



21-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2018 m. gegužės 4-5 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 21th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 4-5 May 2018, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 21-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 4-5 мая 2018 г., Вильнюс, Литва

KELIO DANGOS ATPAŽINIMAS NAUDOJANT DIRBTINIUS NEURONINIUS TINKLUS

Nikolaj Taskin

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas,
El. Paštas: ¹nikolaj.taskin@stud.vgtu.lt*

Santrauka. Šiame straipsnyje yra aprašomas transporto priemonės važiavimo greičio parinkimo pagal grunto atpažinimo duomenis tyrimas, taikant neuroninius tinklus. Kad transporto priemonė neslidintų kelio danga ir būtų užtikrintas kelionės saugumas, turi būti važiuojama tinkamu važiavimo greičiu. Deja, vairuotojas ne visada sugeba tinkamai parinkti važiavimo greitį. Prie nemalonių pasekmių gali būti privedami ir jo atsakingumo stoka. Būtinybė išvengti žmogiškojo faktoriaus – viena iš autonominių valdymo sistemų kūrimo priežasčių. Norint, kad transporto priemonė savaime nusistatytų reikiamą važiavimo greitį, turi būti atpažinta būdingomis savybėmis pasižyminti kelio danga.

Reikšminiai žodžiai: kelio danga, gruntas, ratas, sąveika, atpažinimas, važiavimo greitis, dirbtinis neuroninis tinklas, daugiasluoksnis.

Įvadas

Važiuojančią transporto priemonę veikia įvairios jėgos: jos pačios bei keleivių ar krovinių svoris, oro pasipriešinimas, trintis, trauka, inercija. Kad transporto priemonė galėtų saugiai važiuoti, jos ratai privalo patikimai sukibti su kelio paviršiumi. Trinties jėga turi būti kuo didesnė. Ji priklauso nuo kelio paviršiaus šiurkštumo, padangų protektoriaus standumo ir rašto, oro slėgio padangose, vertikaliosios apkrovos ir važiavimo greičio.

1 lentelė. Pasipriešinimo riedėjimui koeficientas (www. *Engineering Toolbox* 2008)

Kelio danga	Riedėjimo varžos koeficientas
Betonas, asfaltas, akmenų grindynys (praktiškai kieta danga)	0,01 – 0,02
Žvyrkelis	0,04 – 0,08
Ariama žemė	~ 0,1
Birus smėlis	0,15 – 0,30

Nelygia danga važiuojančios transporto priemonės gali susidurti su įvairiais pavojais, tokiais kaip uolos, puri dirva ar regolitas, dėl ko transporto priemonė gali pradėti slysti, įstrigti arba patirti apgadinimą. Šie atsitikimai gali priversti prie žymiai pavojingesnių situacijų.

Kita daugelio eismo nelaimių priežastis yra greitis. Greitį vairuotojas pasirenka pats, atsižvelgdamas į esamo eismo sąlygas. Tačiau pavojingas ne pats greitis, o tai, kad

neteisingai suvokiama ir įvertinama esanti situacija, pavėluotai priimamas sprendimas.

Apsispręsti, ką daryti, vairuotojui dažniausiai pristiniga laiko, dėl ko jis suklysta. Kelionės saugumas priklauso nuo vairuotojo reakcijos – sugebėjimo greitai ir tiksliai veikti pasikeitus eismo sąlygoms. Vairuotojo reakcija trunka nuo 0,2 iki 2 sekundžių (Green 2000). Ją nulemia daug vairuotojo charakteristikų: amžiaus, savijauta, nuovargis, apsvaigimo laipsnis. Reakcija lėtesnė, jei kelias yra netinkamai apšviestas, esant prieblandai. Vairuotojų, jau kartą patekusių į kelių eismo įvyki, reakcija gali būti sulėtėjusi.

Kuo didesnis važiavimo greitis, tuo didesnę emocinę įtampą jaučia vairuotojas, tuo daugiau informacijos jam tenka apdoroti per trumpesnę laiko tarpą.

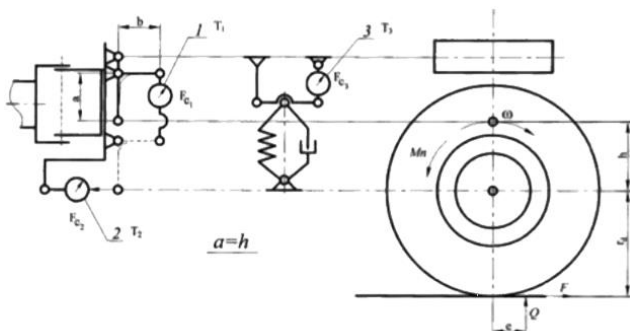
Todėl, jeigu norima išvengti žmogiškojo faktoriaus, yra reikalingas autonominis valdymas, kuris turėtų padėti išvengti tokių situacijų. Autonomiškai valdomas automobilį apibūdina automatizuotas automobilio valdymas visomis situacijomis, kuriomis automobilį gali valdyti vairuotojas, automatizuotai vykdant visas automobilio valdymo funkcijas (Mitkevičius 2016). Programinė įranga atpažįsta stovinčius ir judančius objektus: žmones, kitus automobilius, kelio ženklus ir žymėjimą, šviesoforų šviesas.

Kelio dangą apibūdina jos sankibumo koeficientas. Jis gali būti nustatomas tiesiogiai, naudojant dinamometro rangą arba teoriškai, naudojant kompiuterines programas.

Toliau pateikiami šių būdų panaudojimo kitų mokslininkų tyrimuose pavyzdžiai.

Sankibumo koeficiento matavimo įrangos kompleksas susideda iš vienratės dinamometro priekabos, spec. paskirties furgono bei elektroninių matavimo ir užrašymo prietaisų. Sankibumo koeficientas matuojamas vertinant naujos kelio dangos savybes darbų priėmimo kontrolės metu arba nustatant eksploatuojamos kelio dangos tinkamumą saugiam transporto priemonių eismui (Gudelis 2016). Matavimo principas – sukibimo koeficiento matavimas tarp kelio dangos ir transporto priemonės padangų, esant pilnai užblokuotam matavimo ratui ant šlapios dangos.

Sankibos rodikliai yra matuojami sušlapinus kelio paviršius, kad vandens ir šlapių dulkių dėka danga pasidarytų slidesnė už sausą.

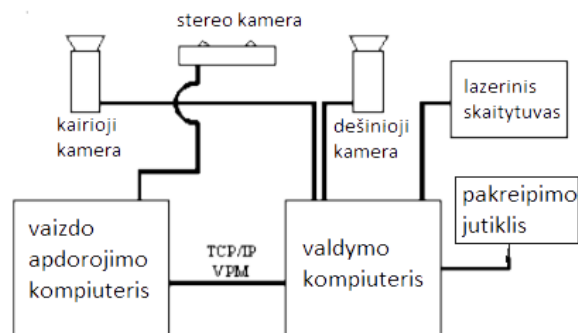


1 pav. Vienratės dinamometro priekabos SRT-3 įrangos kinematinė schema (Gudelis 2016)

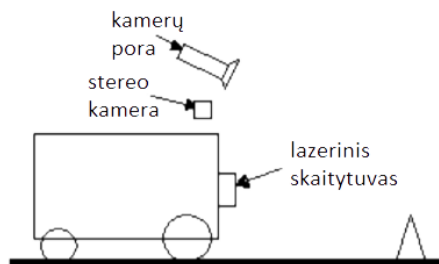
Šio eksperimento metu sukibimo koeficientas buvo matuojamas šlapią danga važiuojant 60 km/h greičiu. Išpylus vandens, ratas buvo visiškai užblokuojamas bei užrašomi kas 200 metrų gaunami matavimo duomenys. Kuo šiurkštesnė danga bei didesnis jos sukibimo koeficientas, tuo didesnis yra užblokuoto rato sukimo momentas ir jėga, traukianti priekabą.

Šiuo metu nemažai pasaulinių transporto priemonių bei kompiuterinių technologijų gamintojų kuria savas autonomines transporto priemones, gebančias tirti aplinką ir valdyti save be jokios žmogiškos veiklos įsikišimo, galinčias aptikti aplinkoje esančius objektus naudojantis įvairiomis technomis (radarais, lazeriais, GPS, jutikliais).

Kontrolės sistema apdoroja visų jutiklių teikiamą informaciją ir pagal tai nusprendžia kaip tinkamai valdyti transporto priemonę. Autonominio važiavimo sistemą, skirtą vengti kliūčių kelyje, sudaro keli svarbūs elementai (Rosselot 2004). Kameros skirtos nuskaityti priekyje esančių kliūčių kampus bei formas, stereo jutiklis nustato kliūčių koordinatas. Lazerinis skaitytuvas bei pakreipimo jutiklis yra skirti nuskaityti kelio paviršiu (šio modelio važiavimas paremtas linijos sekimu – kai modelis važiuoja tam tikra ant grindų nubraižyta linija, ją nuskaitydamas ir sekdamas jos trajektorija). Kompiuteriai skirti apdoroti iš įvesties įrenginių gaunamą informaciją. Šių įrenginių sujungimo schema bei išsidėstymas ant modelio pavaizduoti 2 ir 3 paveiksluose atitinkamai.



2 pav. Kliūčių išvengimo sistemos schema (Rosselot 2004)



3 pav. Kliūčių išvengimo sistemos elementų išdėstymas ant modelio korpuso (Rosselot 2004)

Šiame straipsnyje apžvelgiami neuroninių tinklų pritaikymo būdas, kurio naudojamas pritaikytas siekiant nustatyti tam tikrus kelio dangos parametrus bei pagal juos tą kelio dangą atpažinti, parinkti tokioms važiavimo sąlygoms tinkantį greitį.

Kelio dangos atpažinimas pritaikant dirbtinių neuronų tinklus

Dirbtinis neuroninis tinklas – tai technologija, imituojanti žmogaus smegenų, o tiksliau – neuronų, darbą. Dirbtinių neuronų tinklas susideda iš daugybės vidinių elementų, vadinamų dirbtiniais neuronais, kurių atliekamos funkcijos atitinką biologinio neurono modelį (Gurney 2003).

Dirbtiniu neuronu galima vadinti įrenginį, kuris turi keletą įvesčių ir tik vieną išvestį. Neuronas gali veikti dvejais režimais: apmokymo (neuronas keičia su įvestimis susietų svorių reikšmes taip, kad būtų gauta pageidaujama išėjimo reikšmė) ir naudojimo (neuronas gražina su įėjimuose esančiomis reikšmėmis susijusią reikšmę).

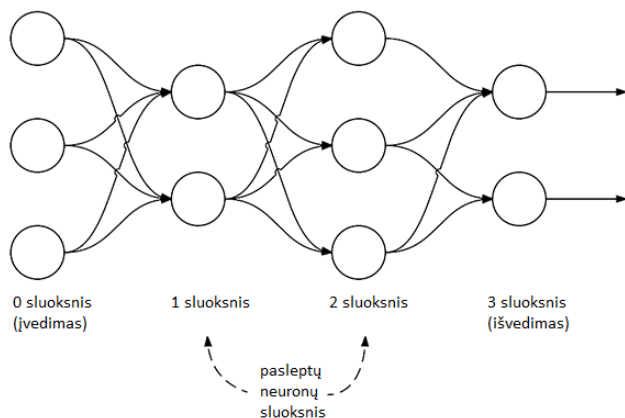
Dirbtinių neuroninių tinklų (toliau – DNT) modeliai yra skirstomi į dvi grupes:

- vienasluoksniai;
- daugiasluoksniai.

Vienasluoksniai DNT yra sudaryti iš tarpusavyje susijusių neuronų. Jie skirti spręsti tik tiesinius uždavinius. Daugiasluoksniai DNT sudaryti iš neuronų, kurie turi savo hierarchiją – jie yra suskirstyti į sluoksnius, kiekvieno sluoksnio neuronų įėjimai yra susiję tik su prieš tai buvusio sluoksnio neuronais. Dažniausiai pasitaikantys DNT yra sudaryti iš trijų sluoksnių grupių:

- įvedimo sluoksnis;
- paslėptų neuronų sluoksnis;
- išvedimo sluoksnis.

Įvedimo sluoksnio neuronai skirti duomenų įvedimui į tinklą, įvedimo duomenų apdorojimui. Paslėptųjų sluoksnių neuronai remdami įvedimo reikšmėmis ir apmokymo metu nustatytais jungčių svoriais vykdo su uždavinio sprendimu susijusios skaičiavimus. Išvedimo sluoksnio neuronų atliekamas darbas priklauso nuo paslėptųjų sluoksnių neuronų išvedimo reikšmių. Daugiasluoksniai neuroniniai tinklai geba išspręsti jau sudėtingesnius uždavinius.



4 pav. Daugiasluoksnio neuroninio tinklo schema (Rosebrock 2016)

Neurono matematinis modelis:

$$y = \varphi(w_0x_0 + w_1x_1 + \dots + w_nx_n) = \varphi\left(\sum_{j=0}^n w_jx_j\right) \quad (1)$$

čia: φ – aktyvavimo koeficientas; w_j – svorio koeficientas; x_j – įėjimo koeficientas; $j \in 0, 1, 2 \dots n$.

Dirbtinio neuroninio tinklo modelis:

$$y_j(x+1)^n = \gamma(s_k(x)) = \left(\sum_j w_{jk}(x)y_j(x) + \theta_k(x)\right) \quad (2)$$

Schemoje (4 pav.) apskritimais yra žymimi patys neuronai, o linijos reiškia tarp jų esančias jungtis (sinapses). Sinapsės skirtos įėjimo informacijai priskirti tam tikrą svorį. Neuroninių tinklų mokymas apima priskiriamų svorių kalibravimą skleidžiant įėjimo informaciją po visą neuroninį tinklą pirmyn ir atgal.

Atliekant skleidimą pirmyn, svoriai yra pritaikomi įėjimo duomenims. Tokiu būdu yra apskaičiuojami išėjimo duomenys. Pirmasis skleidimas atliekamas naudojant atsitiktines svorių vertes.

Atliekant skleidimą atgal nustatoma išėjimo duomenų klaidų marža, tad yra pradedamos priderinti svorių vertės, kad klaidų marža sumažėtų (artintųsi prie nulio).

Skleidimas abejomis kryptimis yra kartojamas tol, kol svoriai yra sureguliuojami ir yra gaunami tikslūs išėjimo duomenys.

Šiame tyrime yra siekiama atpažinti kelio dangą. Atpažinimas remiasi kategorizavimu ir funkcija (objektai skirstomi pagal funkciją ir kategorizuojami). Kategorizavimas yra paremtas objektų (šiuo atveju – įvairiausių kelio dangų) išskirstymu į skirtingas kategorijas.

Naudojant DNT, tikrinamos kelio dangos gali būti atpažinamos pagal tris esminius kriterijus: formą (paviršiaus nelygumus, šiurkštumą), spalvą, padėtį erdvėje.

Norint nustatyti kelio dangą arba kitus objektus jie turi būti nuskaityti optine, lazerine arba garso technika, siekiant sukurti trimatį aplinkos vaizdą, kuriame atstumas tarp nelygumų išreiškiamas spalvų intensyvumu (trimačiai vaizdai kuriami spalvoti arba dažniau naudojami juodai balti, nes spalva yra laikoma pertekline informacija).

Trimačiai aplinkos vaizdai formuojami analizuojant vieno atvaizdo du arba daugiau vaizdus. Formavimo procesas remiasi objektų požymiais (kontūrais), sritimis (pilkos spalvos intensyvumu), fazėmis (paremtas Furjė faze, gradientinio skirtumo metodais) ir energijomis (minimizavimas ir reguliavimas).

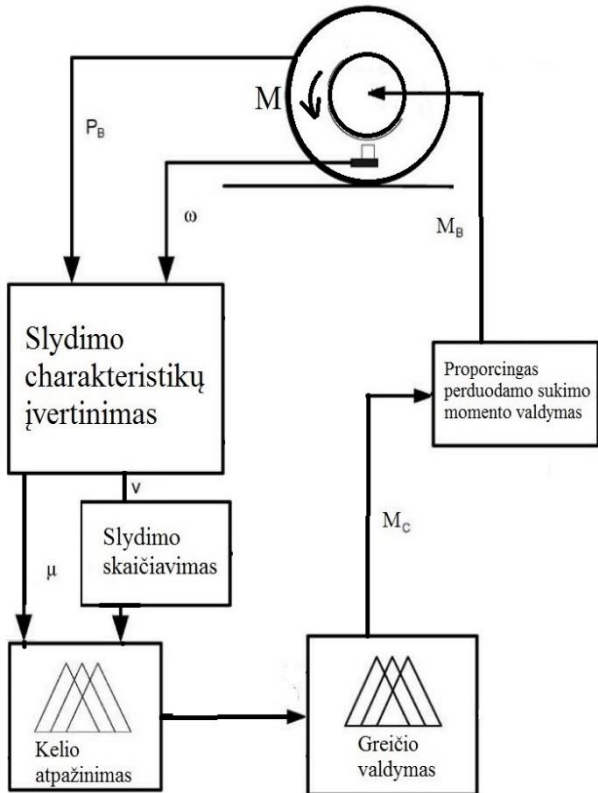
Jeigu trimatis vaizdas yra kuriamas naudojamas optinę techniką (kamasas), tai šių įrenginių turi būti bent du arba daugiau. Kadangi yra planuojama kad kelio dangą atpažintų važiujantis automobilis, optimaliai įrenginiai turėtų būti išdėstyti vienoje tiesėje, jų objektyvai nukreipti į vieną pusę (lygiagrečios židinių tiesės).

Optinį trimatį vaizdą formavimą aprašo tam tikri apribojimai: nuskaityti objektai turi būti apšviečiami vienodu apšvietimu, kiekvienas trimatį vaizdo taškas turi atitikti atitinkamą tašką viename vaizde.

Trimatį vaizdo formavimas susideda iš toliau pateikiamų etapų (Se-Hoon *et al.* 2015):

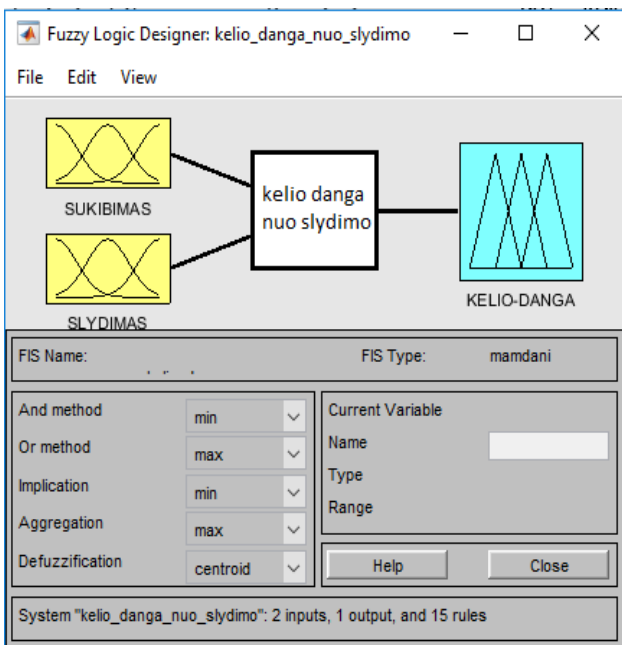
- du arba daugiau vaizdų yra palyginami, vieną jų pasirenkant pagrindiniu, visu kitus – pagrindinio vaizdo skirtumais. Programa pati apskaičiuoja nuotraukų pasislinkimą vienas kito atžvilgiu ir sukalibruoja pikselių išsidėstymą;
- pagal pagrindinio ir kitų vaizdų skirtumus formuojamas trimatis vaizdas (skirtumų žemėlapis);
- turimi suformuoti vaizdai konvertuojami į juodai baltus pašalinant perteklinę informaciją, galinčią apsunkinti duomenų apdorojimą, tokiu būdu: sutampantis arba artimi taškai žymimi juoda spalva (pirmoji iteracija). Kitų iteracijų metu ieškomi labiau vienas nuo kito nutolę taškai, nuo ko priklauso atspalvio šviesumas;
- juodai baltuose vaizduose yra išskiriami objektų kraštai bei formų kontūrai;
- pagal išskirtus kampus ir kontūrus yra išskiriami vaizduose užfiksuoti patys objektai;
- objektai užpildomi juodai balta spalva, kurios intensyvumas priklauso nuo objekto formų ir padėties erdvėje.

5 paveiksle pavaizduota pasirinkta kelio atpažinimo sistemos schema. Ją sudaro kelio dangos nuskaitymo įrenginys. Naudojant dirbtinius neuroninius tinklus tai gali būti vaizdo įrašymo aparatūra. Dirbtiniai neuroniniai tinklai yra pritaikyti dvejose srityse: pirma pagal gaunamus rato slydimo danga duomenis arba dangos išvaizda yra nustatoma, kokia tai tiksliai kelio danga yra. Toliau nustatoma kelio dangą yra parenkamas tinkamas važiavimo greitis. Šioje schemoje M_C , M_B – perduodami sukimo momentai; P_B – prispaudimo jėga; μ – slydimo koeficientas.



5 pav. Atliekamo tyrimo greičio valdymo schema

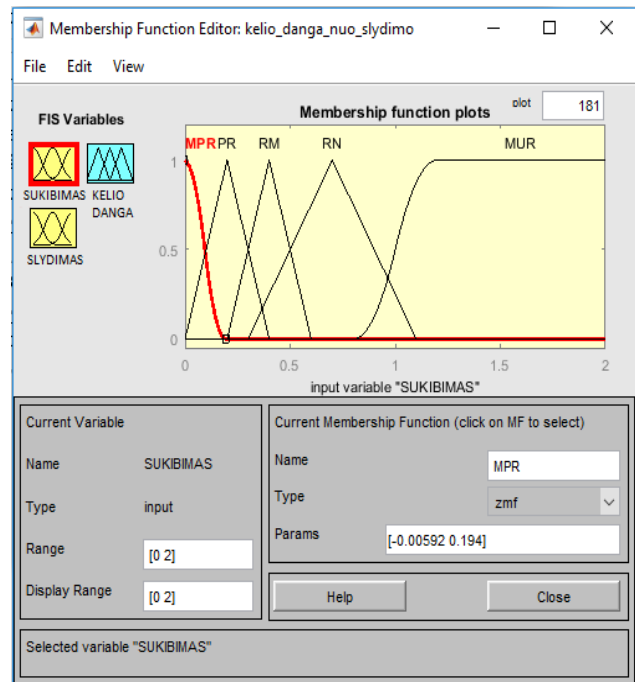
Pagrindinis valdymo sistemos komponentas yra kelio atpažinimo blokas, kurį sudaro MATLAB programos paketas Fuzzy Logic Toolbox.



6 pav. Kelio dangos nustatymo pagal sukibimą ir slydimą Fuzzy Logic programa lango vaizdas

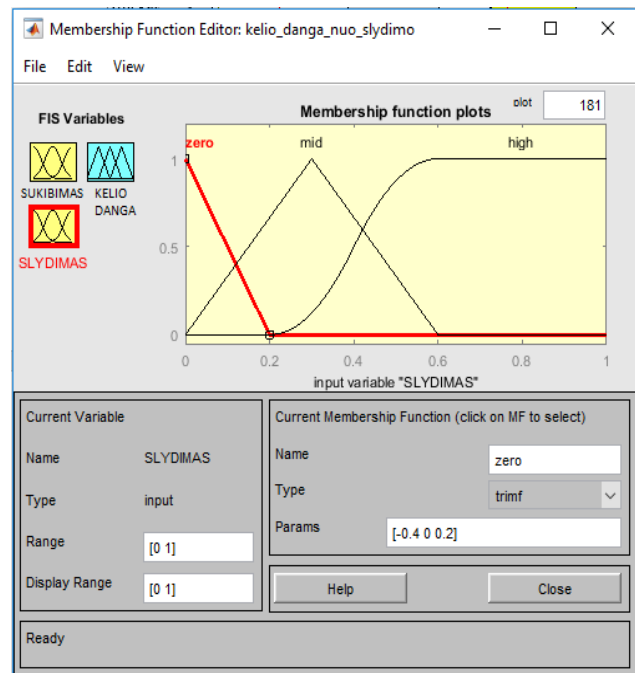
Atpažinimo programa kuriama naudojant FIS redagavimo priemonę (Леоненков 2005). Šiame tyrime kelio danga yra nustatoma remiantis dviem kriterijais: sukibimu

ir slydimu. Šie kriterijai yra programos įvedimo funkcijos. Kelio dangos tipas – išvedimas.

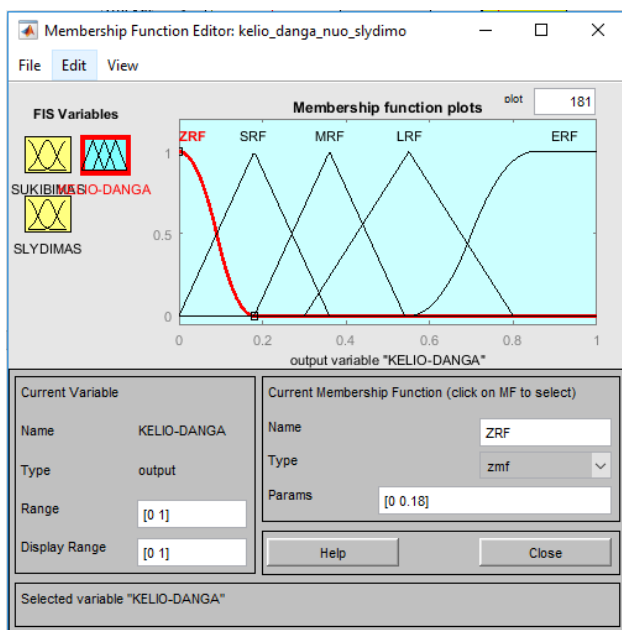


7 pav. Penkių skirtingų sukibimo koeficientų reikšmių grafinis vaizdas

Programa parenka kelio dangos tipą „if“ funkcijos principu. Turint po vieną sukibimo ir slydimo reikšmę, parenkama viena iš galimų trinčių verčių, atitinkančių kelio dangas. Šiame tyrime iš viso yra padaryta 15 „if“ funkcijų. Tyrimo atlikimui įvedamos kito autoriaus aprašytos sukibimo ir slydimo koeficientų reikšmės (Cabrera et al. 2005). Sutrumpinimų paaiškinimai surašyti 2-4 lentelėse.



8 pav. Trijų skirtingų slydimo reikšmių grafinis vaizdas



9 pav. Penkių skirtingų kelio dangų trinties priklausomybių nuo sukibimo ir slydimo schema

2 lentelė. Įvedamos sukibimo koeficientų reikšmės

Trinties koeficientai	
MPR	Labai mažas sukibimo koeficientas
PR	Mažas sukibimo koeficientas
RM	Vidutinis sukibimo koeficientas
RN	Didelis sukibimo koeficientas
MUR	Labai didelis sukibimo koeficientas

3 lentelė. Įvedamų slydimo koeficientų reikšmės

Slydimo koeficientai	
zero	nėra slydimo
mid	vidutinis slydimas (~ 0,3)
high	didelis slydimas (~ 0,6 ir daugiau)

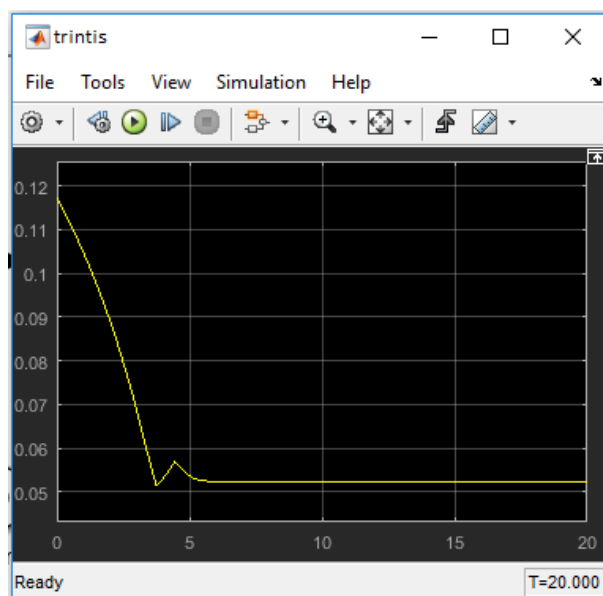
4 lentelė. Įvedamos galimų rezultatų reikšmės

Trinties koeficientai	
ZRF	Nėra trinties
SRF	Maža trintis (~ 0,2)
MRF	Vidutinė trintis (~ 0,4)
LRF	Didelė trintis (~ 0,6)
ERF	Labai didelė trintis (0,8 ir daugiau)

Tikrinama, ar veikia parašyta funkcija veikia. Įvedamos labai mažo sukibimo ir vidutinio slydimo koeficientų reikšmės. Gaunamas 10 paveikslė pavaizduotas grafikas.

Literatūra

- Gudelis, A.; Sivilevičius, H. 2016. „Naujos kelio asfalto dangos ir rato sukibimo parametrų tyrimai ir jų tinkamumo eksploatuoti vertinimas“ 19-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos Transporto inžinerija ir vadyba straipsnių rinkinys, p. 147–151: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022489816300271> >.
- Mitkevičius, V. 2016. „Autonominiai automobiliai – šiandienos teisiniai iššūkiai rytojui“, VU Teisės fakultetas, <http://www.zurnalai.vu.lt/teise/article/viewFile/10448/8529>.
- Леоненков, А. 2005. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH*, БХП-Петербург.
- Gurney, K. 2003. *An introduction to neural network*, Taylor and Francis Group.
- Miller S. 2015. *How to build a neural network*: <https://stevenmiller888.github.io/mind-how-to-build-a-neural-network/>.



10 pav. Veikiančia „fuzzy logic“ programa nubraižytas trinties su kelio danga grafikas

Gautame grafike pastebimas staigus rezultatų kritimas, po to reikšmės nusistovi. Pagal įvedamus duomenis gauto grafiko trinties rezultatas atitinka, kaip tikėtasi. 0,05 – 0,06 vertės atitinka žvyrkelio dangos kelį.

Išvados

Nustatytas temos aktualumas - būtinybė išvengti žmogiškojo faktoriaus (patirties stokos, neatsakingumo). Dėl jo įvyksta nemažai eismo įvykių. Aprašyti dirbtinių neuroninių tinklų pranašumai lyginant su gyvo organizmo (žmogaus) smegenų, o tiksliau – neuronų, darbu.

Sudaryta „fuzzy logic“ programa paremta neuroniniais tinklais, skirta atpažinti kelio dangą. Šiame tyrime kelio danga yra nustatoma remiantis dviem kriterijais: sukibimu ir slydimu. Šie kriterijai yra programos įvedimo funkcijos. Kelio dangos tipas – išvedimas.

Kelio dangos tipą atitinka jos trinties koeficientas.

Programos veikimo bandymas atliktas, ar yra gautami kelio dangą atitinkantys rezultatai. Suvedus žvyrkelei būdingus sukibimo bei slydimo koeficientus, gaunamas tikėtasis trinties koeficientas (apie 0,5 – 0,6). Tai reiškia, kad sudaryta programa veikia tinkamai ir ją galima toliau tobulinti, siekiant atlikti sudėtingesnes kelio dangos atpažinimo procedūras, turint daugiau įvedimo funkcijų.

- Cabrera, J. A.; Ortiz, A.; Castillo, J. J.; Simon A. 2005. A Fuzzy Logic Control for Antilock Braking System Integrated in the IM-Ma Tire Test Bench, *IEEE transaction on vehicular technology*, vol. 54, No. 6, november 2005;
- Rosselot, D.; Hall, E. L. 2004. *Processing real-time stereo video for an autonomous robot using disparity maps and sensor fusion*, Center for robotics research, University of Cincinnati.
- Rosebrock, A. 2016. *A simple neural network with Python and Keras*.
- Park, S.; Park, M.; Yoon, K. 2015. Confidence-based Weighted Median Filter for Effective Disparity Map Refinement, *The 12th International Conference on Ubiquitous Robots and ambient Intelligence*, Goyang city, Korea.
- Green, M. 2000. "How Long Does It Take to Stop?" *Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times*, Lawrence Erlbaum Associates, Incorporated, United States.
- https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html.