LiDAR greičio matuokliai naudoja 50 µW (mikrovatų) lazerio diodus, kurie sukuria 30 nanosekundžių impulsus 1 kHz dažnumu gaminant 1000 50 µW impulsus. Atsispindėjimas yra stiprinamas „sklaida“, kuri yra gaunama stipriu atsispindėjimo paviršiumi ant modernių automobilių (chromuoti bamperiai, chromuotos grotelės, priekinių lempų atsispindėjimo paviršius).

Aptikimas: tai yra tik vidaus skaičiavimas pagrįstas šviesos greičio ir lazerio impulso nukeliauto atstumo laiko, padalinta iš 2 (perpus, parengti vienos krypties atstumo laiką). Kadangi impulsų skaičius turi būti išmatuotas, kad būtų galima nustatyti greitį ir tada patikimumas pasveriamas klaidų tikrinime, tai labai tikėtina, kad policijos LiDAR greičio matuokliai gali gauti tikslius transporto priemonės greičio rodmenis tokiame trumpame laiko tarpe kaip 1/250 sekundės. [4]

7 pav. Unipar SL 700 lazerinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas.

„Unipar SL 700“ – lazerinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas, skirtas naudoti stacionariai. Greičio matavimo diapazonas – nuo 8 iki 350 km/val. Greičio matavimo paklaida visame diapazone – ±2 km/val. Prietaisas leidžia matuoti tiek artėjančių, tiek tolstančių transporto priemonių greitį, fiksuoja TP greitį, atstumą iki jos, datą ir laiką. Matavimų duomenys saugomi prietaiso atmintyje.

8 pav. Traffi Patrol XR“ – lazerinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas.

„Traffi Patrol XR“ – lazerinis transporto priemonių važiavimo greičio matavimo prietaisas, skirtas naudoti stacionariai. Greičio matavimo diapazonas – nuo 0 iki 320 km/val. Greičio matavimo paklaida visame diapazone – ±2 km/val. Prietaisas leidžia matuoti tiek artėjančių, tiek tolstančių transporto priemonių greitį, fiksuoja TP greitį, atstumą iki jos, datą ir laiką. Matavimų duomenys saugomi prietaiso atmintyje.

9 pav. PoliScan Speed stacionarus lazerinis TP važiavimo greičio matavimo prietaisas.

„PoliScan Speed“ – stacionariai į apsauginę dėžę montuojamas lazerinis transporto priemonių važiavimo greičio matavimo prietaisas. Greičio matavimo diapazonas – 10 iki 250 km/val. Greičio matavimo paklaida, kai užfiksuotas greitis nuo 10 iki 100 km/val. ±3 km/val., kai >100 km/val. – ±3 %. Prietaisas matuoja tiek artėjančių, tiek tolstančių, tiek abejomis kryptimis važiuojančių transporto priemonių greitį. Prietaisui užfiksavus leistino greičio viršijimo atvejį yra daroma pažeidimo fotonuotrauka, kurioje matoma greitį viršijusi transporto priemonė, jos valstybinis numeris ir vairuotojo veidas. Duomenys iš greičio matuoklio iškarto siunčiami į duomenų centrą.

2. Magnetorezistyvinių jutiklių panaudojimo galimybės

Magnetorezistyviniai sensoriai (MRS) naudojami kaip alternatyva standartinės magnetinės kilpos automobilių aptikimui ir automobilių srauto reguliavimui. Pogrindinės magnetinės kilpos naudojamos automobilių aptikime kelio sankirtose kelis dešimtmečius. Aptikimo schema paremta principu nuolatinio magnetinio lauko kitimu, įdiegta magnetinio lauko kilpa keičiasi kai transporto priemonė yra virš magnetinio lauko kilpos. Vis dėlto buvo atrasta, kad šios magnetinės kilpos yra netinkamos, brangiai instaliuojamos ir brangiai eksploatuojamos. Taip pat šis principas yra nepatikimas, magnetinio lauko kilpos negali aptikti skirtumo tarp lengvojo automobilio, sunkvežimio arba motociklo. [5]

Papildant, kad nuolatinis magnetinis laukas neatskiria transporto priemonės rūšies, Žemės magnetinis laukas (ML) taip pat paveikia dėl geografinės zonos ir Žemės netolygaus magnetinio lauko. Vektoriaus suma sukelto nuolatinio magnetinio lauko kitimo gali būti išnaudotas TP atpažinimo ir identifikavimo sistemos arba įrenginio. Remiantis sistemos modeliavimu ir kompiuterine simuliacija analizuojami ir įvertinami tokie TP jutiklių įrenginiai.

Pagrindinis klausimas kaip patikimai ir nebrangiai realizuoti transporto priemonių aptikimą ir sekimo sistemas. Rekomenduojama, kad tokias sistemas galima būtų instaliuoti ir eksploatuoti saugiai ir minimaliai trukdant eismui. Sistema turėtų, pateikti eismo informaciją bent tokią pat tikslią kaip magnetinės kilpos aptikimu. Aptikimo įrenginiai yra naudojami paleisti eismo reguliavimo įrenginius ir aptikti eismo įvykius ir susidarančius kamščius, jie taip pat atrandami automatiniame automobilių aptikimo pritaikomume. Šios aplikacijos yra dažniausiai lyginamos su eismo reguliavimo įrenginių savybėmis. Taip pat kitos aplikacijos įskaitant TP aptikimo, posūkio judesiams ir greičiui, tobulesniam TP kontroliavimui.

Magnetiniai jutikliai nustato buvimo vietą pagal metalinio objekto, kuris sukelia natūralaus magnetinio lauko pokyčius. Čia apsprendžiame magnetinio lauko charakteristikas, judančių transporto priemonių judėjimą. Rezultatai nukreipiami į potencialius magnetinius jutiklius, kurie kaip tinkama alternatyva tradicinės magnetinės kilpos, skirtos automobilių aptikimui ir eismo kontrolei. Požeminės magnetinės kilpos buvo naudojamos aptinkant automobilių esamas vietas kelių sankirtose kelis dešimtmečius. Buvo nustatyta, kad šios magnetinės kilpos yra nepatikimos, brangu įdiegti ir sistemų eksploatavimas yra brangus. Negana to, kad šios sistemos nėra labai

patikimos, taip pat jos negali atskirti transporto priemonės tipo tarp lengvojo automobilio, sunkvežimio arba motociklo.

Kai transporto priemonė juda bet kokia kryptimi, Žemės magnetinis laukas sukuria lauką, kuris nukreiptas iš šiaurės į pietus per transporto priemonę. Taip pat, dauguma automobilių turi nuosavą nuolatinį ML, kuris sukasi su transporto priemone. Šie du laukai sąveikauja tarpusavyje ir bendro magnetinio lauko iškraipymu. Bendro ML jėga priklauso nuo transporto priemonės tipo. Šis reiškinys apsprendžia magnetorezistyvinių jutiklių panaudojimo pagrindus.

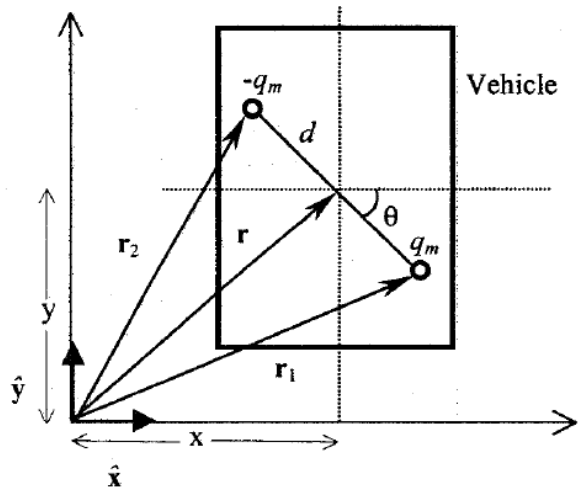
Šis transporto priemonių magnetinis laukas yra modeliuojamas kaip judantis magnetas arba, magnetinis dipolis. Kai magnetorezistorius yra teisingai įdiegiamas ant kelio, judančio automobilių magnetinis laukas, gali būti aptiktas. Buvo atrasta, kad šis judantis laukas priklauso nuo automobilio masės, ilgio, formų atstumo nuo jutiklių ir judėjimo sąveikos su jutikliu. Lengvieji automobiliai, sunkvežimiai ir motociklai aiškiai save apibūdina kaip netolygus įtampos signalas daviklio išėjime. Be to, magnetorezistorius gali būti naudojamas kaip transporto priemonių skaičiavimo ir nustatymo į kurią pusę juda automobilių srautas jutiklis.

2.1 Matematinis judančių transporto priemonių modelis

10 paveikslėlyje pavaizduotas x-y plokštumoje judančių transporto priemonių dviejų dimensijų modelis. Tai yra išgalvotas TP judėjimas teigiama y kryptimi, pastoviu greičiu $v=y*v_0$. MRS patalpintas pradžioje koordinačių sistemos pradžioje. [6]

Naudojant dvigubą argumentą, TP magnetinis laukas gali būti sumodeliuotas, kaip dviejų lygių, bet priešingų lygiareikšmių magnetinių šaltinių laukas, $+q_m$ ir $-q_m$, atskirti l=2d atstumu. Lygiareikšmiai magnetiniai šaltiniai yra išsidėstę atitinkamai r_1 ir r_2. Atspindėti transporto priemonės priklausomybę, magnetinio dipolio centras yra pateikiamas, kaip pozicinis vektorius.

$$\mathbf{r} = \hat{\mathbf{x}}x + \hat{\mathbf{y}}y = \hat{\mathbf{x}}x + \hat{\mathbf{y}}v_0 t, \qquad -\infty < t < \infty \quad (1)$$



10 pav. Automobilio laukas, kaip magnetinis dipolius.

Papildant galima pasakyti, kad supaprastinant analizę, magnetinio dipoliaus orientacija nepasikeičia, kai automobilis pravažiuoja pro jutiklį, kuris patalpintas x-y plokštumoje. Prie tokių sąlygų, magnetinio srauto tankumas (lauko indukcija) daviklyje kaip magnetinis dipolius yra pateiktas formule: [6]

$$\mathbf{B} = \frac{\mu}{4\pi} q_m \left(\frac{\mathbf{r}_1}{r_1^3} - \frac{\mathbf{r}_2}{r_2^3} \right) \quad (2)$$

Kur,

$$\mathbf{r}_1 = \hat{\mathbf{x}}(x + d\cos\theta) + \hat{\mathbf{y}}(y - d\sin\theta) \quad (3)$$

$$\mathbf{r}_2 = \hat{\mathbf{x}}(x - d\cos\theta) + \hat{\mathbf{y}}(y + d\sin\theta) \quad (4)$$

Sujungiant (3) ir (4) į (2) formulę gaunama:

$$\mathbf{B} = \hat{\mathbf{x}} B_x + \hat{\mathbf{y}} B_y \quad (5)$$

Kur B_x ir B_y yra reguliarūs komponentai duoti iš:

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

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

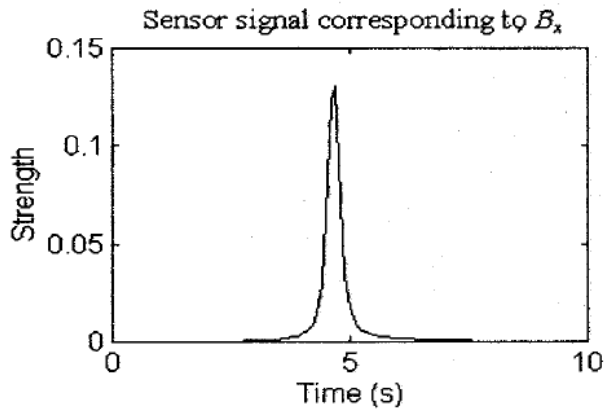
Kur r_1 ir r_2 yra vektorių pozicijos dydžiai:

$$r_1 = \sqrt{(x + d\cos\theta)^2 + (y - d\,sin\theta)^2} \quad (8)$$

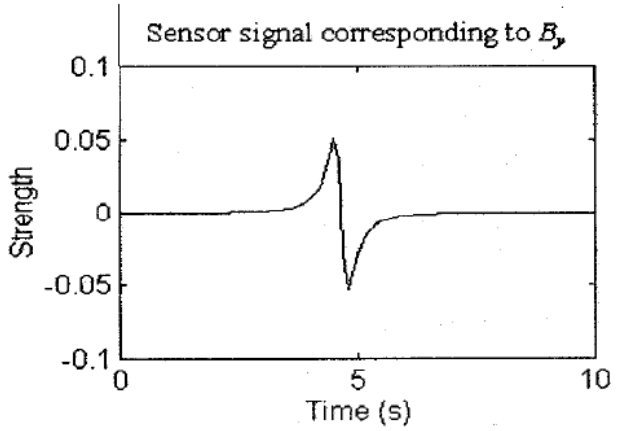
$$r_2 = \sqrt{(x - d\cos\theta)^2 + (y + d\,sin\theta)^{\mathrm{I}}} \quad (9)$$

Formulės (6) ir (7) savaip charakterizuoja judančios transporto priemonės ML ir yra pagrindas kompiuterio simuliacijai. Jos yra naudojamos atliekant magnetinio lauko tikrinimus pritaikant skirtingas transporto priemones.

ML mažėja atvirkščiai proporcingai atstumo kvadratui, todėl lauko dydis daviklyje būna mažas, bet po to išauga greitai, kai transporto priemonė pasiekia jutiklį. Be to, gautas signalas priklausys nuo dipolio lauko B komponentų. 11 ir 12 paveiksliukuose, matomas tipinis jutiklio signalas atitinkantis transporto priemonės magnetinio lauko komponentus.



11 pav. Daviklio signalas sukeltas judančio automobilio magnetinio lauko komponentės B_x.



12 pav. Daviklio signalas sukeltas judančio automobilio ML komponentės B_y.

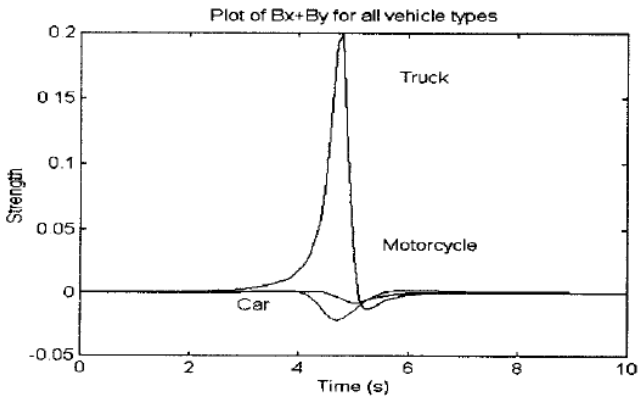
2.2 Kompiuterinė simuliacija

Kaip anksčiau minėta, magnetinis dipolinis TP laukas judesio metu priklauso nuo transporto priemonės masės, ilgio, formos, atstumo nuo jutiklio ir TP orientacijos daviklio atžvilgiu. Pagal Faradėjaus indukcijos teoremą, elektrinė įtampa sukelta magnetiniu šaltiniu yra proporcinga lauko kitimo greičiui ir nuolatinio magnetinio lauko dydžiui. Kai tokia sistema teisingai realizuojama, išėjimo iš MRS signalais gali būti atskirtas, transporto priemonės tipas, sunkvežimis, lengvasis automobilis ar motociklas. [6]

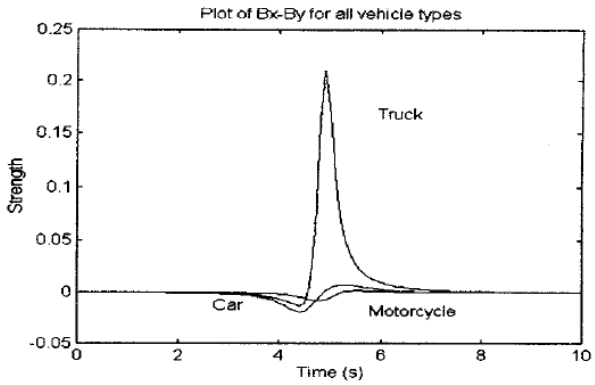
Kompiuterinė simuliacija yra orientuota į išėjimo signalo skirtumą tarp sunkvežimių, lengvųjų automobilių ir motociklų atsižvelgiant į dipolių orientaciją ir ilgį.

(a) Sumavimas ir skirtumas tarp B_x ir B_y

Siekiant padidinti jutiklio tikslumą bei jautrumą, pasiūlyta, kad sumavimas ir skirtumas tarp lauko komponentų B_x ir B_y turėtų būti išnaudotas. 13 paveiksle pavaizduota suma (B_x + B_y) ir 14 paveiksle skirtumas (B_x - B_y), atitinkamai sunkvežimio, mašinos ir motociklo judesio metu. Palyginant grafikus B_x ir B_y, paveiksluose 11 ir 12, abu suma ir skirtumas pateikia labiau sustiprintus ir skirtingus impulsus. Tai gali būti pranašumas taikant sumą ir skirtumą siekiant aptikti ir identifikuoti transporto priemones.



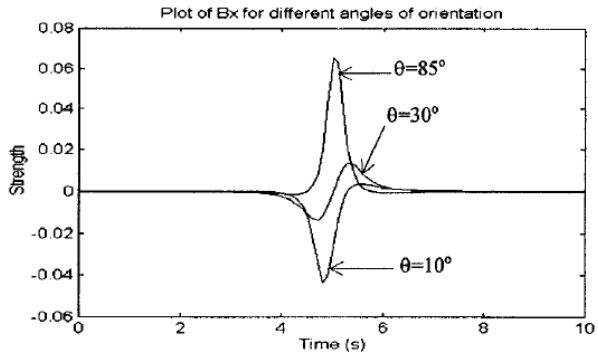
13 pav. B lauko komponentų, x ir y suma.



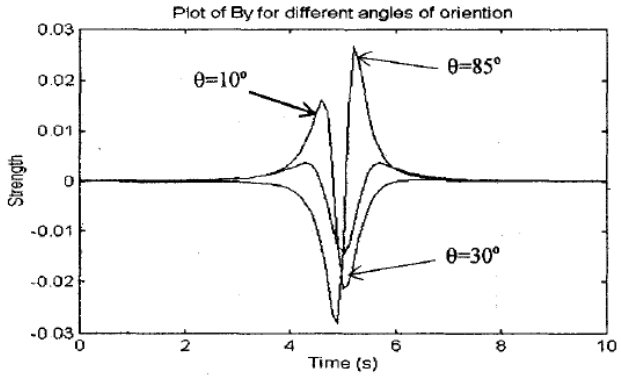
14 pav. B lauko komponentų, x ir y skirtumas.

(b) Dipolinių orientavimo efektas.

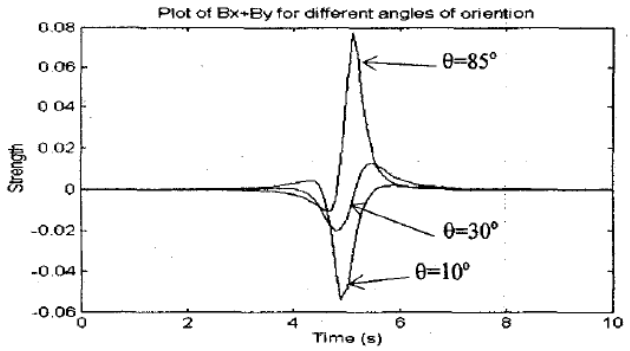
Dipolinio orientavimo efektas yra naudojamas taip: Θ keičiant, kai kitus parametrus paliekant stacionarius. B komponento lauko grafikas B_x yra atitinkamai Θ=85˚,30˚,10˚, signalo pokytis taikant šį efektą pavaizduotas 15 paveiksle. Atitinkami B_y grafikai yra pavaizduojami 16 paveiksle. Palyginti gauti signalai sumos ir skirtumo yra pavaizduoti 17 ir 18 paveiksluose. Visais variantais, yra argumentuoti įrodymai, kad dipolinis orientavimas Θ yra efektyvus kaip sugebantis atskirti transporto priemonių tipus. [6]



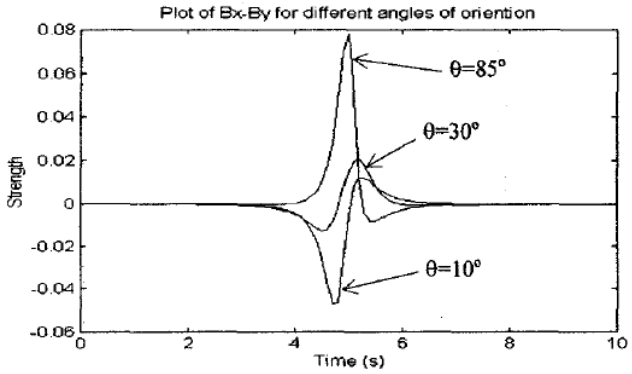
15 pav. Lauko stipris B_x keičiant dipoliaus orientaciją.



16 pav. Lauko stipris B_y keičiant dipoliaus orientaciją.



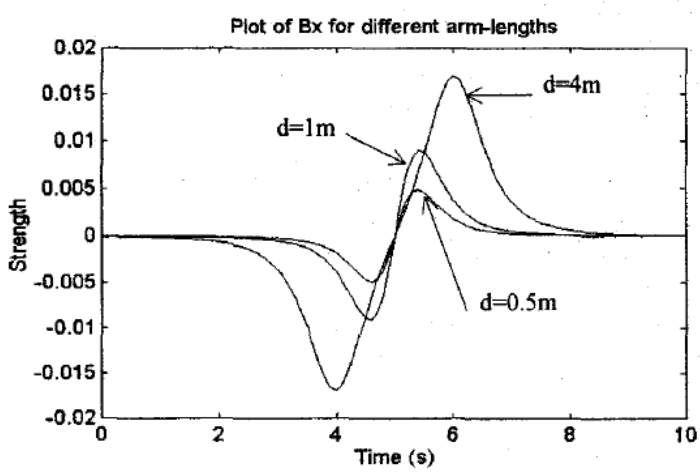
17 pav. Dipolio orientacijos efektas, sumos modeliu (B_x + B_y).



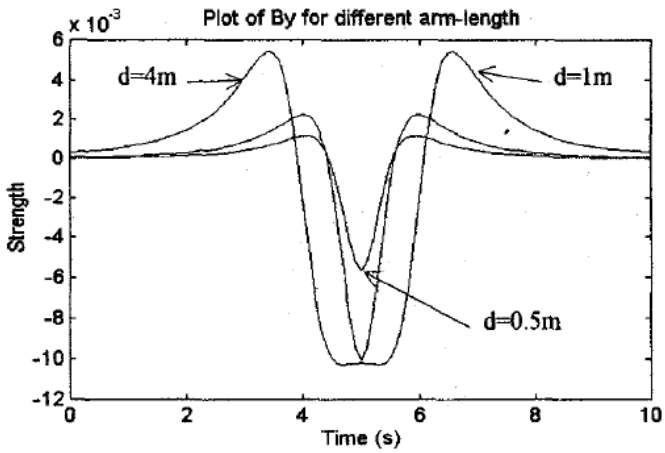
18 pav. Dipolio orientacijos efektas, skirtumo modeliu (B_x - B_y).

(c) Dipolio ilgio efektas

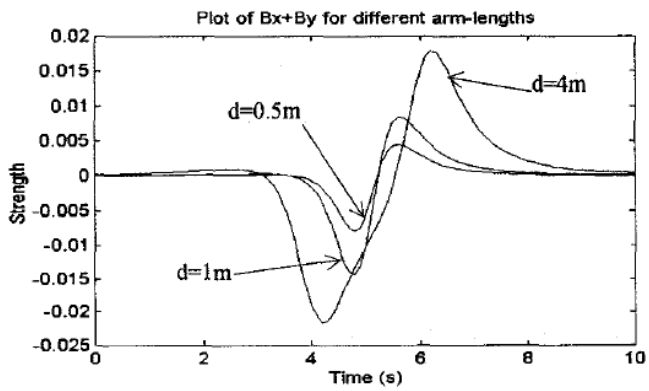
Taip kaip ir anksčiau darytame tyrime, šis efektas daromas taip pat, tik keičiant kitą parametrą, dipolio ilgį *d* paliekant kitus parametrus stacionarius. B_x komponento lauko grafikai *d*=4;1;0,5 metrai pavaizduoti 19 paveiksle. B_y komponento lauko grafikai pavaizduoti 20 paveiksle. Palyginimui sumos (B_x + B_y) ir skirtumo (B_x - B_y) modeliai pateikiami 21 ir 22 paveiksluose. Kaip ir tikėtasi šios simuliacijos rezultatai, kai dipoliaus ilgis *d* keičiamas yra efektyvus ir panaudojamas TP aptikimui naudoti. [6]



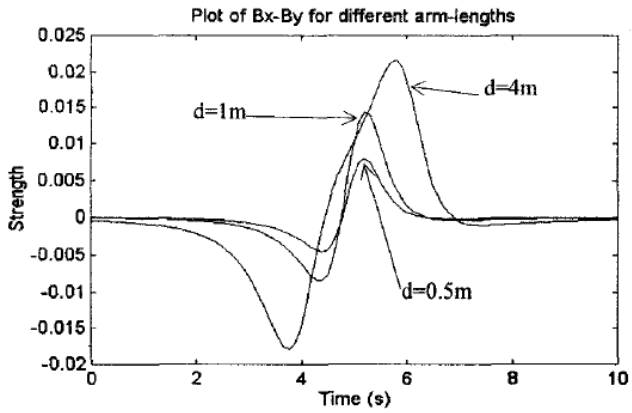
19 pav. B_x lauko stipris, keičiant dipoliaus ilgius.



20 pav. B_y lauko stipris, keičiant dipoliaus ilgius.



21 pav. Sumos modelio (B_x + B_y), dipolio ilgio efektas.



22 pav. Skirtumo modelio (B_x - B_y), dipolio ilgio efektas.

2.3 Apibendrinimas

Kombinuotas indukcinis magnetinis laukas ir nuolatinis TP magnetinis laukas judesio metu yra sumodeliuotas kaip judantis magnetinis dipolius. Šis judantis dipolius priklauso nuo transporto priemonės masės, ilgio, formų, atstumo iki jutiklio ir padėties. Atitinkamai mašinos, sunkvežimiai ir motociklai perteikia savo ML iškraipymą aptinkamą kaip signalą, kuris yra jutiklio išėjime. Apibendrinant, pagrindinė struktūra ir MRS potencialus pritaikomumas yra teigiamas.

- Magnetinis jutiklis susideda iš montažinės gerai suprojektuotos magnetinės vijos. Šios vijos yra sukonfigūruotos taip, kad abi B_x ir B_y pokyčio dedamosios B lauke gali būti tiksliai aptiktos nepaisant jutiklio padėties.
- Signalų apdorojimo skiltis – yra naudojami sustiprinti ir apdoroti signalai gauti MRS išėjimuose. Ši skiltis apima elektronikos grandinę, kuri reikalinga transporto priemonių atpažinimui.

Kai MRS yra tinkamai įdiegiamas į kelio dangą, gali būti aptiktas transporto priemonių atsiradimas. Tai pat, strategiškai išdėlioti magnetorezistyviniai jutikliai gali būti naudojami siekiant aptikti kokiu greičiu važiuoja transporto priemonės. Ši technika apima, aptikimo jutiklio signalo ir laiko skirtumo radimą.

3. Transporto priemonių aptikimas naudojant AMR daviklis

Patobulinti Honeywell‘s magnetorezistyviniai (*AMR*) davikliai yra naudojami senoms ir naujoms transporto priemonių aptikimo sistemoms. Šie davikliai yra nedideli, užima mažai vietos ir yra gana paprastos struktūros, remiasi pilno tiltelio (rezistorių) principu (angl. *Wheatstone bridge*). Šis tiltelis naudojamas varžos matavime, arba jutikliuose, tokiuose kaip termistoriuose ir kaip šiuo atveju magnetorezistyviniuose davikliuose. [7]

Naudojantis MRS galima gauti daug vertingos informacijos apie transporto priemones, kurios turi metalinį pagrindą. Šių daviklių panaudojimo galimybės yra gana plačios ir gali būti naudojamos įvairiose sistemose ne tik aptinkant automobilius, bet ir nustatant automobilių kėbulų dydžius, kokia kryptimi jie juda, kuriose vietose yra susidariusios eismo spūstys, taip pat galima išsiskaičiuoti kokiu greičiu važiuoja transporto priemonės. Šių daviklių privalumai yra tokie:

- Magnetinio lauko aptikimo, stiprio, krypties, ne tik žemės magnetinio lauko, taip pat nuolatinių magnetų, transporto priemonių aptikime ir elektros srovės sukurtus magnetinius laukus.
- Visus aukščiau išvardintus parametrus šie davikliai gali išmatuoti nenaudojant jokio fizinio kontakto ir tai tapo daugelio pramoninių sistemų akimis.

3.1 Transporto priemonių aptikimo taikymas

Atsižvelgiant į tai, kad beveik kiekvienas automobilis yra pagamintas iš įvairių metalų (plienas, geležis, nikelis, kobaltas ir pan.) magnetiniai davikliai yra tinkami kandidatai siekiant aptikti transporto priemones. Šiomis dienomis, dauguma magnetinių jutiklių yra miniatiūriniai dydžio atžvilgiu, ir galima padėkoti šiuolaikinėms technologijoms, kad jie tiek dydžiu ir elektrinių signalų kokybe yra geresni ir įsitvirtinę rinkoje, taip pat tokius komponentus yra lengviau integruoti ir eksploatuoti. [7]

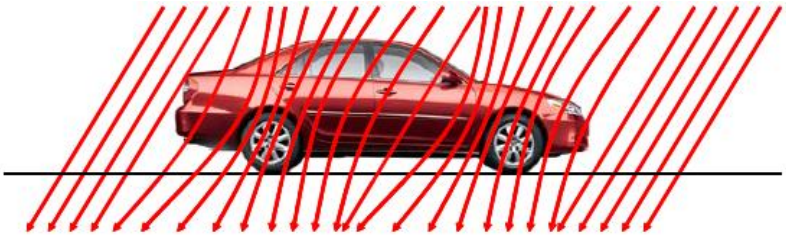
Ne visos TP sugeneruoja reikiamo stiprumo ML iškraipymą, kuris magnetiniams jutikliams galėtų būti naudojamas kaip aptikimo parametras. Šis faktas eliminuoja daugumą (didelio lauko) magnetinių daviklių, tokius kaip Holo efekto daviklius. Bet Žemė yra kaip magnetas, turi savo ML, kuris prasiskverbia per viską tarp pietinio ir šiaurinio polių. Žemės

magnetinis laukas yra maždaug pusė-gauso, dėl to „žemo lauko“ magnetiniai jutikliai yra naudojami aptikti šį lauką ir taip pat magnetinio lauko iškraipymą, kai transporto priemonė pravažiuoja pro jį. 23 paveiksle pavaizduota kaip žemės ML linijos yra iškraipomos, kai pravažiuoja reguliari transporto priemonė pagaminta iš dvivalentinės geležies ir kitų metalų.

Magnetinio lauko linijų iškraipymo laukas grupuojamas į koncentruojamą ir nekoncentruojamą, išsisklaidantį. Magnetinis jutiklis yra integruojamas šalimais, kad aptiktų tą pačią magnetinio lauko iškraipymo įtaką, kurią sukuria transporto priemonė Žemės magnetiniam laukui. Kadangi daviklis nėra įdiegtas į transporto priemonę, dėl to negaunamas toks pats adekvatumas tarp magnetinio lauko linijų koncentracijos ir išsisklaidymo. Kuo didesnis atstumas nuo daviklio, tuo labiau keičiasi linijų išsikraipymo tankis, kai automobilio būvimo vieta keičiasi proporcingai greičiui. Tai yra ir gerai ir blogai, atsižvelgiant į tai, kokie yra projektavimo užmojai. Jeigu aptikimo atstumas yra svarbiausias veiksnys, staigus pokytis lauko linijų tankyje yra netikslių duomenų sukeliamas veiksnys. Vis dėlto, jeigu netikras aptikimas gretimoje lauko linijoje arba TP gretimoje stovėjimo aikštelės vietoje, staigus magnetinės indukcijos nukritimas yra labai informatyvus ženklas. [7]

Įprasti automobilių aptikimo panaudojimai naudojant magnetinus daviklis ir Žemės ML yra:

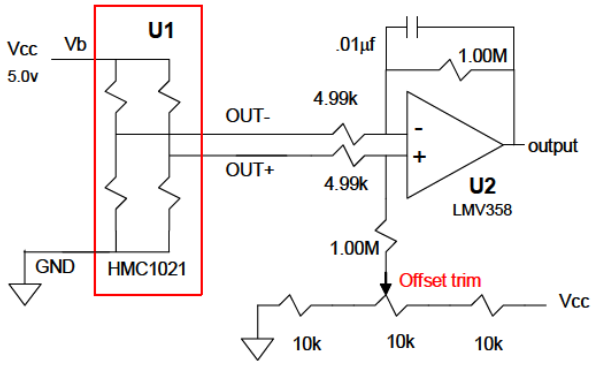
- Geležinkelio sankirtų valdymas (traukiniams);
- Automobilių kontrolinis pravažiavimas;
- Automatinis durų/vartų atidarymas;
- Eismo reguliavimas (krypties, greičio nustatymas);
- Parkavimosi aikštelių vietų kontrolė;



23 pav. Žemės magnetinio lauko iškraipymas per transporto priemonę.

AMR daviklių rezistyviniai elementai yra orientuoti kaip pilnas rezistyvinis tiltelis, kuris šiek tiek keičia varžą, kai magnetinis laukas keičiasi. Varžiniai elementai yra gaminami iš plonų permalojaus plėvelių ir turi apie 1000 omų varžą, bet kiekvienas elementas yra tiksliai tarpusavyje suderintas omo paklaida, kai neveikia joks magnetinis laukas.

Dėl to, kad AMR daviklio išėjimo signalai matuojami milivoltais, matuojant Žemės ML stiprį, šie varžinio tiltelio jutikliai reikalauja signalo stiprinimo norint lengviau aptikti transporto priemonės būvimą. Diferencialinis jutiklio išėjimas reikalauja stiprintuvo suderinto su jutiklio išėjimo įtampa ir maitinimo įtampa. Tiltelio maitinimo įtampos padeda sustiprinti signalą, bet eksploatuojant jutiklius daugiau nei 5 voltais tiltelio elementai gauna daugiau energijos ir pradeda kaisti, atsiranda terminiai trikdžiai. 24 paveiksle pavaizduota tipinė jutiklio sąsajos grandinės schema. [7]



24 pav. AMR jutiklio signalo stiprinimo grandinė.

Pavaizduota, žemos įtampos operacinis stiprintuvas su 1% tolerancijos plono sluoksnio metaliniais rezistoriais. Instrumentinis stiprintuvas gali pakeisti operacinį stiprintuvą ir rezistorius paprastesniam valdymui kompensuojant įtampą.

3.2 Greičio nustatymas

Naudojant du jutiklius mes galime apskaičiuoti transporto priemonės greitį. Kaip matome 10 formulėje mes galime naudoti abu pirmutinį (viršutinį) laiką ir antrinį laiką siekiant gauti tikslų greitį. Tai duoda mums du greičio matavimus, v_1 ir v_2 iš kurių galime paimti vidurkį iš apskaičiuoto greičio.[11]

$$v_{\text{est}} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{d}{t_{2,\text{on}} - t_{1,\text{on}}} + \frac{d}{t_{2,\text{off}} - t_{1,\text{off}}}\right) \tag{10}$$

Skaičiavimas priklauso nuo jutiklio jautrumo skirtumo. Jautrumo skirtumas įveda vėlavimą ε atsižvelgiant į tai, kad impulsai yra simetriški. Ši prielaida yra gera standartinėms transporto priemonėms, bet ne ilgoms TP kaip autobusams ir sunkvežimiams – šioms TP mums reikia ε_{on} ir ε_{off}. Tokiu atveju greičio skaičiavimas yra:

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

5.2

$$= \frac{d\left(t_{2,\text{on}} - t_{1,\text{on}} + t_{2,\text{off}} - t_{1,\text{off}}\right)}{(t_{2,\text{on}} - t_{1,\text{on}})(t_{2,\text{off}} - t_{1,\text{off}}) + \varepsilon\left([t_{2,\text{on}} - t_{1,\text{on}}] - [t_{2,\text{off}} - t_{1,\text{off}}]\right) + \varepsilon^2}. \tag{11}$$

Atstumas tarp jutiklių turėtų būti didelis arba atitikti atskaitų dažnį, kuris turėtų būti didelis su tikslu, kad gauti kuo tikslesnius rezultatus. Taip pat turim pasirinkimą įsiterpti į signalą, kai gaunam duomenis iš daviklio dažnyje dvigubai didesniame negu Nykvist'o dažnis. Mažas atstumas ir aukštas atskaitų dažnis prives prie greičio vidurkio panašesnio kaip momentinio greičio. Ši informacija dažnai nėra reikalaujama ir naudoja daug energijos atsižvelgiant į tai, kad AMR jutikliai sunaudoja daug energijos, taigi yra geriau interpoliuoti vietoj per didelio atskaitų kiekio. Siųsti informaciją tarp matavimo taškų taip pat yra brangu.

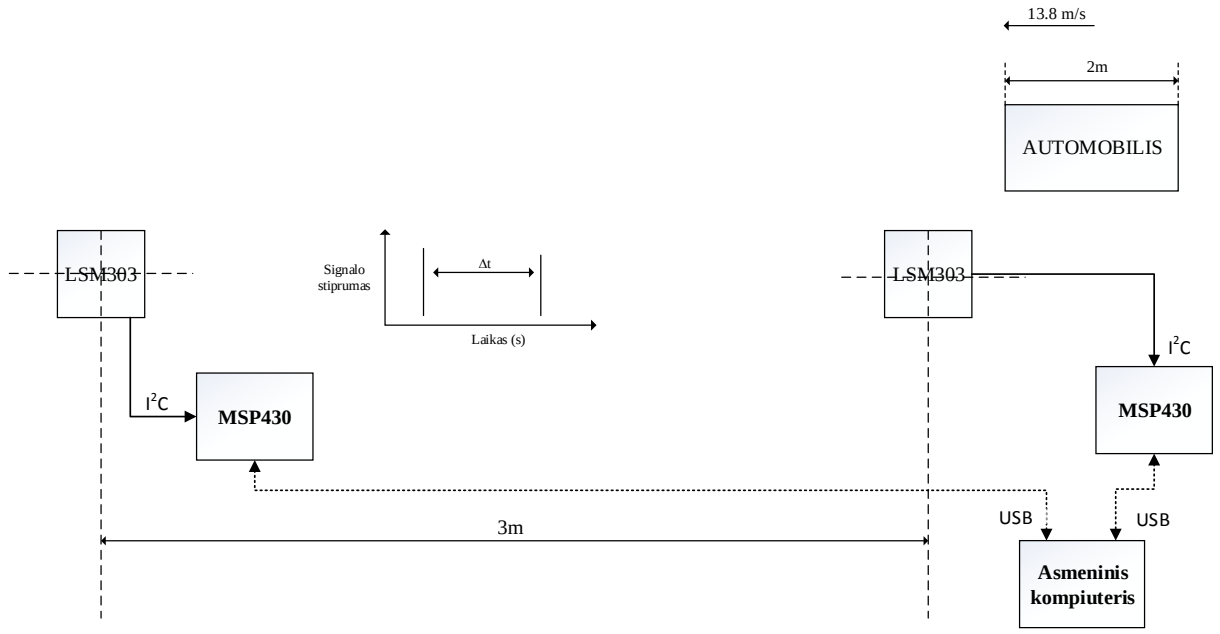
Jeigu priimsime sąlygą, kad visos transporto priemonės, kurios kerta pirmo jutiklio lauką kirs ir antrojo, tai galime susinchronizuoti informacijos gavimą. Tokiu atveju, mes taip pat turime susinchronizuoti laiką tarp daviklių, kad turėtumėt tikslias laiko žymes. Kitas sprendimas yra sudėti du magnetinius jutiklius, ant kiekvieno jutiklio mazgo elektrinėj schemoj. Tai įgalins mus naudotis vienodais laikais, bet atskaitų nuskaitymo dažnis turi būti didesnis rezultatų skaičius, su didesniu galios sunaudojimu.

4. Tiriamoji dalis ir rezultatai

Šioje dalyje detaliai aprašomas procesas. Parenkamos atskiros sistemos dalys, aprašomas jų veikimas, tarpusavio komunikacijos ypatybės, pateikiama struktūrinė schema, aprašomas sistemos funkcionavimas. Konkretizuojama duomenų apdorojimas, tyrimai bei skaičiavimai. Galutiniai rezultatai pateikiami lentelėse, gaunamuose grafikuose.

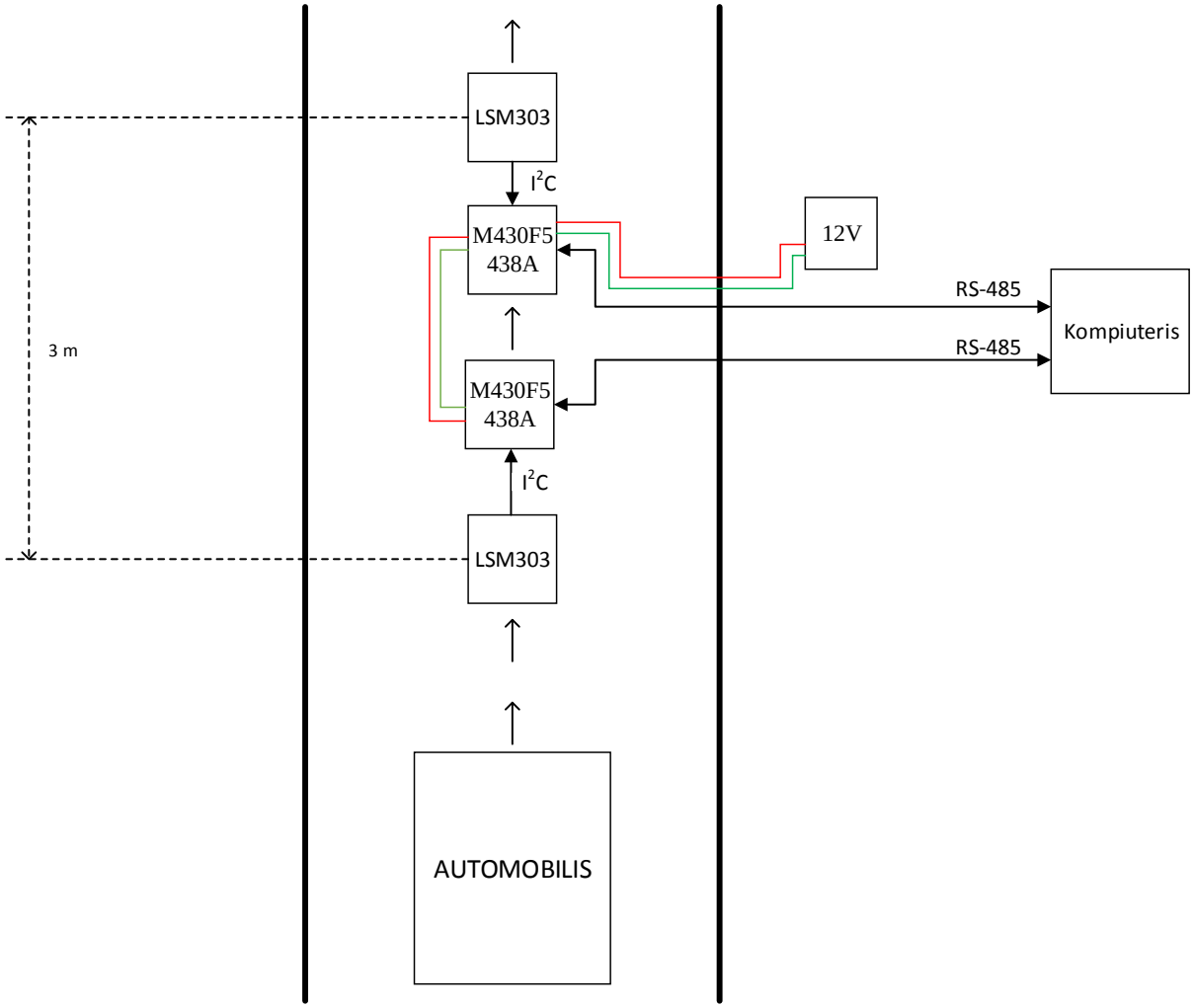
4.1 Sistemos funkcionavimo aprašymas

Šioje dalyje bus kalbama apie struktūrinę schemą, kokiu principu (metodu) daromi tyrimai ir kaip tyrimo eigoje struktūrinė schema kito. Taip pat aprašomas schemos funkcionavimas, komunikacija, funkciniai blokai ir sistemos veikimas. 25 paveiksle pavaizduota struktūrinė schema atliekant pirminius tyrimus.



25 pav. Struktūrinė tyrimo schema.

Schemoje pavaizduotas pirminis sistemos maketas ir taikomas tyrimo metodas. Taigi kaip matome sistema sudaryta iš dviejų magnetometrų, dviejų MSP430 launchpad‘ų, kompiuterio, linijinei komunikacijai naudojama I^2C sąsaja. Dėl spartos trūkumo sistema buvo modifikuota, 26 paveiksle pavaizduotas atnaujintos sistemos maketas.



26 pav. Modifikuota struktūrinė tyrimo schema.

Atnaujinus sistemos maketą, tyrimo metodas nepakito, tik valdiklių maitinimui pridėtas 12V maitinimo šaltinis.

***Šios sistemos maketo veikimo principas*:**

Du jutikliai matuoja magnetinio lauko iškraipymus ir pagal gaunamus indukcijos pokyčio dedamųjų B_x, B_y ir B_z iškraipymus, atsižvelgiant į abu magnetometro duomenis pravažiavus automobiliui per jutiklius galima išsiskaičiuoti, kiek laiko automobilis užtruko pravažiuoti pro jutiklius, tai realizuoti pasirinkti du būdai, kurie aprašyti tyrimų rezultatų skyriuje. Transporto priemonės greičiui apskaičiuoti reikalingi laiko ir atstumo kintamieji, atstumas yra žinomas, o

laikas surandamas iš indukcijos pokyčio dedamųjų pravažiavus automobiliui. Pagrindinė užduotis, iš gaunamų indukcijos pokyčio kreivių nustatyti laiką.

Pravažiavus automobiliui per abu jutiklius, gaunamos dvi magnetinio lauko dedamųjų ir modulio kitimų kreivės, šie duomenys per I^2C sąsają siunčiami į M430F5438A valdiklį, šios sąsajos pagalba galima prisijungti keletą duomenų nuskaitymo įrenginių ir per dvilaidę sąsają siųsti duomenis į pasirinktą duomenų apdorojimo šaltinį, kadangi atstumas tarp jutiklių rekomenduojamas kuo didesnis, pasirinktas 3 m siekiant tikslesnių tyrimo rezultatų, reikia naudoti du valdiklius, nes I^2C sąsajos komunikavimo atstumas negali būti didesnis kaip 30 cm.

MRS yra naudojami silpnų magnetinių laukų stiprumo matavimams, žemės magnetinio lauko matavimams. Tokie jutikliai gaminami vienos komponentės, dviejų ir net trijų komponenčių magnetinio lauko matavimui, šiuo atveju naudojamas trijų komponenčių. Priklausomai nuo magnetinio lauko dedamosios krypties magnetorezistyvinio jutiklio varža padidėja arba sumažėja. Magnetorezistyviniai jutikliai LSM303DLH reaguoja į žemės ir automobilių magnetinį lauką.

I^2C sąsaja yra tinkama tokio pobūdžio informacijos perdavimui, tiek greičio tiek įrenginių pajungimo atžvilgiu. Linijinė komunikacija tarp dviejų LSM303 magnetometrų ir M430F5438A valdiklių šio darbo reikalavimus tenkina.

Kadangi atliekamas tyrimas, bus bandoma keisti atstumą tarp jutiklių ir pravažiuoti šalia jutiklių siekiant nustatyti, kokios yra priklausomybės. Taigi apžvelgus greičio matavimo struktūrinę schemą, galime išvesti pagrindinius automobilio greičio nustatymo tikslus:

- Matematinių formulių taikymas;
- Duomenų filtravimas;
- Laiko radimo būdai duomenų apdorojime.

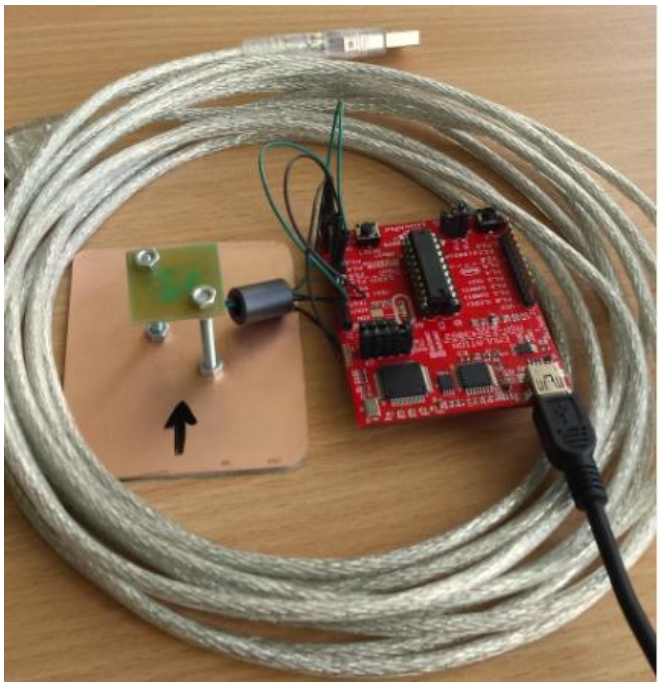
4.2 Atliktų tyrimų duomenų kaupimas, kilusios problemos

Šiame skyriuje bus kalbama apie tai, kaip buvo kaupiami duomenys, pateikiamos pirminės diagramos, tyrimų eigoje kilusios problemos ir jų sprendimai.

Reikia turėti pakankamai atskaitų siekiant išskirti pagrindinius transporto priemonės bruožus atsispindinčius magnetometro gaunamuose duomenyse. Reikiamų atskaitų kiekis yra apribotas naudojamo valdiklio bei pačio magnetometro. Jeigu norime aptikti transporto priemonę, mes turime gauti mažiausiai vieną atskaitą, kai automobilis pravažiuoja pro daviklį ir sugeneruoja tokį signalą, kuris atitinkamai viršytų nominalias vertes, nematomas vertes. Jeigu priimame, kad automobilio maksimalus greitis yra 110 km/h, mes turime gauti atskaitas 20 Hz dažnumu norint gauti bent vieną atskaitą, kai automobilis yra virš daviklio. Nepaisant to, nėra visiškai aišku, kad visos skirtingų automobilių dalys sugeneruos didesnį signalą, negu ribinės vertės. Taip pat nėra garantuojama, kad maksimalus signalas atsiras būtent tada, kai automobilis pravažiuos pro jutiklį. Siekiant tikslių rezultatų generavimo reikalingas kuo didesnis atskaitų kiekis. Reikalingas keturis kartus didesnis diskretizavimo dažnis, didžiausias dažnis bus nemažesnis kaip 80 Hz. Kadangi mums reikia gauti atskaitas daug greičiau, turime atsižvelgti į tai, kad diskretizavimo dažnis turi būti du kartus didesnis nei Nykvist'o dažnis, gaunasi, kad 160 Hz yra pakankamas diskretizavimo dažnis ir ši hipotezė yra sustiprinta remiantis greitąja Furje transformacija (FFT). Diskretizavimo dažnis turėtų būti minimalus, nes kuo mažiau atskaitų skaičiuojama, tuo dažniau galima leisti procesoriui persijungti į miego rėžimą taip sumažinant galios suvartojimą.

Atliekant šiuos tyrimus remiantis schema (26 pav.) ir duomenų surinkimo būdu, buvo naudojama 5 skirtingos markės automobiliai, su kiekvienu automobiliu atskirai važiuojama per daviklius kaip pavaizduota struktūrinėje schemoje, taip pat tyrimų eigoje buvo bandoma pravažiuoti šalia daliklių apie 70 cm atstumu, atliekant pradinius tyrimus keturiais skirtingais greičiais (20, 40, 60, 80 km/h), pastebėjau, kad MSP430 launchpad'o darbo greitis nėra pakankamas, nes laiko atskaitos tarp dviejų daviklių buvo netikslios ir nepakankamos rezultatų apdorojimui, gaunamos kreivės netikslingos ir iš jų pravažiavus didesniu kaip 50 km/h greičiu nebuvo galima išskaičiuoti automobilio greičio, nes tiesiog duomenų gavimo srautas per mažas, diskretizavimo dažnis buvo 38 Hz ir duomenų kiekio nepakanka tikslesniems skaičiavimams atlikti, dėl šių priežasčių sistema buvo modifikuota. Vietoje MSP430G2553 valdiklio pasirinktas

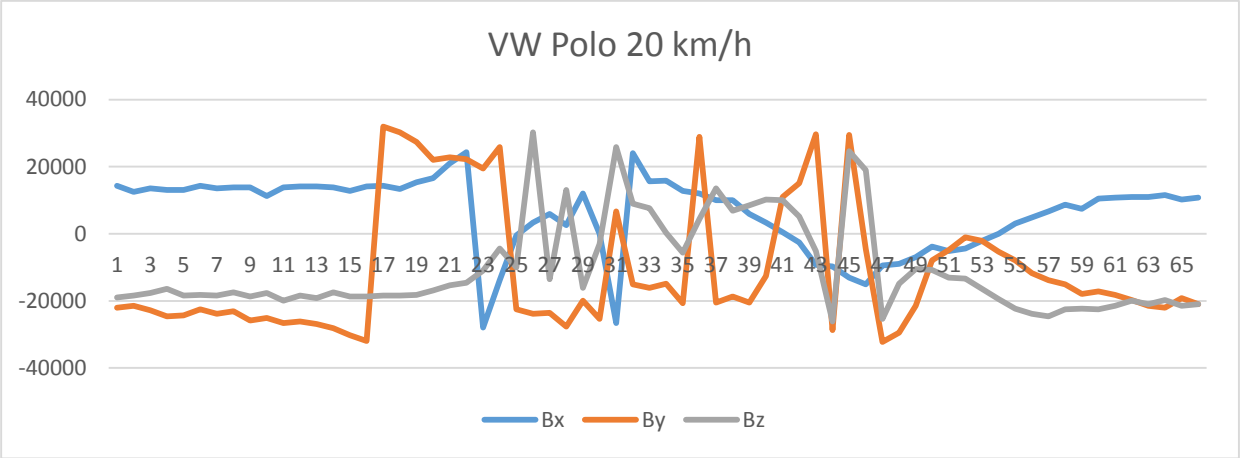
galingesnis M430F5438A valdiklis taip pat pakeista komunikacija tarp valdiklio ir kompiuterio į RS485, kurių dėka diskretizavimo dažnis smarkiai išaugo nuo 38 Hz iki 2049 Hz, tai įgalino sistemos veikimo tikslumą, tačiau toks didelis diskretizavimo dažnis kaip 2049 Hz nereikalingas, nes pats magnetometras nespėja generuoti rezultatų, pakankamas dažnis turėtų būti apie 200 Hz. Pakartojus tyrimus šįkart su dviem automobiliais (hečbeku ir minivenu) pravažiuota per jutiklius 20, 50, 80 km/h greičiu, iškarto pastebėtas gaunamų rezultatų tikslumas, iš dar neapdorotų duomenų (*raw data*) pravažiavus automobiliui (rezultatai pavaizduoti 35 pav., 36 pav.). Atlikus kartotinius tyrimus sugeneruota pakankamai tyrimų rezultatų, siekiant apskaičiuoti automobilio pravažiavusio per jutiklius laiką. Taip pat tyrimo įvairumui ir priklausomybių nustatymui buvo važiuojama šalia jutiklio 70 cm atstumu nuo jo, keičiamas atstumas tarp jutiklių, tai yra 3-jų, 2-jų, 1 metro tarpai, prie kiekvieno atstumo pravažiuojama trimis skirtingais greičiais.



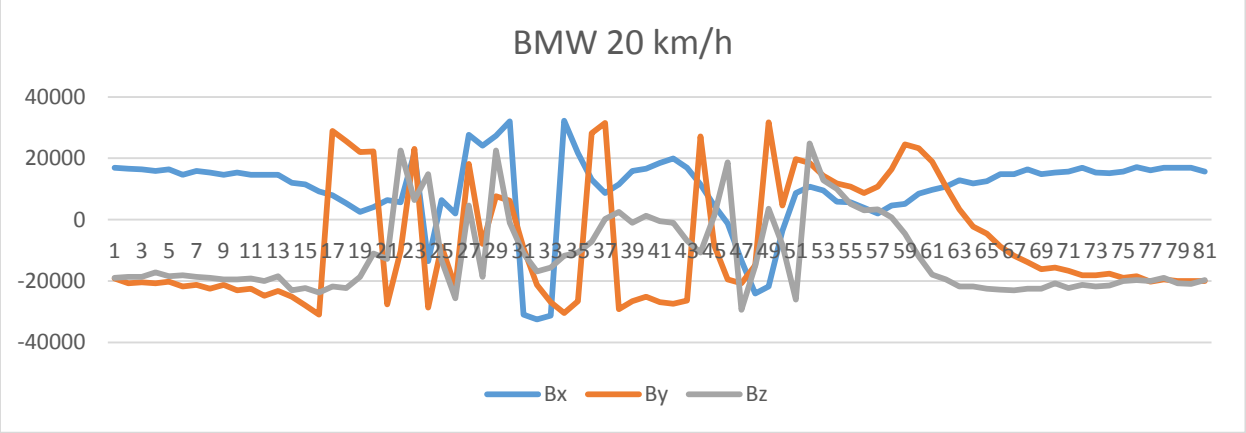
27 pav. Pirminės sistemos nuotrauka taikant MSP430 launchpad‘ą, naudojami du launchpad‘ai ir magnetometrai.

Atlikus pirminius bandymus, paleidus I^2C sąsają su duomenų nuskaitymu ir per daviklius pravažiavus su skirtingais automobiliais naudojant MSP430 siekiant pastebėti kaip jutikliai reaguoja į sukeliamus skirtingų transporto priemonių magnetinio lauko iškraipymus. Žemiau pademonstruoti gaunami magnetometro LSM303 B_x, B_y ir B_z pokyčio dedamųjų iškraipymai trijų

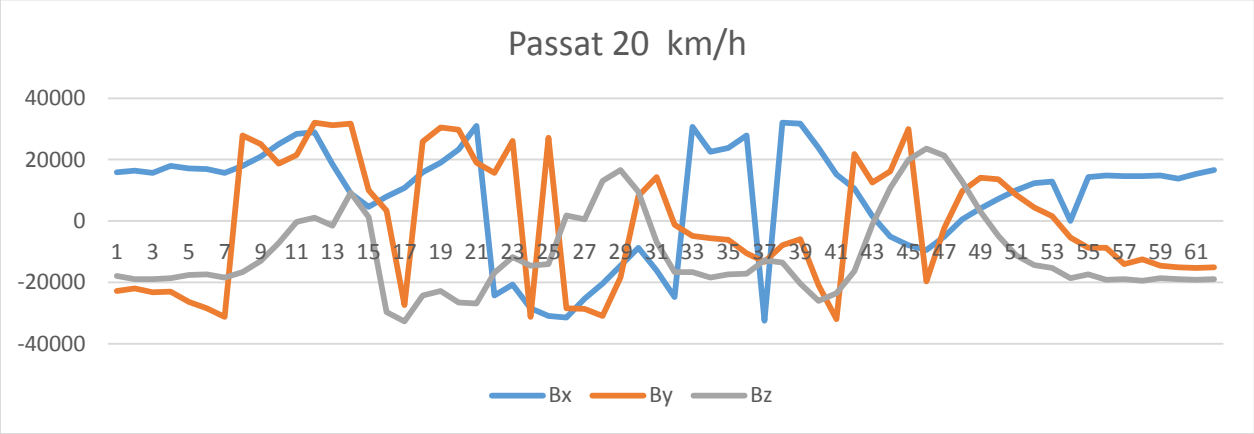
skirtingų automobilių, Volkswagen Polo (hečbekas 1178 kg), BMW 5 serijos (sedanas 1300 kg) ir Volkswagen Passat (universalas 1607 kg).



28 pav. Volkswagen Polo sukeliami magnetinio lauko iškraipymai pravažiavus 20 km/h.



29 pav. BMW 5 serijos sukeliami magnetinio lauko iškraipymai pravažiavus 20 km/h.



30 pav. Volkswagen Passat sukeliami magnetinio lauko iškraipymai pravažiavus 20 km/h.

Apžvelgus gautus pirminius duomenis pastebime, kad duomenys yra iškraipomi chaotiškai ir be jokios tvarkos, taip pat pastebėta, kad sudėjus du jutiklius pasirinktu atstumu vienas nuo kito kinta žemės magnetinis laukas nuo geografinės padėties, dėl to magnetometro parametrai kinta ir gaunamos B_x, B_y, B_z pokyčio dedamųjų pozicijos yra skirtingos. Kadangi duomenys yra iškraipomi netolygiai, be jokios priklausomybės, nusprendžiau duomenis apdoroti taip, kad būtų gaunama tikslinga kreivė. Sujungus visas pokyčio dedamąsias, išskaičiavau kosinuso reikšmę, kvadratinį nuokrypį žemiau pavaizduotomis formulėmis.

$$Mod_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}; \tag{12}$$

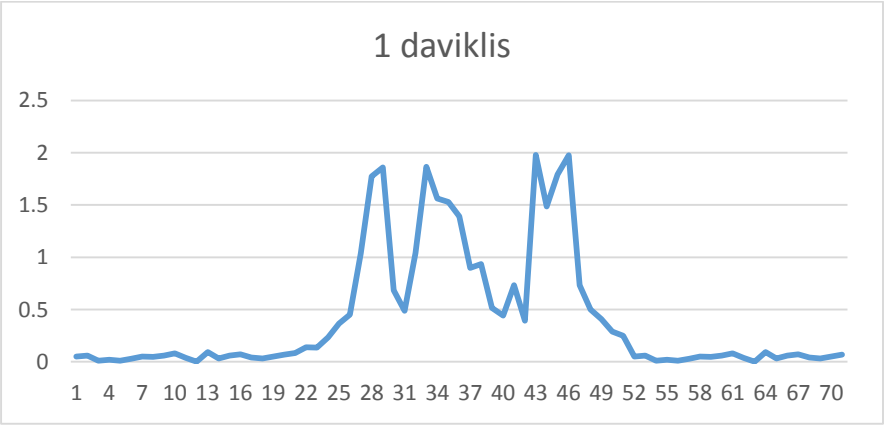
$$cos_{x_i} = \frac{x_i}{mod_i}; \tag{13}$$

$$cos_{y_i} = \frac{y_i}{mod_i}; \tag{14}$$

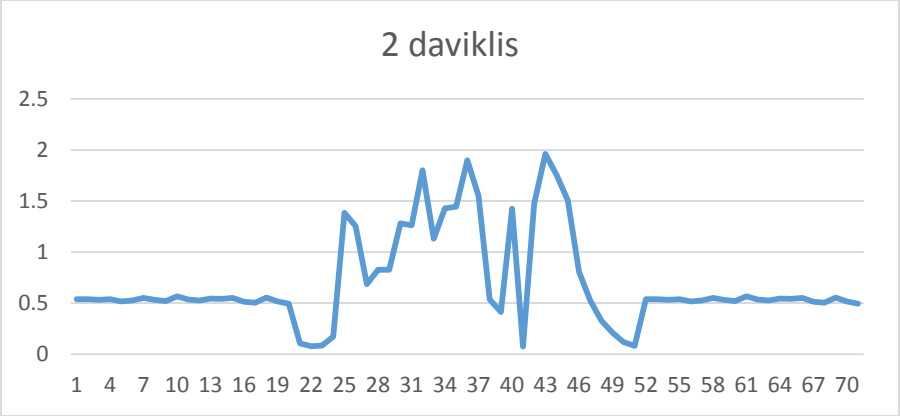
$$cos_{z_i} = \frac{z_i}{mod_i}; \tag{15}$$

$$K = \sqrt{\left(cos_{x_i} - cos_{x_0}\right)^2 + \left(cos_{y_i} - cos_{y_0}\right)^2 + \left(cos_{z_i} - cos_{z_0}\right)^2}; \tag{16}$$

Apdorojus duomenis gautus pravažiavus Volkswagen Passat markės automobiliu gaunamos tikslingesnės kreivės (31 pav., 32 pav.).



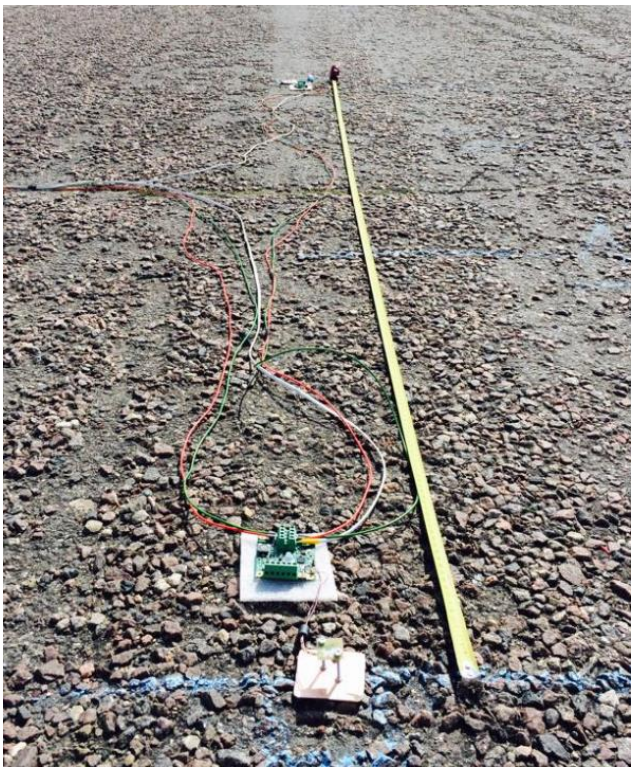
31 pav. VW Passat 40 km/h greičiu pravažiavęs pro pirmą daviklį.



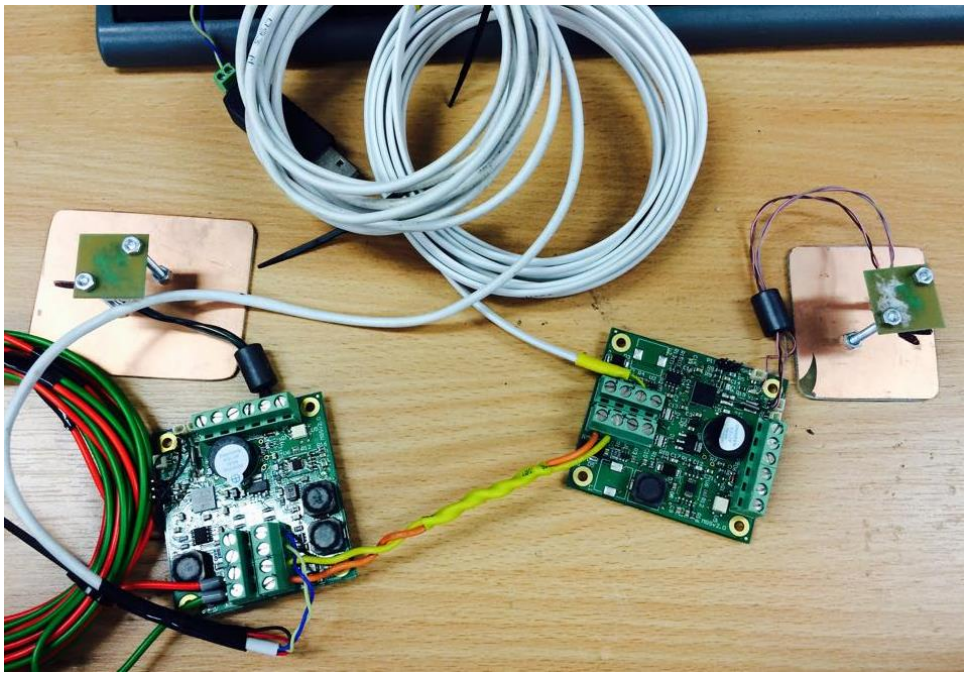
32 pav. VW Passat 40 km/h greičiu pravažiavęs pro antrą daviklį.

Atlikus duomenų apdorojimą Matlab aplinkoje sudedant abiejų daviklių gautus duomenis atsižvelgiant į laiką, kokiame diapazone buvo pravažiuota per daviklius pastebėjau, kad laikai neatitinka reikšmes ir neatitinka realių duomenų. Nuspręsta, kad tyrimo metodika laiko atskaitų fiksavimo atžvilgiu ir MSP430 sparta, nepalaiko tinkamo greičio tokiam tyrimui, nes laiko atskaitos per docklight‘ą nėra tikslios, MSP430 sparta riboja tikslesnius tyrimus ir sąsajos greitis su kompiuteriu taip pat nėra pakankamas, dėl šių priežasčių sistema buvo modifikuota.

Vietoje MSP430 launchpad‘o naudojamas galingas, didesnę spartą turintis M430F5438A valdiklis, taip pat pakeista ir sąsaja į RS-485, taip įgalinant didesnį duomenų gavimo greitį, kuris atliktus tyrimus pastebėta, kad yra pakankamas diskretizavimo dažnis 2049 Hz, tai yra didesnis nei reikiamas, bet duomenų generavimui blogos įtakos neturi, programa parašyta taip, kad magnetometro duomenų nuskaitymas fiksuojama amžinu ciklu, pastoviai nuskaitomi duomenys, o su Qt platforma atliktas duomenų perkėlimas tiesiai į Excel programą su laikmačiu, kadangi naudojami du magnetometrai abu jutikliai prijungiami į skirtingus COM portus, dėl to jutikliai naudoja skirtingus laikmačius. Žemiau pavaizduotos atnaujintos sistemos bendra nuotrauka (34 pav.) ir tyrimo metu naudota metodika taikant atnaujintą sistemą (33 pav.).

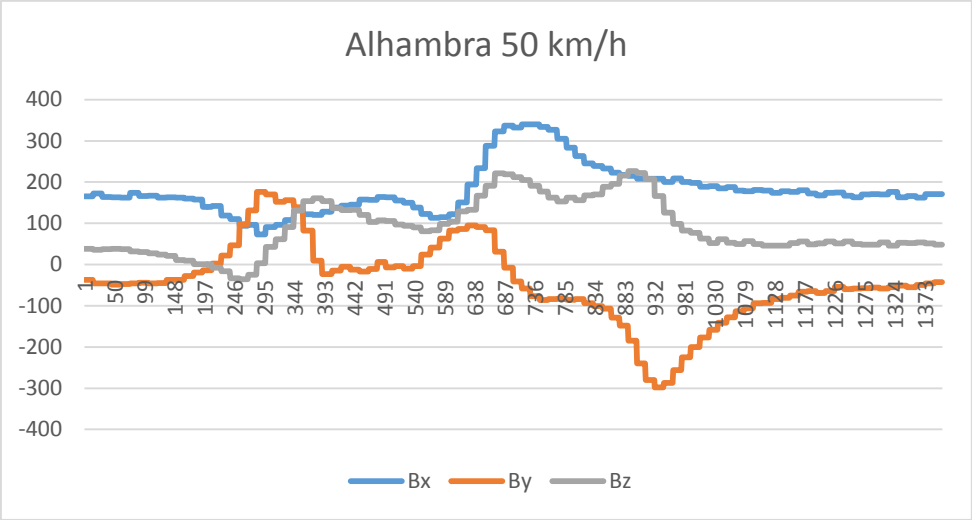


33 pav. Naujos sistemos nuotrauka su M430F5438A valdikliu tyrimo metu.

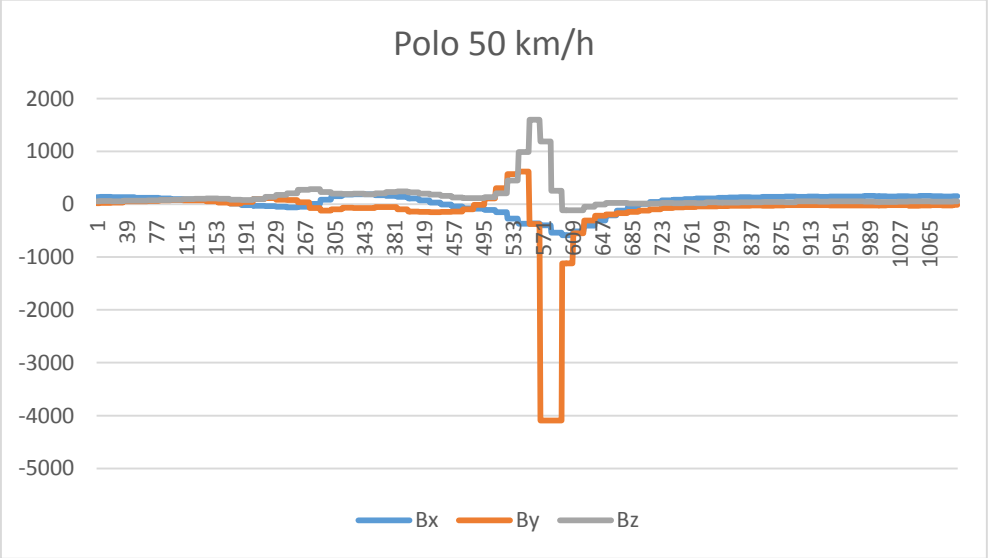


34 pav. Naujos sistemos nuotrauka su M430F5438A valdikliu.

35 ir 36 paveiksluose pavaizduotas magnetinio lauko dedamųjų B_x, B_y ir B_z pokytis pravažiavus skirtingiems automobiliams.



35 pav. Magnetinio lauko dedamųjų kitimas pravažiavus (miniveno tipo) automobiliui 50 km/h greičiu per daviklį.



36 pav. Magnetinio lauko dedamųjų kitimas pravažiavus (hečbeko tipo) automobiliui 50 km/h greičiu per daviklį

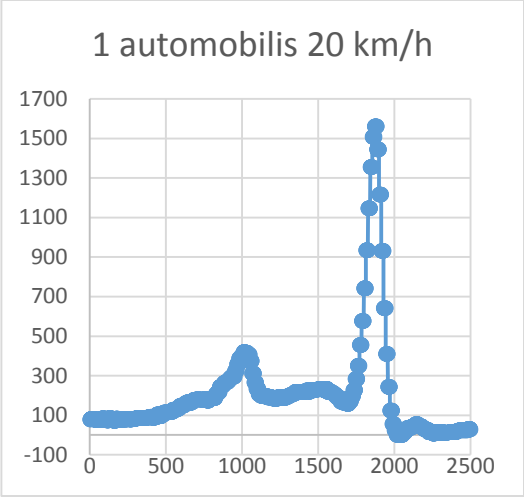
ML modulio ir atskirų dedamųjų pokytis, pravažiuojant per magnetorezistyvinį jutiklį automobiliui kinta nevienareikšmiškai, priklausomai nuo automobilio markės. Šiuo atveju miniveno ir hečbeko tipo automobiliais pravažiuota per jutiklį 50 km/h greičiu ir stebima kaip

keičiasi indukcijos pokyčio dedamosios B_x, B_y ir B_z. Magnetinis dipolinis transporto priemonės laukas judesio metu priklauso nuo transporto priemonės masės, ilgio, formos, atstumo nuo jutiklio ir padėties priklausomybės tarp daviklio ir transporto priemonės. Pastebėta, kad kiekviena transporto priemonė turi savo kintančias charakteristikas, jos kinta nuo greičio, kuo greičiau pravažiuoja automobilis, tuo mažiau atskaitų turi išmatuota kreivė, bet savo formą palaiko beveik nepakitusią, tik matuojamos kreivės siaurėja fiksuojamame diapazone (37 ir 38 paveiksle pavaizduota B_z indukcijos dedamosios kitimo priklausomybė nuo greičio).

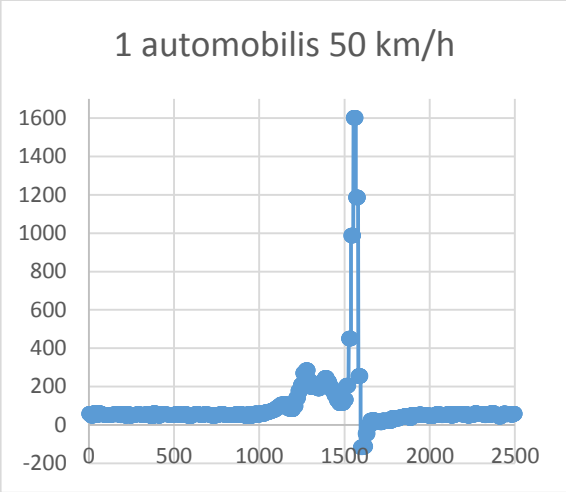
Taigi atlikus pradinius tyrimus ir pastebėjus iškilusias problemas, jos buvo išspręstos ir tyrimai buvo tęsiami toliau, gaunant tikslingus rezultatus. Keičiant pravažiavimo per jutiklius pobūdį pastebėta priklausomybė, kad kuo didesnis atstumas nuo daviklio, tuo labiau keičiasi linijų išsikraipymo tankis. Tikslingų tyrimų rezultatus galima rasti prieduose. Taip pat sekančiame skyriuje „tyrimų rezultatai“ pavaizduoti pradinių tyrimų rezultatai ir jų apdorojimas greičio radimui.

4.3 Tyrimų rezultatai

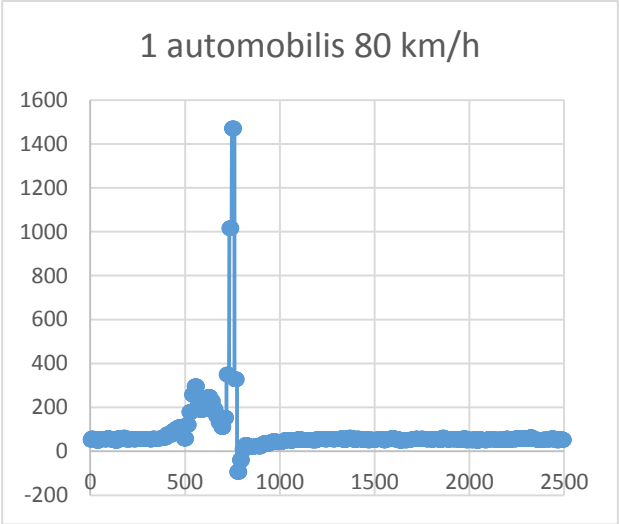
Šioje dalyje bus aptariami gauti pirminiai ir baigtiniai rezultatai, rezultatų apdorojimas, pikų radimas, abipusė koreliacija (AK) tarp dviejų jutiklių metodas. Atnaujinus ir išsprendus iškilusias problemas padaryti tyrimai iš kurių pastebima, kad rezultatai yra tikslingi ir kuriais naudojantis galima atlikti laiko radimo skaičiavimus. Lietuvos geografinėje platumoje, žemės ML B_z dedamoji yra (2 - 3) kartus didesnė už horizontaliųjų dedamųjų geometrinę sumą, taip pat iš gautų rezultatų pastebima z dedamosios tinkamumas [10]. Dėl šių priežasčių, MRS B_z dedamoji yra svarbiausioji dedamoji, detektuojant pravažiavusio automobilio signalą. Žemiau pavaizduotos dviejų skirtingų automobilių B_z indukcijos dedamosios kitimo priklausomybė automobiliams pravažiuojant skirtingais greičiais.



a



b

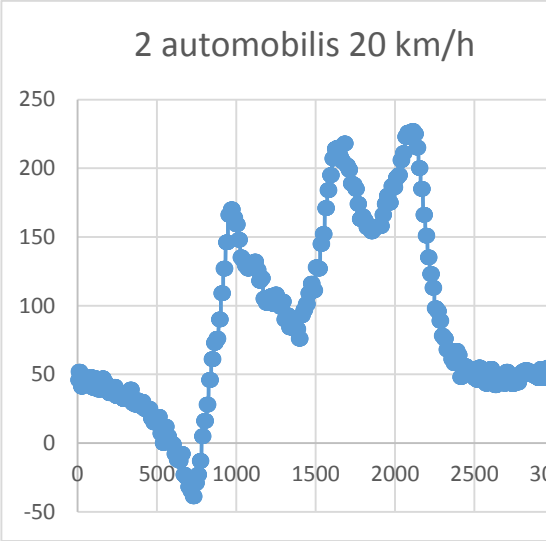


c

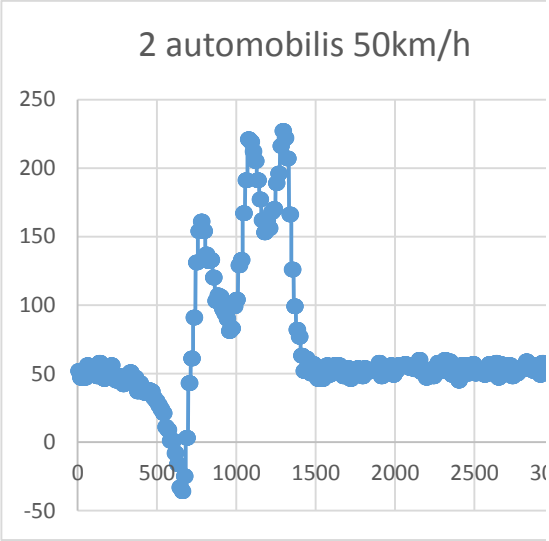
37 pav. VW Polo 1 automobilio gaunamos z pokyčio dedamosios prie skirtingų greičių.

Pravažiavus šiuo atveju su Volkswagen Polo (hečbekas) markės automobiliu per daviklius 20, 50, 80 km/h greičiais gaunamos toks z ašies dedamųjų kitimas, pastebima, kad kintant greičiui signalo forma kinta minimaliai, tai yra augant greičiui signalas siaurėja turi mažiau duomenų, bet forma išlieka beveik nepakitusi. Automobiliui pravažiavus per daviklį trimis skirtingais greičiais pastebima aiški dedamosios kitimo priklausomybė nuo greičio, kuo automobilis greičiau pravažiuoja per daviklį tuo signalas gaunamas siauresnis su mažiau atskaitų, o ML iškraipymo stiprumas kinta netolygiai pravažiuojant 20 km/h (a) signalo stiprumo amplitudė siekia (1561) 308,69 µT, 50 km/h (b) signalo stiprumo amplitudė siekia (1601) 316,6 µT, 80 km/h (c) signalo

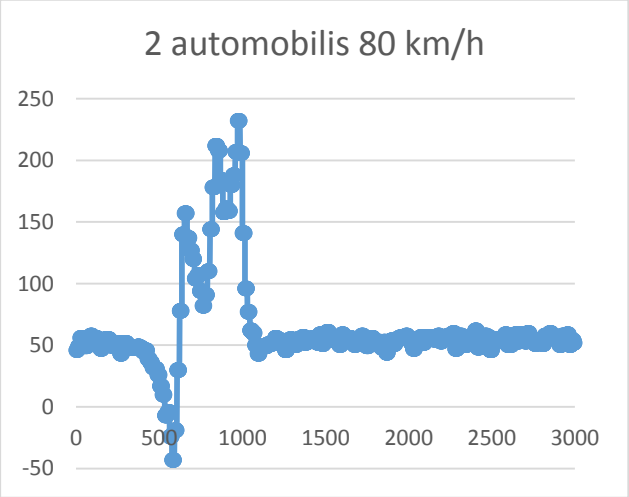
stiprumo amplitudė siekia (1471) 290,89 µT. 38 paveiksle pavaizduota miniveno tipo automobilio B_z pokyčio dedamųjų kitimas prie skirtingų greičių.



a



b



c

38 pav. Seat Alhambra automobilio gaunamos z ašies kreivės prie skirtingų greičių.

Pravažiavus šiuo atveju su Seat Alhambra (minivenas) markės automobiliu per daviklį 20, 50, 80 km/h greičiais gaunamas toks z dedamosios kitimas, pastebima, tokia pati signalo kitimo priklausomybė kaip ir 37 paveiksle signalo forma priklauso nuo automobilio markės ir automobilio greičio priklausomybė puikiai atsispindi grafikuose. Pravažiuojant 20 km/h greičiu (a) signalo stiprumo amplitudė siekia (227) 44,89 µT, 50 km/h greičiu (b) signalo stiprumo amplitudė siekia (227) 44,89 µT, 80 km/h greičiu (c) signalo stiprumo amplitudė siekia (232) 45,87 µT.

Gauti rezultatai patvirtina teorinius samprotavimus apie ML B_z dedamosios kitimo priklausomybes, kad magnetinis dipolinis transporto priemonės laukas judesio metu priklauso nuo transporto priemonės masės, ilgio, formos, atstumo nuo jutiklio ir padėties priklausomybės tarp daviklio ir transporto priemonės. Iš grafikų pastebimas aiškus z dedamosios kitimas priklausomai nuo automobilio markės, mažesnio automobilio ML stiprumas siekia 316,6 µT, kai tuo tarpu nekeičiant matavimo sąlygų miniveno tipo automobilis, kuris yra smarkiai didesnis ML maksimaliai iškraipo iki 45,87 µT. Taip pat pravažiavus miniveno tipo automobiliui pastebima, kad augant automobilio greičiui, tolygiai kyla amplitudė. Išanalizavus gaunamas kreives nusprendžiau, kad jos yra tinkamos apdorojimui. Pagal Faradėjaus indukcijos teoremą, elektrinė įtampa sukelta magnetiniu šaltiniu yra proporcinga lauko kitimo greičiui ir nuolatinio magnetinio lauko dydžiui.

Apsvarsčius galimus greičio matavimo būdus pasirinkti du iš jų:

- Signalo pikų radimas ir tarp pikų išskaičiuojamas sugaištas laiko tarpas;
- Signalų abipusė koreliacija tarp abiejų jutiklių, lyginami abu signalai ir randamas signalų sutapimo taško pasislinkimas.

4.4 Signalo pikų identifikavimas, abipusė koreliacija tarp dviejų jutiklių

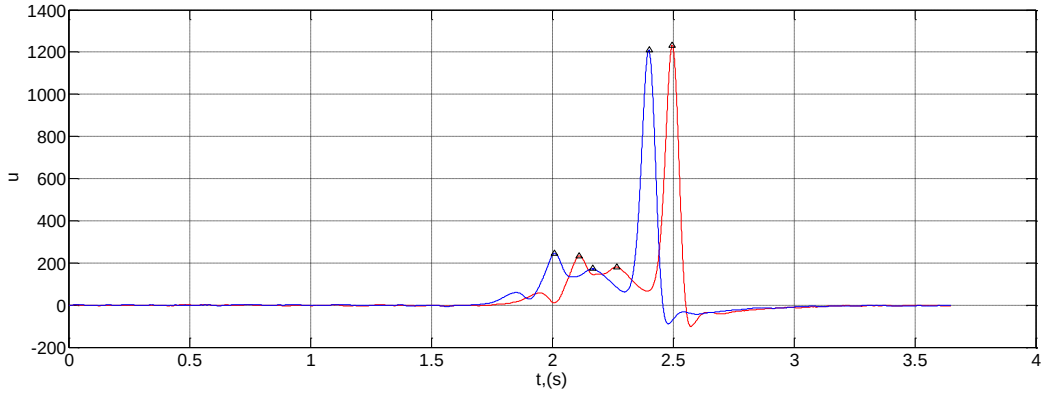
Šiame skyriuje bus apžvelgiami galutiniai rezultatai atlikus gautų duomenų apdorojimą. Matlab programa atliktas signalų filtravimas su žemo dažnio (Savitzky-Golay) filtru, nufiltruotiems signalams taikomi du laiko radimo metodai signalų pikų radimas ir abipusės koreliacijos.

- Pasitelkus matlab programą, naudojama *findpeaks* funkcija randa signalo piką, kuris yra duomenų dalis tarp kurių, nėra didesnio arba gretimi duomenys yra mažesnės reikšmės. Signalų pikų radimas tai, MRS gaunamų signalų aukščiausių taškų radimas. Kadangi abiejų jutiklių signalai yra beveik identiški randami pikai laiko ašyje, randant piką gaunama laiko atskaita. Iš antro daviklio piko atėmus pirmo daviklio piką gaunamas laikas.
- Abipusė koreliacija tarp dviejų sensorių, išraiškoje su atskaitų skaičiumi keičiama į vėlinimo trukmę t. AK gaunama sudauginus signalo ir jo laiko ašyje perstumto signalo skaitines reikšmes, o vėliau jos susumuojamos. Sujungę diskretinius taškus, gauname AK

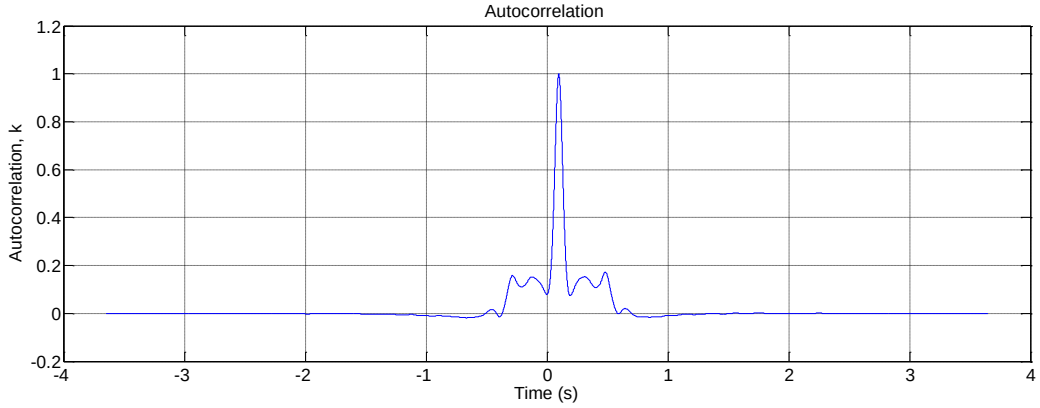
gaubtinę. AK tarp jutiklių taip pat yra lyginė funkcija R(n)=R(-n) ir įgauna maksimalią reikšmę, kai n=0. Pasitelkus matlab programa, naudojama *xcorr* funkcija palygina gaunamus signalus tarpusavyje ir randa kiek atskaitų yra signalai pasislinkę vienas kito atžvilgiu, žinant diskretizavimo dažnį iš atskaitų kiekio galima išskaičiuoti laiką. Kadangi žinome atstumą tarp jutiklių ir išsiskaičiavus laiką kurį automobilis užtrunka pravažiuojant per jutiklius, automobilio greitis randamas nesunkiai.

Žemiau pavaizduotas Volkswagen Polo automobilio laiko radimas pravažiavus per du MRS, pasitelkus gautus z ašies dedamosios pokyčius. Rezultatai pateikti automobiliui pravažiavus per jutiklius 20 km/h ir 80 km/h greičiais

39 paveiksle pavaizduota Polo pravažiavimas per daviklius 20 km/h greičiu, atstumas tarp daviklių 1m.

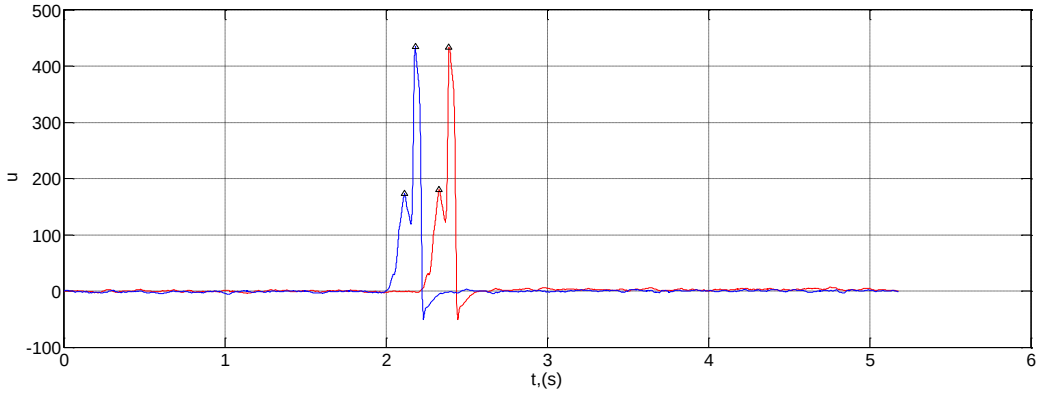


a)

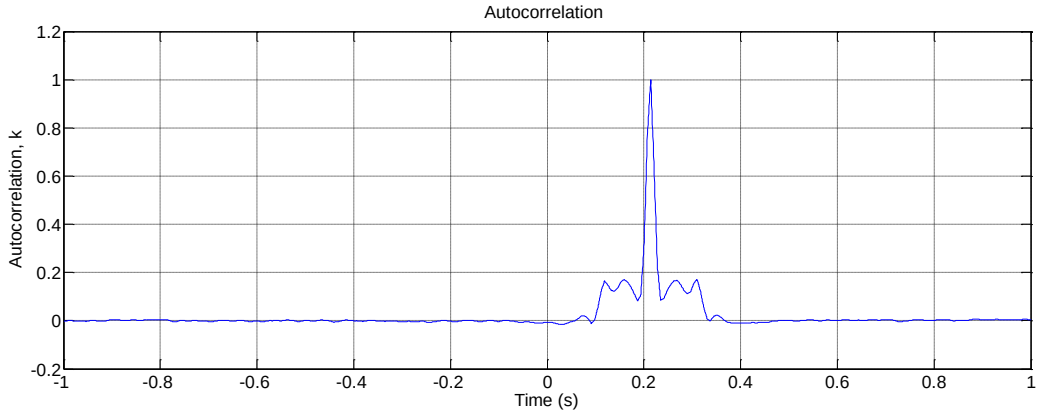


b)

39 pav. Vw Polo 20 km/h greitis, 1 metras atstumas tarp jutiklių.



a)

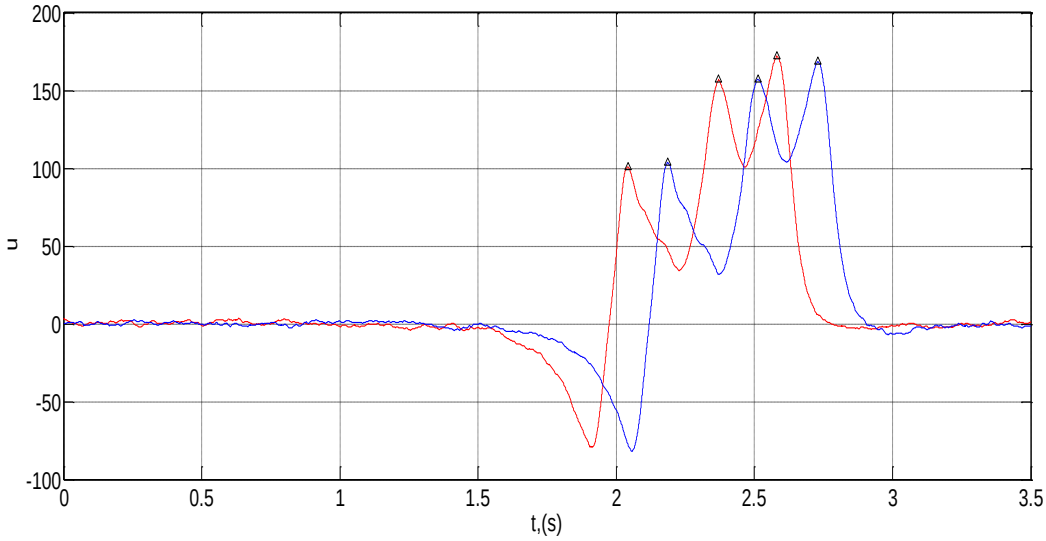


b)

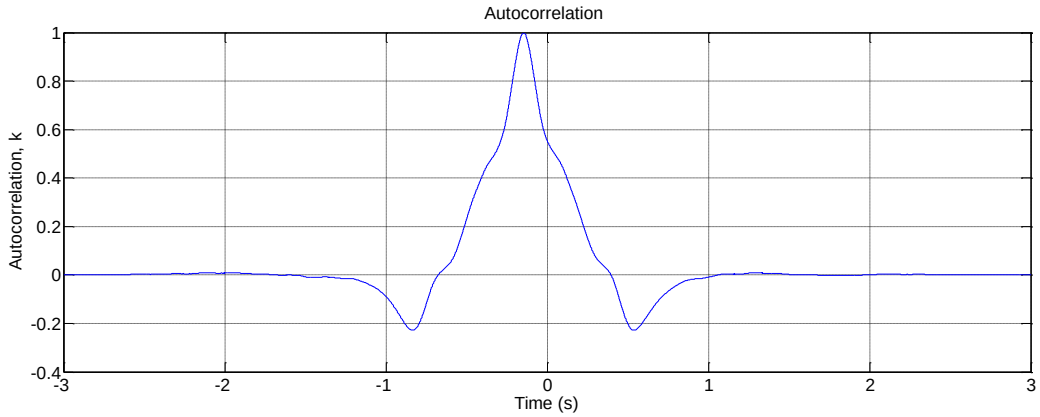
40 pav. Vw Polo 80 km/h greitis, 3 metrai atstumas tarp jutiklių.

Iš z ašies dedamisios kitimo pravažiavus automobiliui 20 km/h greičiu per abu daviklius, a) paveiksle aptikti šeši pikai trys ant pirmo ir trys ant antro daviklio signalų. Tarp pirmo piko gaunamas 0,1015 sekundės tarpas, tarp antro piko 0,1010 sekundės laiko tarpas ir tarp trečio piko 0,0937 sekundės; b) paveiksle atlikta abipusė koreliacija tarp dviejų jutiklių, kurioje atlikus signalų lyginimą nustatyta, kad signalai sutampa paslinkus atitinkamą kiekį atskaitų, kurios užima 0,1095 sekundės. Pravažiavus automobiliui 80 km/h greičiu per abu daviklius, a) paveiksle aptikti keturi pikai du ant pirmo ir du ant antro daviklio signalų. Tarp pirmo piko gaunamas 0,2143 sekundės tarpas, tarp antro piko 0,2074 sekundės laiko tarpas; b) paveiksle atlikta AK, gaunama 0,1943 sekundės. Išanalizavus gautus duomenis pravažiavus Vw Polo automobiliui, gaunami beveik identiški signalai, nors ir jutiklių geagrafinė padėtis kinta, turint tokius signalus realus automobilio greičio apskaičiavimas, žinomas atstumas tarp jutiklių ir pagal abiejų jutiklių užfiksuoto signalo randamus pikus žinomas laikas, per kurį automobiliai pravažiavo per daviklius. Pastebėta

tendencija, kad abipusės koreliacijos metodu gaunami tikslingesni rezultatai. Atlikti greičio skaičiavimą nėra tikslinga dėl dviejų laikmačių taikymo, greičio preliminariais nustatymais buvo remtasi automobilio spidometro rodmenimis, siekiant atlikti tikslius greičio nustatymo tyrimus būtų tikslinga gautus greičio rezultatus lyginti su GPS prietaiso išmatuotu greičiu, spidometro rodmenimis, taip pat lyginant su policijos radarų gaunamais rodmenimis.

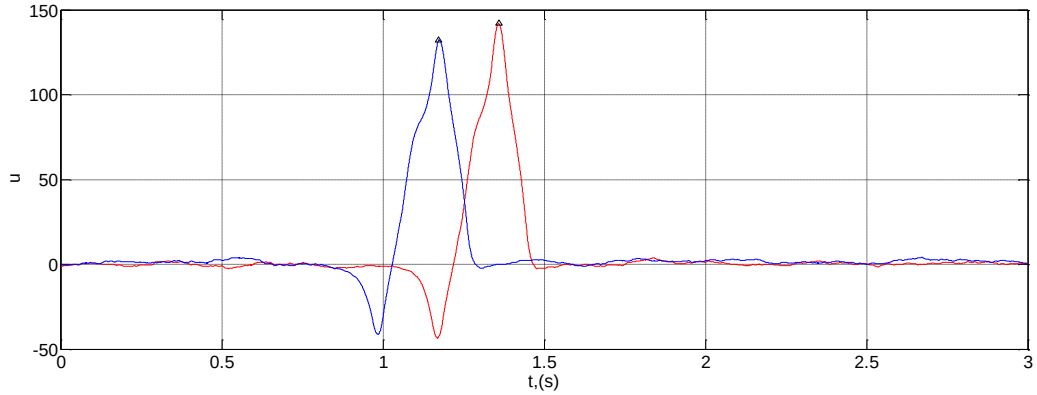


a)

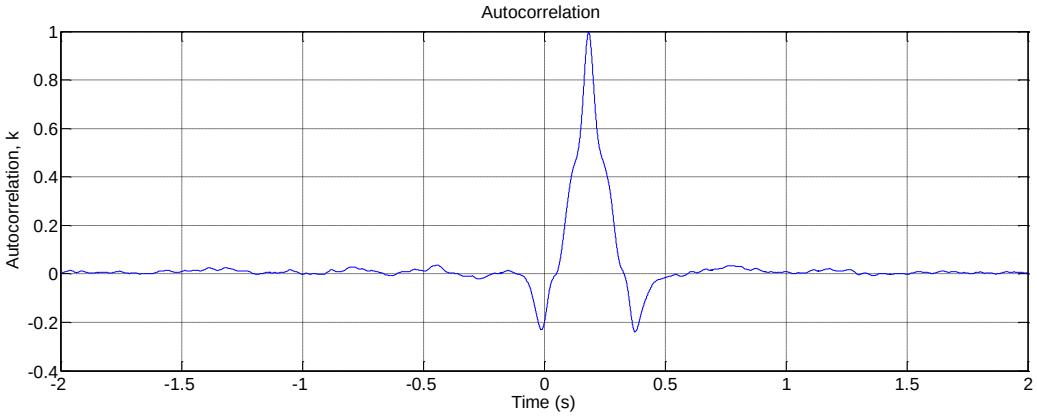


b)

41 pav. Seat Alhambra 20 km/h greitis, 3 metrai atstumas tarp jutiklių.



a)



b)

42 pav. Seat Alhambra 80 km/h greitis, 3 metrai atstumas tarp jutiklių.

Pravažiavus su miniveno tipo automobiliu B_z dedamisios kitimas 20 km/h greičiu, a) tarp pirmo piko 0,2375 sekundės tarpas, tarp antro piko 0,2368 sekundės laiko tarpas ir tarp trečio piko 0,2391 sekundės; b) AK metodu, gaunama 0,2524 sekundės. Pravažiavus 80 km/h greičiu per abu daviklius, a) Tarp pirmo piko gaunamas 0,1869 sekundės tarpas; b) AK metodu gaunama 0,1730 sekundės. Išanalizavus gautus duomenis pravažiavus Seat Alhambra automobiliui, gaunami beveik identiški signalai, tik 80 km/h greičiu gaunamas signalas kitokios formos, bet tai yra dėl to, nes naudojamas stipresnis žemų dažnių filtras. Skirtingo automobolio atveju greičio radimo priklausomybė išlieka ta pati, tikslus greičio apskaičiavimas pasiteisintų, tik tada, kai būtų taikomas vienas laikmatis. Lyginant pikų radimo metodą ir AK metodą priėjau išvados, kad abipusė koreliacija yra tikslesnis metodas siekiant išmatuoti laiko tarpą. Kadangi dedamųjų kitimas priklauso nuo automobilio markės ir greičio, kokiu pravažiuota per daviklius, pastbėta tendencija, pikų detektavimo netolygumas, augant greičiui pikų mažėja, taip pat pikų radimui būtina naudoti signalų filtravimą, kas nėra būtina AK metodu.

Atlikus skaitmeninį signalų apdorojimą iškiriame pagrindinius rezultatus ir pasiūlymus:

- Remiantis atliktais tyrimais abipusė koreliacija tarp dviejų jutiklių tinkamesnis metodas siekiant rasti laiką, tiek dėl skirtingo žemės ML iškraipymo priklausomybės nuo naudojamo automobilio markės, tiek dėl randamų pikų kiekio netolygumo ir abipusės koreliacijos tikslumo;
- Taikant MRS automobilio tikslus greičio radimas yra realus uždavinys;
- Siekiant tikslių rezultatų būtina taikyti abiem MRS vieną laikmatį;
- Šios sistemos maketas yra tinkamas automobilio greičio radimo tyrimui;
- Pasiektas darbo tikslas realizuotas automobilių greičio matavimas naudojant MRS.

Išvados ir pasiūlymai

Magistrinio darbo pradžioje buvo apžvelgti greičio matuokliai, jų parametrai, panaudojimo galimybės. Taip pat buvo analizuojami moksliniai straipsniai susiję su MRS panaudojimu, atliktomis kompiuterinėmis simuliacijomis, aprašytais greičio matavimo būdais. Išnagrinėjus mokslinius straipsnius buvo svarstomi sistemos realizavimo būdai, sukurta sistemos struktūrinė schema, padarius bandomąją sistemą, atlikti pirminiai tyrimai, per daviklį pravažiuota su automobiliu ir stebėta kaip kinta magnetinio lauko dedamosios, atlikus išsamesnius tyrimus su dviem jutikliais ir pravažiavus pro juos skirtingais greičiais pastebėta, kad sistema iškilus būtinybei matuoti didesnius greičius turi per mažą spartą, diskretizavimo dažnis yra nepakankamas ir laiko ataskaitų užfiksavimas nėra pakankamai tikslus. Dėl minėtų priežasčių sistema patobulinta, pasirinktas galingesnis valdiklis ir pakeista sąsaja į RS-485, taip smarkiai pagreitinant sistemos veikimą, taip pat įdiegtas tiesioginis duomenų nuskaitymas į excel programą su laiko ataskaitomis. Atlikus tyrimus su patobulinta sistema gauti duomenys buvo apdorojami Matlab programa, atsižvelgiant į duomenų trikdžius, buvo taikomas žemų dažnių filtras nufiltruoti gautus signalus, atlikus signalų filtravimą buvo pasirinkta taikyti du laiko per kurį automobilis pravažiavo pro jutiklius radimo būdus, t.y. signalų pikų radimo būdas ir taikant autokoreliacijos metodą.

Atsižvelgiant į darbo pradžioje iškeltus uždavinius buvo realizuoti šie uždaviniai:

- Atlikta automobilių greičio nustatymo įrenginių lyginamoji analizė;
- Apžvelgtos MRS panaudojimo galimybės;
- Pagaminta magnetorezistyvinių jutiklių principu paremta greičio matavimo sistema;
- Atlikti tyrimai naudojant sukurtą sistemą;
- Apdoroti gauti rezultatai siekiant nustatyti greitį.

Taigi atlikus tyrimus su sukurta greičio matavimo sistema, buvo suformuluotos apibendrinamosios išvados ir rekomendacijos:

- Siekiant išmatuoti tikslų automobilio greitį, reikia užfiksuoti abiejų jutiklių tikslų laiką, kad perkeliant duomenis į excel programą abiejų jutiklių duomenys būtų pradedami fiksuoti tuo pačiu metu.

- Atlikus tyrimus pastebėta tendencija, kad pravažiuojant su skirtingais automobiliais per daviklius gaunamos skirtingos kreivės visų trijų ašių ir jų forma nekinta priklausomai nuo automobilio greičio kitimo. Esant tokiai priklausomybei sistema gali atskirti transporto priemonės rūšį.
- Atsižvelgiant į greičio matuoklius, padaryta išvada, kad naudojant magnetorezistyvinius jutiklius greičiui matuoti, jie yra universalesni. Juos galima būtų naudoti ne tik greičiui matuoti, bet ir automobilių srauto matavimui, krypčiai stebėti, transporto priemonei atpažinti.
- Remiantis gautais rezultatais nustatyta, kad laiko radimui tikslingiau naudoti abipusė koreliacija tarp dviejų sensorių, dėl tikslesnių rezultatų, automobilių markės priklausomybės, nuo ML iškraipymo stiprumo.

Informacijos šaltinių sąrašas:

1. Doplerio radarai, informacija apie radarus [interaktyvus] [žiūrėta 2014-04-08]. Prieiga per internetą: http://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_radar;
2. Nenutrūkstamos bangos radarai [interaktyvus] [žiūrėta 2014-04-18]. Prieiga per internetą: http://www.radartutorial.eu/02.basics/Continuous%20Wave%20Radar.en.html;
3. Lidarai, lazeriniai radarai taikomi objektų greičio matavimams [interaktyvus] [žiūrėta 2014-04-12]. Prieiga per internetą: http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/;
4. Greičio matuokliai, radarų palyginimas ir specifikacijos [interaktyvus] [žiūrėta 2014-04-10]. Prieiga per internetą: http://www.autotestai.lt/greicio-matuokliai-2.html;
5. D.L. Partin, J. Heremans, C.M. Thrush ir L. Green Fizikos departamentas. „General motors Research and Environmental Staff Warren“. Mokslinis straipsnis „Magnetoresistive sensors“. Šia informacija buvo remtasi mokinantis apie magnetorezistyvinius jutiklius.
6. T. Phan, B.W. Kwan ir L.J. Tung, Elektronikos inžinerijos departamentas FAMU-FSU Inžinerijos koledžas. „Magnetoresistors for vehicle detection and identification“, ši informacija buvo taikoma aiškinantis matematiniams modeliams greičio išsiskaičiavimui.
7. AMR jutiklių “Application Note – AN218 Vehicle Detection Using AMR Sensors” AMR magnetorezistyvinių jutiklių aprašymas.
8. Magnetometro LSM303 aprašymas ir specifikacijos “LSM303DLH datasheet“. [interaktyvus] [žiūrėta 2014-12-10]. Prieiga per internetą: http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00260288.pdf;
9. I^2C sąsajos aprašymas, naudojamas programavime, ataskaitoje. [interaktyvus] [žiūrėta 2014-12-05]. Prieiga per internetą: http://i2c.info/i2c-bus-specification;
10. Dr. Doc. V. Markevičius, dr. doc. D. Navikas, dr. doc. V. Čepulis „Magistralinių linijų aplinkos poveikio faktorių tyrimas (III dalis)“ automobilio įtaka žemės magnetinio lauko konfigūracijai.
11. Martin Isaksson fizikos inžinerijos magistro laipsnio tezė „Vehicle Detection using Anisotropic Magnetoresistors“ medžiaga naudota greičiui nustatyti naudojant magnetorezistyvinius jutiklius.

PRIEDAI

Priedas nr.1: I²C programos dalis

```
void I2C_Init(unsigned char slave_address,  unsigned char prescale);
void I2CWrite_Register(char reg_address, char new_value);
void I2CRead_Register(unsigned char reg_address, unsigned char number_of_bytes,
unsigned char *readBuffer);


unsigned char I2C_buffer[30];
char usartBuffer[255];
int X_axis;
int Y_axis;
int Z_axis;

int main(void) {
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD;                        // Stop watchdog timer

    if (CALBC1_1MHZ==0xFF)                           // If calibration constant
erased
      while(1);                               // do not load, trap CPU!!

    DCOCTL = 0;                                 // Select lowest DCOx and MODx settings
    BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ;                      // Set DCO
    DCOCTL = CALDCO_1MHZ;

    UART_Setup();

    write_char('R');
    write_char('E');
    write_char('A');
    write_char('D');
    write_char('Y');
    write_char('\n');

    _EINT();


    I2C_Init(0x1E, 5);

    I2CWrite_Register(0x00, 0x18);
      I2CWrite_Register(0x02, 0x00);


      while(1)
      {
            I2CRead_Register(0x03, 6, I2C_buffer);
            X_axis = (I2C_buffer[1] << 8) + I2C_buffer[0];
            Y_axis = (I2C_buffer[3] << 8) + I2C_buffer[2];
            Z_axis = (I2C_buffer[5] << 8) + I2C_buffer[4];

            sprintf(usartBuffer, "%d \t%d \t%d\n", X_axis, Y_axis, Z_axis);
```

```
            write_string(usartBuffer);
            __delay_cycles(1);
      }
}

//  Echo back RXed character, confirm TX buffer is ready first
#pragma vector=USCIAB0RX_VECTOR
__interrupt void USCI0RX_ISR(void)
{
  while (!(IFG2&UCA0TXIFG));                // USCI_A0 TX buffer ready?
  UCA0TXBUF = UCA0RXBUF;                    // TX -> RXed character
}


//-----------------------------------------------------------------------------
// void I2C_Init(unsigned char slave_address, unsigned char prescale)
//
// This function initializes the USCI module for master-receive operation.
//
// IN:   unsigned char slave_address   =>  Slave Address
//       unsigned char prescale        =>  SCL clock adjustment
//-----------------------------------------------------------------------------
void I2C_Init(unsigned char slave_address,  unsigned char prescale) {
      P1SEL |= BIT6 + BIT7;                        // Assign I2C pins to USCI_B0
      P1SEL2|= BIT6 + BIT7;                        // Assign I2C pins to USCI_B0
      UCB0CTL1 = UCSWRST;                         // Enable SW reset
      UCB0CTL0 = UCMST + UCMODE_3 + UCSYNC;       // I2C Master, synchronous mode
      UCB0CTL1 = UCSSEL_2 + UCSWRST;              // Use SMCLK, keep SW reset
      UCB0BR0 = prescale;                         // set prescaler
      UCB0BR1 = 0;
      UCB0I2CSA = slave_address;                  // set slave address
      UCB0CTL1 &= ~UCSWRST;                       // Clear SW reset, resume
operation
}

void I2CWrite_Register(char reg_address, char new_value)
{
      UCB0CTL1 |= UCTR + UCTXSTT;
      while(!(IFG2 & UCB0TXIFG));
      UCB0TXBUF = reg_address;
      while(!(IFG2 & UCB0TXIFG));
      UCB0TXBUF = new_value;
      while(!(IFG2 & UCB0TXIFG));
      UCB0CTL1 |= UCTXSTP;
      while (UCB0CTL1 & UCTXSTP);
}

void I2CRead_Register(unsigned char reg_address, unsigned char number_of_bytes,
unsigned char *readBuffer)
{
      UCB0CTL1 |= UCTR + UCTXSTT;
      while(!(IFG2 & UCB0TXIFG));
      UCB0TXBUF = reg_address;
      while(!(IFG2 & UCB0TXIFG));
      UCB0CTL1 |= UCTXSTP;
```

```
        while (UCB0CTL1 & UCTXSTP);

        UCB0CTL1 &= ~UCTR;
        UCB0CTL1 |= UCTXSTT;

        unsigned char cnt;
        for(cnt=0; cnt<number_of_bytes; cnt++)
        {
                while(!(IFG2 & UCB0RXIFG));
                readBuffer[cnt] = UCB0RXBUF;
        }
        UCB0CTL1 |= UCTXSTP;
        while (UCB0CTL1 & UCTXSTP);
        char dummy = UCB0RXBUF;
}
```

Priedas nr.2: Duomenų apdorojimo programos dalis

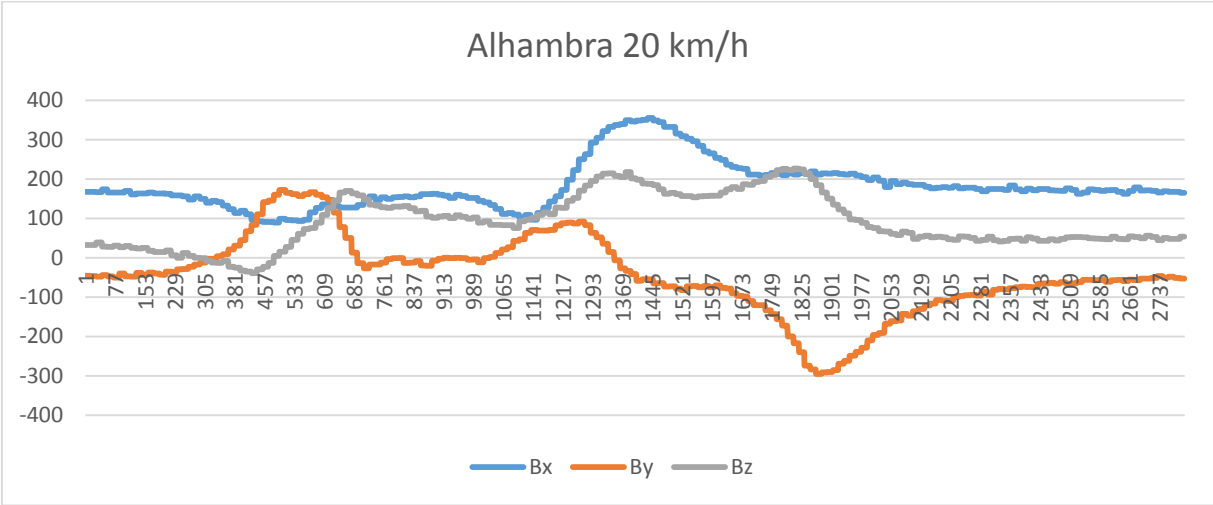
```
clc
clear all
close all

fs=2049;
T=1/fs;
maxlag= 10*fs;
N=10*fs;

filename = 'polo201.xlsx';
%M = csvread('polo20.csv',2,2)
%M=xlsread(polo20.xlsx)
M = xlsread(filename,1,'A:I');

t1=M(:,1);
s1=M(:,2);
t2=M(:,5);
s2=M(:,6);

x1=s1;
x2=s2;

y1=M(:,3);
y2=M(:,7);
z1=M(:,4);
z2=M(:,8);

x1=s1;
x2=s2;


for i1=1:200
    xx1(i1) = x1(i1) ;
end
xx2=mean(xx1);

x1=x1-xx2;


for i1=1:200
    xx3(i1) = x2(i1);
end
xx4=mean(xx3);

x2=x2-xx4;

%t1 = (0:length(s1)-1)/fs;
%t2 = (0:length(s2)-1)/fs;
figure (1)
subplot(4,2,1);
```

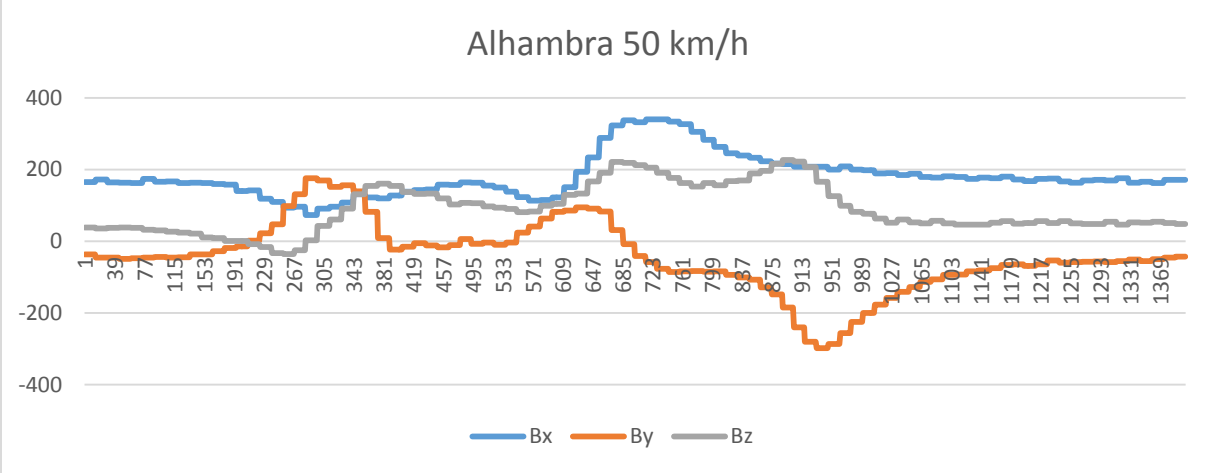
```
plot((0:numel(x1)-1)/fs,x1,'r',(0:numel(x2)-
1)/fs,x2,'b');%plot(t1,u1,'r',t2,u2,'b')
grid ;
title('before noise');
xlabel('Time (s)'); ylabel(' x(t)');
title('Clean signal without noise ');
%axis([51 56 -1 1]) ;


x3=conv(x1,x2);

figure (1)
subplot(4,2,2);
plot(x3);
grid ;
title('Linear Convolution of x and y');
xlabel('Samples)');
ylabel(' f*g');
title('Linear Convolution of x and y ');
%axis([51 56 -1 1]) ;

[P1,Q1] = rat(fs/fs);          % Rational fraction approximation
[P2,Q2] = rat(fs/fs);          % Rational fraction approximation
T1 = resample(x1,P1,Q1);        % Change sampling rate by rational factor
T2 = resample(x2,P2,Q2);        % Change sampling rate by rational factor



[Rxx1,tau1 ]=xcorr(T1,T2);
%tau1= tau1/fs;

figure (1)
subplot(4,2,3);
plot(tau1,Rxx1);
grid;
xlabel('Lag (\it\tau)');
ylabel(' Autocorrelation Amplitude');
title('ross-correlation between x1 and x2');

figure (1)
subplot(4,2,4);
plot(tau1,(Rxx1/max(Rxx1)));
grid;
xlabel('Lag (\it\tau)');
ylabel(' Autocorrelation Amplitude');
title('Autocorrelation of x1 and x2');

[~,I] = max(abs(Rxx1));
lagDiff1_x = tau1(I);
timeDiff1_x = lagDiff1_x/fs;

tau1= tau1/fs;

figure (1)
```

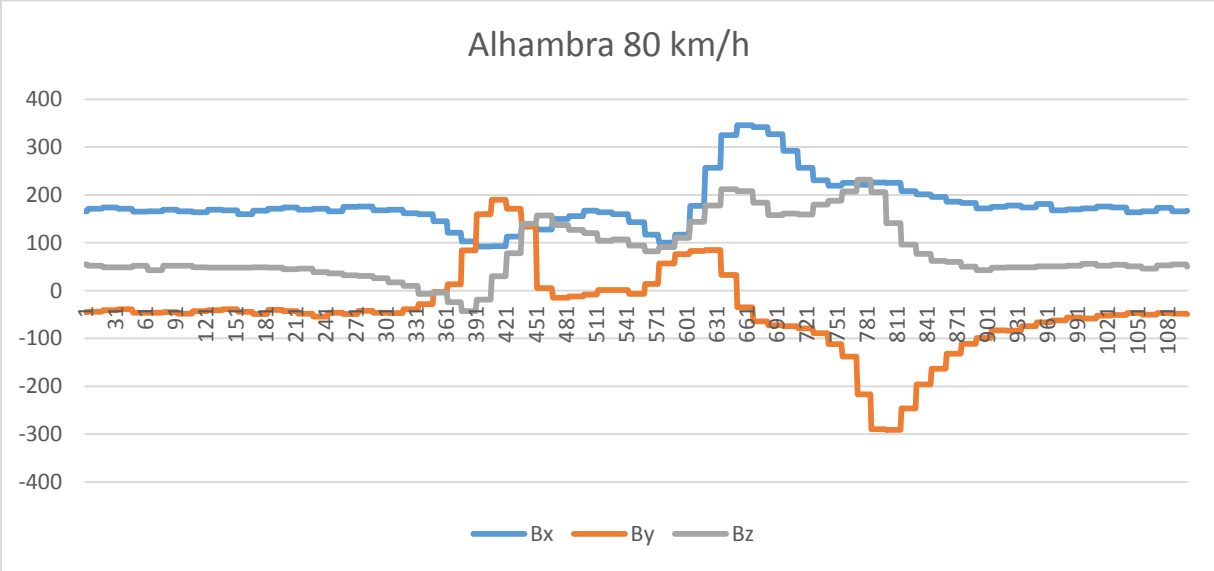
```
subplot(4,2,5);
plot(tau1,Rxx1);
grid;
xlabel('Lag (s)');
ylabel(' Autocorrelation');
title('Autocorrelation of noisy signal');


figure (1)
subplot(4,2,6);
plot(tau1,(Rxx1/max(Rxx1)));
grid;
xlabel('Lag (s)');
ylabel(' Autocorrelation');
title('Autocorrelation of noisy signal');



s3 = [zeros(abs(lagDiff1_x),1);x2];
%s3 = z(lagDiff1:end);
figure (1)
subplot(4,2,7);
plot((0:numel(x1)-1)/fs,x1,'r',(0:numel(s3)-1)/fs,s3,'b')
grid ;
title('x S3');
xlabel('Time (s)'); ylabel(' x(t)');
title('Clean signal without noise ');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
 %%%%%%%%%% filtras %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
t1=(0:numel(x1)-1)/fs;
t2=(0:numel(x2)-1)/fs;
 fil1 = sgolayfilt(x1,1,101);
fil2 = sgolayfilt(x2,1,101);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% filtuotu signalu piku paieska
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%


[pks12, kurpikai12]=findpeaks(fil1,'MINPEAKHEIGHT',100);%x0.02y0.65z1.5(-
fil1)
[pks22, kurpikai22]=findpeaks(fil2,'MINPEAKHEIGHT',100);%x0.02y0.8z0.95
for i=1:length(kurpikai12)
    k12 = kurpikai12(i);
    kurpikai12(i) = t1(k12);
end

for i=1:length(kurpikai22)
    k22 = kurpikai22(i);
    kurpikai22(i) = t2(k22);
end
```

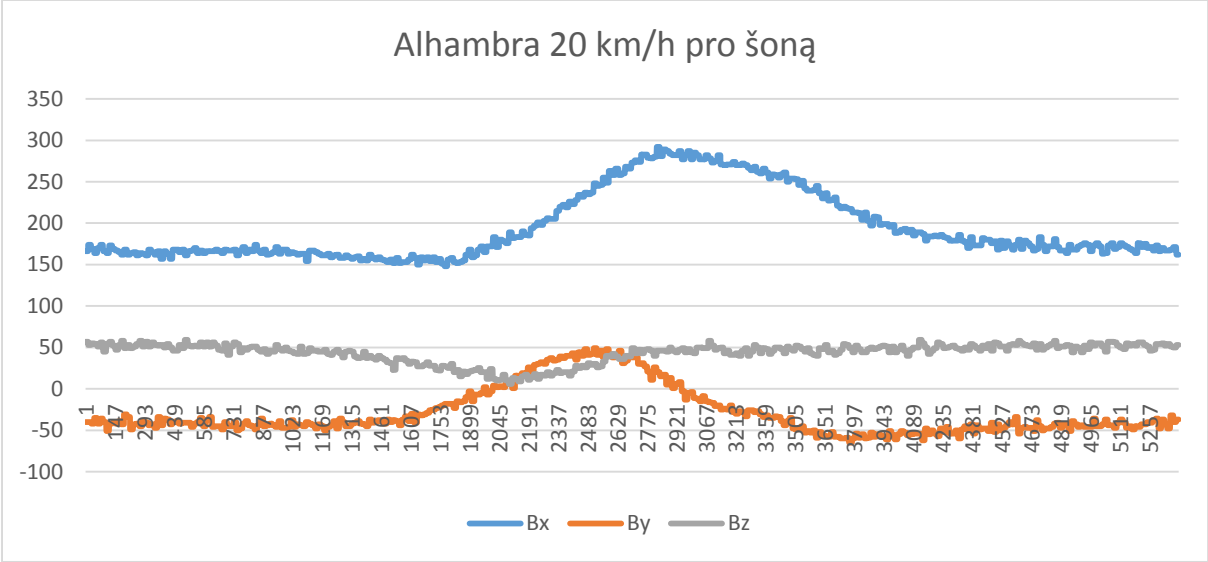
```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% filtuotu signalu piku atvaizdavimas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure (1)
subplot(4,2,8);
plot(t1,fil1,'r', t2,fil2,'b',kurpikai12, pks12,'k^', kurpikai22, pks22,
'k^')
%plot (t1,fil2,'b',kurpikai22, pks22, 'k^','markerfacecolor', [0 0 1])%z(-
pks12)
grid ;
title('x x2');
xlabel('Time (s)'); ylabel(' u');
title('Find All Peaks (filtruoto) ');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% filtuotu signalu piku apdorojomas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

 tt_x=kurpikai22-kurpikai12

for i = 2:length(kurpikai12)
  kurpikai12_V(i-1)=kurpikai12(i)-kurpikai12(i-1);
end

for i = 2:length(kurpikai22)
  kurpikai22_V(i-1)=kurpikai22(i)-kurpikai22(i-1);
end



timeDiff1_x = lagDiff1_x/fs;
tt=kurpikai22-kurpikai12;
```

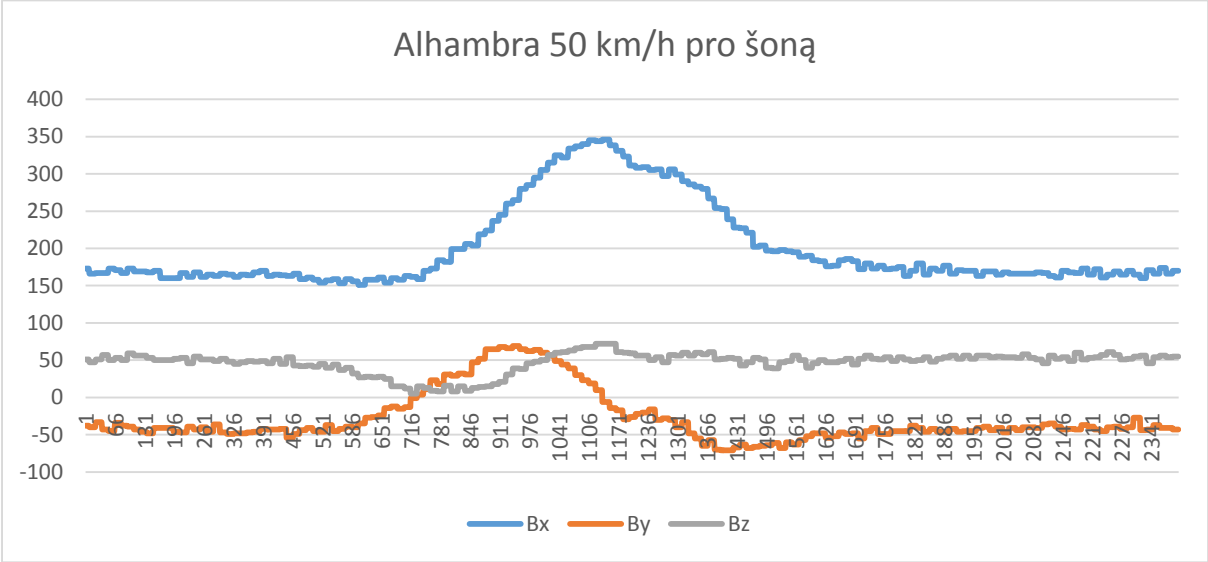
Priedas nr.3: Užfiksuoti duomenys

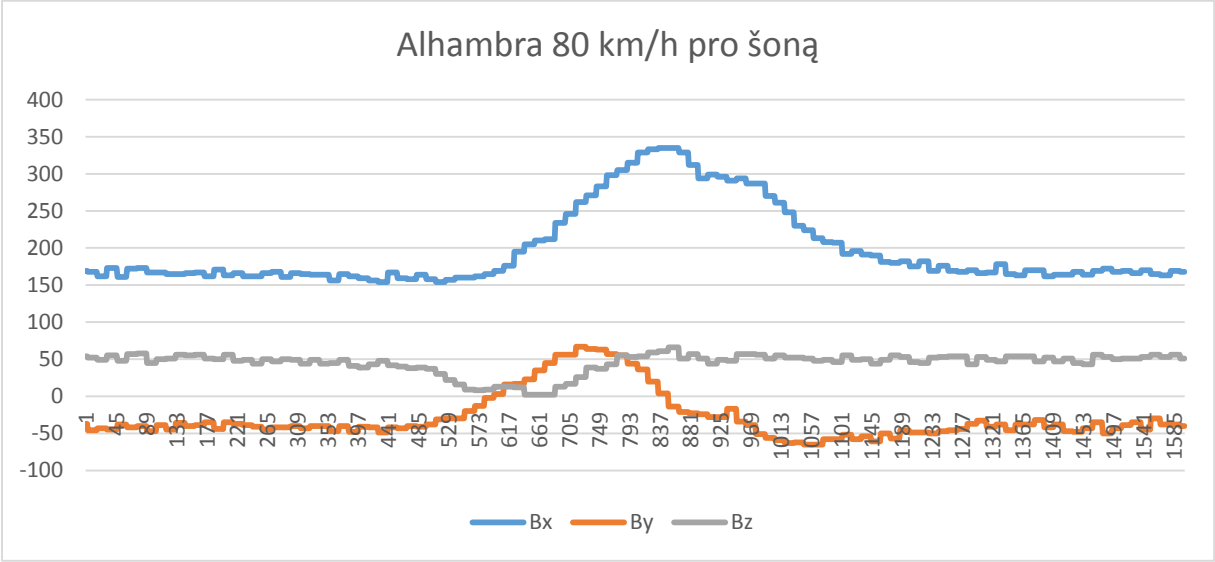


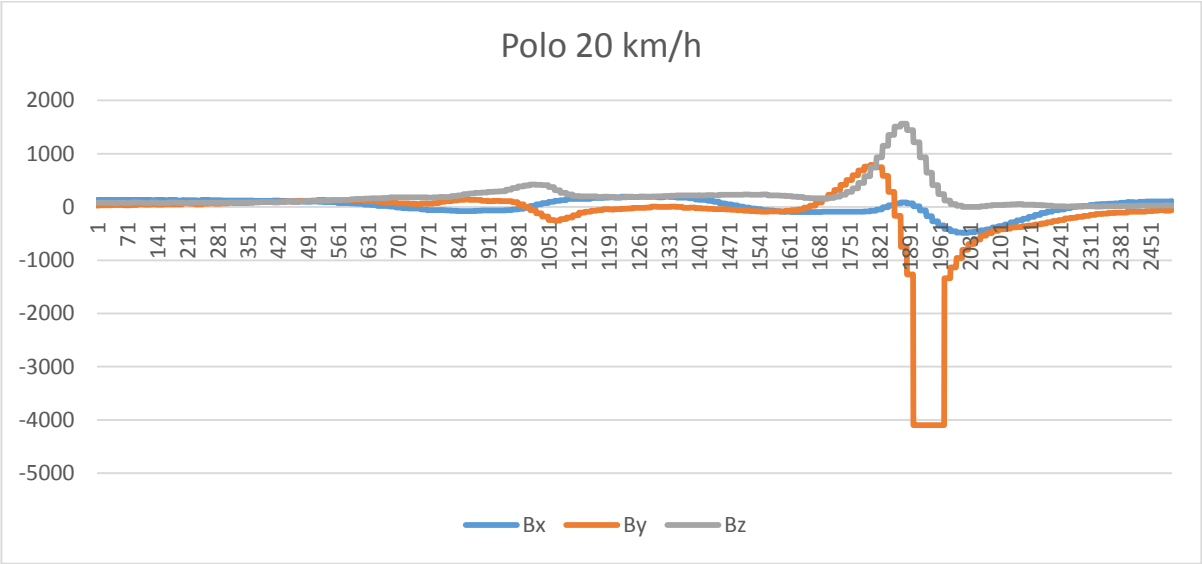


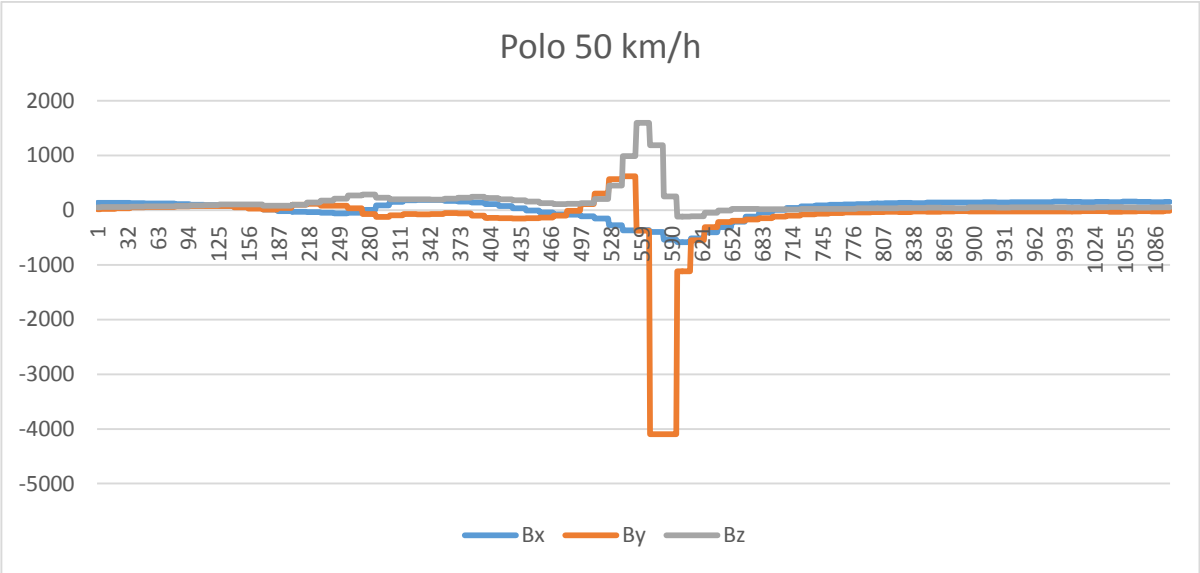


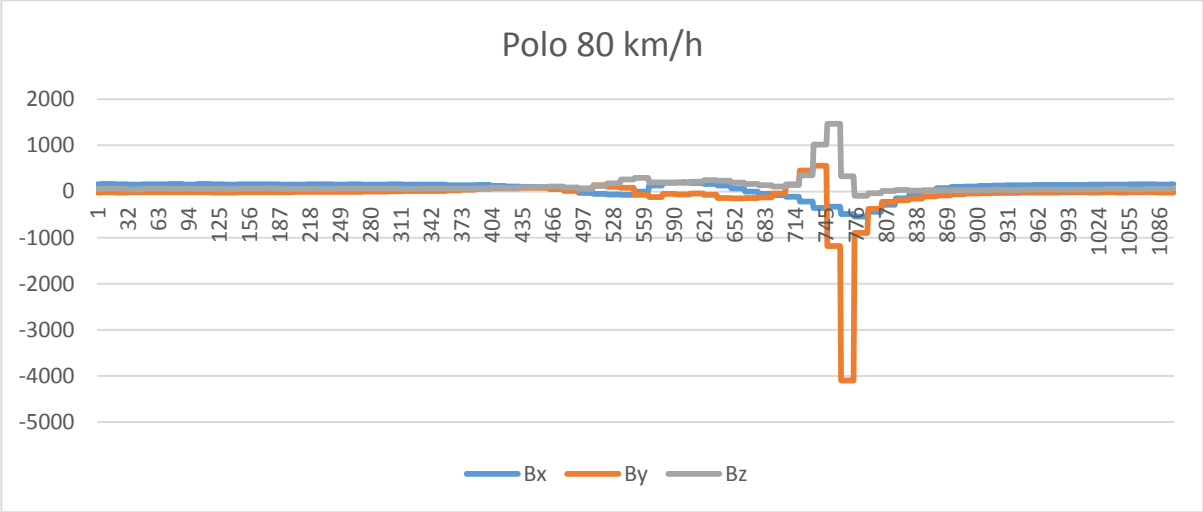

Alhambra 20 km/h pro šoną
350
300
250
200
150
100
50
0
-50
-100
Bx
By
Bz

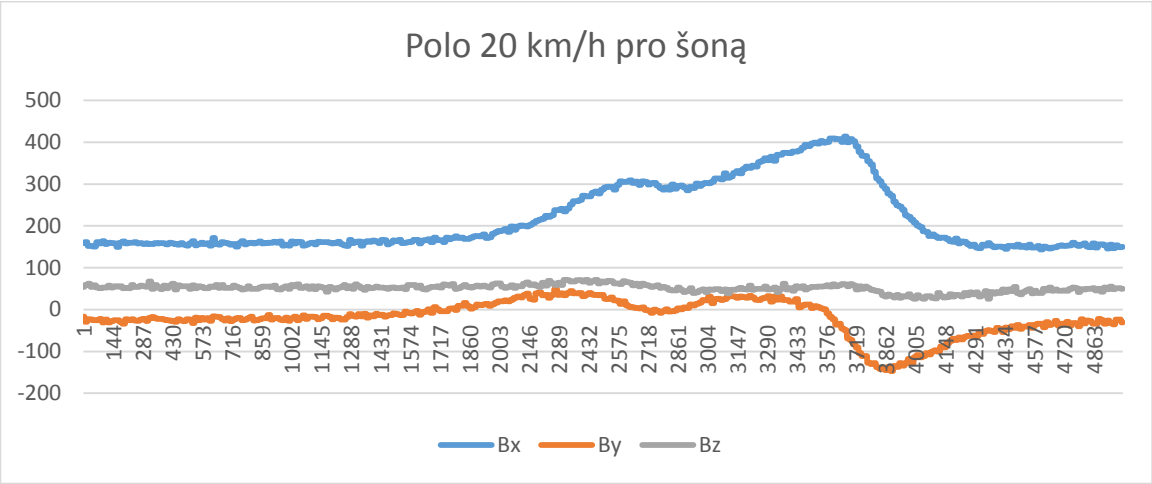

Alhambra 50 km/h pro šoną
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-50
-100
Bx
By
Bz

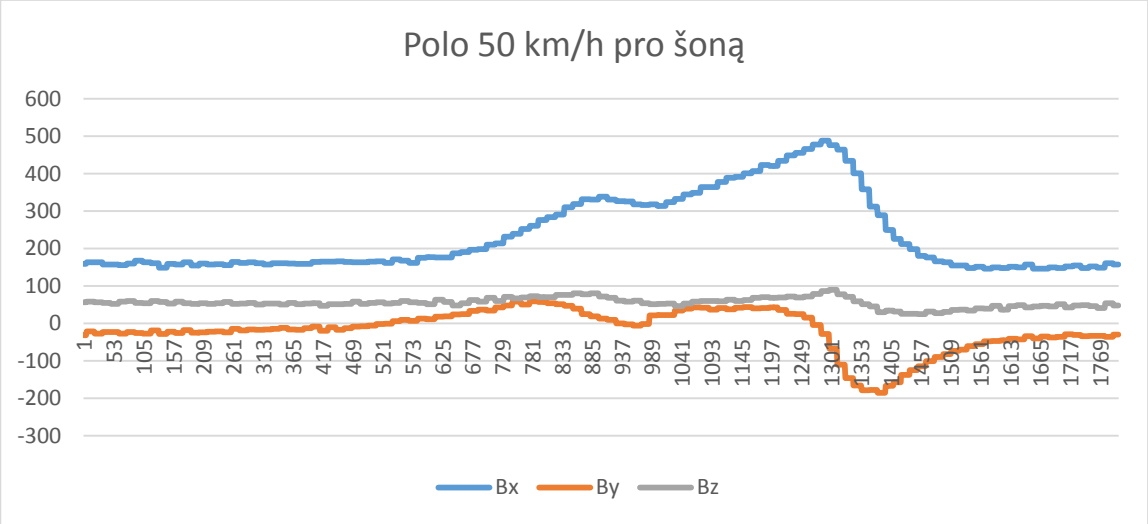

Alhambra 80 km/h pro šoną
400
350
300
250
200
150
100
50
0
-50
-100
Bx
By
Bz

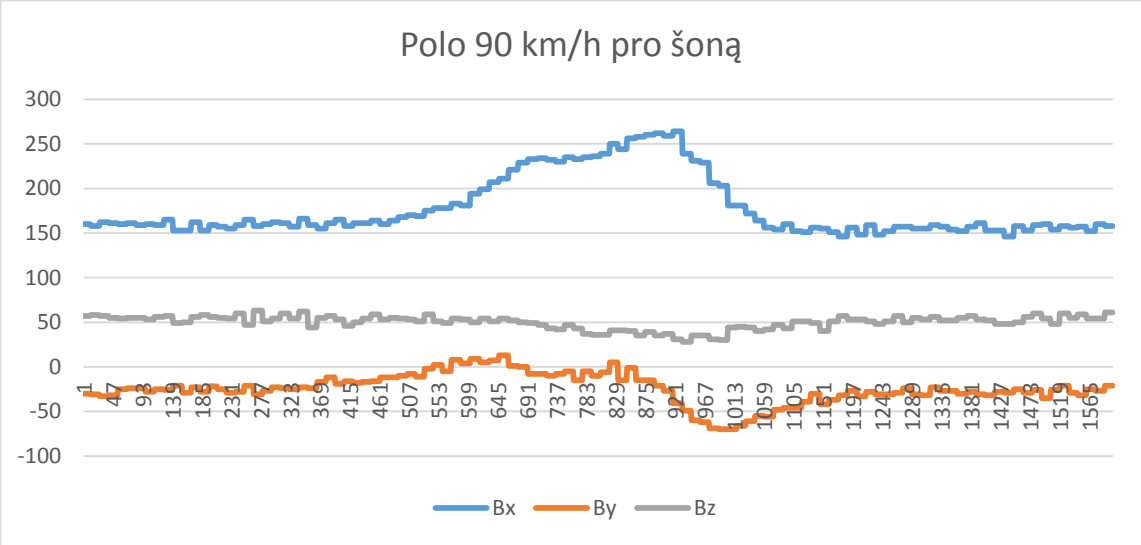

Polo 20 km/h
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
-5000
1 71 141 211 281 351 421 491 561 631 701 771 841 911 981 1051 1121 1191 1261 1331 1401 1471 1541 1611 1681 1751 1821 1891 1961 2031 2101 2171 2241 2311 2381 2451
Bx
By
Bz


Polo 50 km/h
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
-5000
1 32 63 94 125 156 187 218 249 280 311 342 373 404 435 466 497 528 559 590 621 652 683 714 745 776 807 838 869 900 931 962 993 1024 1055 1086
Bx
By
Bz

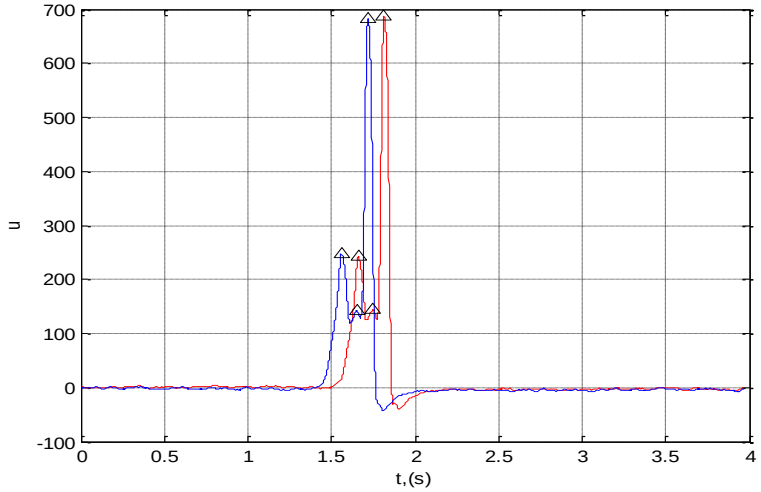

Polo 80 km/h
2000
1000
0
-1000
-2000
-3000
-4000
-5000
1 32 63 94 125 156 187 218 249 280 311 342 373 404 435 466 497 528 559 590 621 652 683 714 745 776 807 838 869 900 931 962 993 1024 1055 1086
Bx
By
Bz


Polo 20 km/h pro šoną
500
400
300
200
100
0
-100
-200
1 144 287 430 573 716 859 1002 1145 1288 1431 1574 1717 1860 2003 2146 2289 2432 2575 2718 2861 3004 3147 3290 3433 3576 3719 3862 4005 4148 4291 4434 4577 4720 4863
Bx
By
Bz

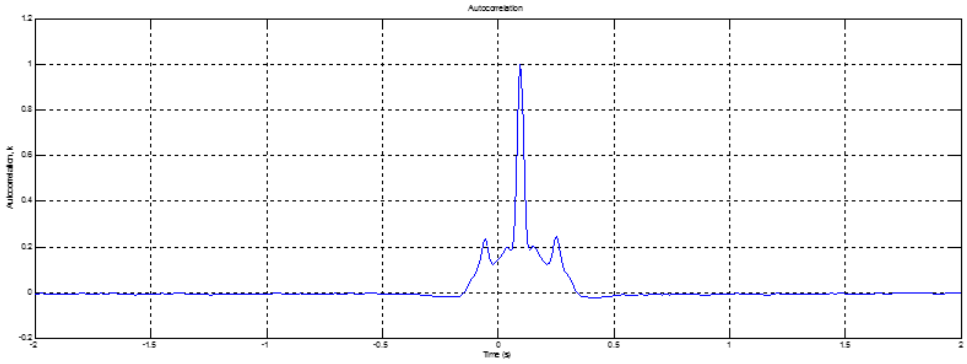

Polo 50 km/h pro šoną
600
500
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
1 53 105 157 209 261 313 365 417 469 521 573 625 677 729 781 833 885 937 989 1041 1093 1145 1197 1249 1301 1353 1405 1457 1509 1561 1613 1665 1717 1769
Bx
By
Bz


Polo 90 km/h pro šoną
300
250
200
150
100
50
0
-50
-100
1 47 93 139 185 231 277 323 369 415 461 507 553 599 645 691 737 783 829 875 921 967 1013 1059 1105 1151 1197 1243 1289 1335 1381 1427 1473 1519 1565
Bx
By
Bz

Priedas nr.4: Pikų radimas ir abipusė koreliacija tarp dviejų sensorių

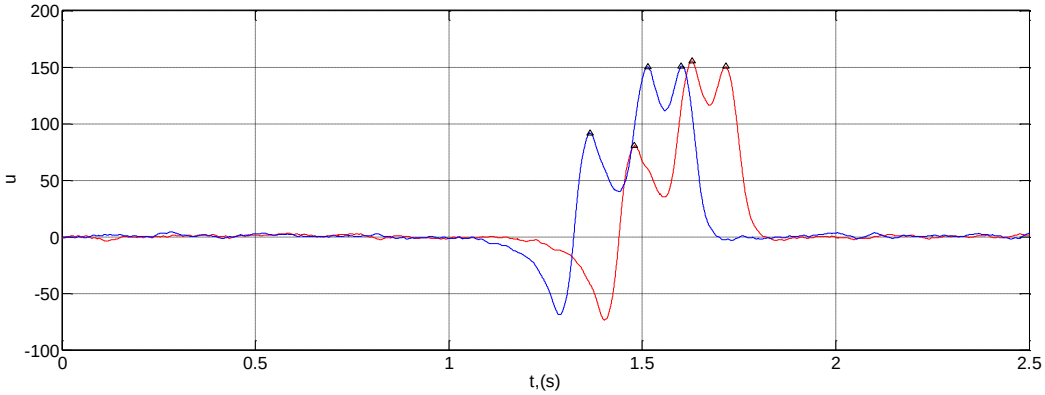


a)

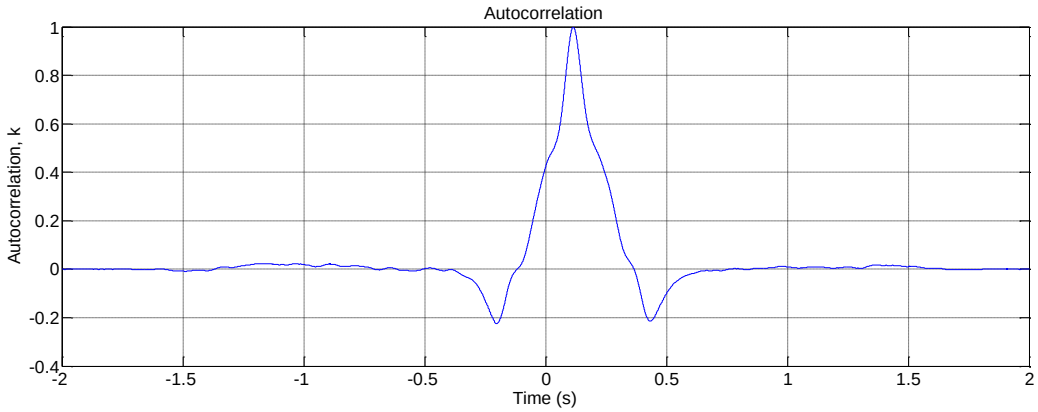


b)

Polo 50 km/h greičiu per abu jutiklius



a)



b)

Alhambra 50 km/h greičiu per abu jutiklius