

AUTOMOBILIŲ IMTIES GENERAVIMAS BEI REALIZAVIMAS SEKIMO PASKUI LYDERĮ MATEMATINIUISE MODELIOSE

Algimantas DANILEVIČIUS¹, Raimundas JUNEVIČIUS²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹Algimantas.danilevicius@vgtu.lt; ²Raimundas.junevicius@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnio tyrimo objektas yra sukauptų automobilių srauto duomenų pritaikymas sekimo paskui lyderį matematinuose modeliuose. Čia sprendžiama neefektyviai apkrautos kelio atkarpos problema. Siekiama sumažinti atstumą tarp automobilių iki saugaus atstumo, koreguojant automobilių greitį. Straipsnyje nagrinėjami sekimo paskui lyderį modeliai, pagal kuriuos įvertinama sąveika tarp toje pačioje eismo juostoje esančių transporto priemonių. Eksperimentiniai duomenys apdorojami taikant *Matlab*, sudaromos transporto srauto pasiskirstymo histogramos bei parenkama tinkamiausia skirstinio kreivė. Eksperimentinė skirstinio kreivė naudojama sudarant kelio atkarpos apkrovimo scenarijų – nustatoma modeliuojamos kelio atkarpos intensyvumo ir atstumų tarp transporto priemonių priklausomybė nuo laiko. Taikomame modelyje naudojamos fundamentalios diagramos, sudaromos pagal natūrinius eismo srauto matavimus. Matematinis modelis leidžia parinkti optimalų transporto priemonės greitį išlaikant saugų atstumą tarp transporto priemonių, taip pat juo remiantis galima teikti rekomendacijas, kaip gerinti automobilių eismą.

Reikšminiai žodžiai: sekimo paskui lyderį modelis, pasiskirstymo histograma, skirstinio kreivė, *Matlab*, eismo intensyvumas, matematinis modeliavimas.

Įvadas

Vienas iš parametrų, darančių didžiausią įtaką eismo srautams, yra vairuotojų pasirinktas važiuojimo greitis. Dėl netinkamai pasirinkto per didelio greičio gali atsirasti reali rizika sukelti eismo įvykį, nespėjus laiku sustabdyti transporto priemonės. O jei transporto priemonės juda per lėtai, gali būti neefektyviai išnaudojamas gatvės pralaidumas. Saugus atstumas tarp automobilių yra parametras, labai susijęs su pasirinktu greičiu. Da *et al.* (2014) straipsnyje aprašoma, kas gali paveikti saugaus atstumo pasirinkimą. Vairuotojai dažniausiai klysta, neteisingai įvertindami priekyje važiuojančio automobilio greitį ir savo pačių pasirinktą greitį. Be to, pasirenkant saugų atstumą tarp transporto priemonių, labai svarbu įvertinti vairuotojo reakcijos laiką. Ranjitkar *et al.* (2005) straipsnyje tirtuose sekimo modeliuose vairuotojo reakcijos laikas pateikiamas kaip visais atvejais optimizuojamas parametras.

Modelis, kuris įvertintų sąveiką tarp sraute dalyvaujančių transporto priemonių, leistų padidinti gatvių pralaidumą ir padidintų saugumą dėl transporto priemonių susidūrimo.

Šiame straipsnyje pateikiami metodai, įvertinantys sąveiką tarp automobilių nustatytoje kelio atkarpoje ir ga-

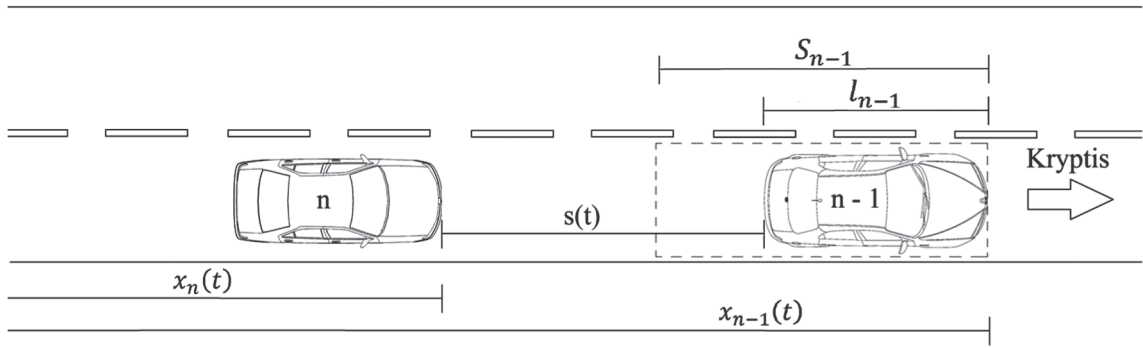
lintys koreguoti jų greitį bei atstumą tarp transporto priemonių pasiekiant optimalias tos kelio atkarpos sąlygas.

Sekimo paskui lyderį metodų apžvalga

Gipps modelis

Sekimo paskui lyderį modeliai gali padėti geriau organizuoti realius eismo srautus, efektyviau išnaudojant kelio plotą, sumažinant atstumus tarp automobilių iki saugaus atstumo, dėl to padidėtų eismo intensyvumas ir sumažėtų eismo spūsčių.

Papathanasopoulou, Antoniou (2015) straipsnyje pateikiamas Gipps modelis taikomas įvairiuose mikroskopiniuose imitaciniuose modeliuose. Modelis rodo, kad automobilio n (1 pav.) greitis priklauso nuo trijų apribojimų (2). Pirmasis, kai automobilio n greitis neviršija vairuotojo norimo greičio V_n . Antrasis, kai transporto priemonė greitai išibėgėja iki norimo greičio, o tada pagreitis sumažinamas beveik iki nulio. Jei du automobiliai yra toli vienas nuo kito, jie elgiasi kaip laisvame sraute. Šios dvi sąlygos sujungiamos lygtyje (1). Trečioje sąlygoje atsižvelgiama į atstumą $s(t)$ tarp transporto priemonių ir įtakojamą sekėjo



1 pav. Sekimo paskui lyderį modelio parametrai
Fig. 1. The parameters of car-following model

vairavimo elgseną, kol sekėjas lėtėja. Savaiame suprantama, kad sekėjo transporto priemonės greitis bus koreguojamas, kad būtų išlaikytas saugus atstumas nuo lyderio automobilio. Ši sąlyga aprašyta antroje lygtyje. Tarpas tarp automobilių $s(t)$ iš schemos (1 pav.) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$s(t) = x_{n-1}(t) - l_{n-1} - x_n(t), \quad (1)$$

kur:

$x_n(t)$ – automobilio n priekio padėtis laiko momentu t , m;

$$u_n(t + \tau) = \min \left\{ \begin{array}{l} u_n(t) + 2,5 \cdot a_n \cdot \tau \cdot \left(1 - \frac{u_n(t)}{U_n} \right) \cdot \sqrt{\left(0,025 + \frac{u_n(t)}{U_n} \right)} \\ b_n \cdot \tau + \sqrt{\left(b_n^2 \cdot \tau^2 - b_n \left[2 \cdot [x_{n-1}(t) - S_{n-1} - x_n(t)] - u_n(t) \cdot \tau - \frac{u_{n-1}(t)^2}{\hat{b}} \right] \right)} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

kur:

a_n – maksimalus pagreitis, kurį vairuotojas n pasirengęs pasiekti, m/s^2 ;

b_n – maksimalus lėtėjimo pagreitis, kurį vairuotojas n pasirengęs pasiekti, m/s^2 ;

\hat{b} – maksimalus apskaičiuotas transporto priemonės $n-1$ lėtėjimo pagreitis transporto priemonės n atžvilgiu, m/s^2 ;

s_{n-1} – efektyvus transporto priemonės $n-1$ ilgis. Jis apima fizinį transporto priemonės $n-1$ ilgį l_{n-1} ir saugaus atstumo ribą s^* , kurios vairuotojas n neturi kirsti, m;

U_n – norimas transporto priemonės greitis, m/s;

$u_n(t)$ – automobilio n greitis laiko momentu t , m/s;

$u_{n-1}(t)$ – automobilio $n-1$ greitis laiko momentu t , m/s;

τ – reakcijos laikas, kuris yra konstanta visiems automobiliams ir lygus matavimo žingsniui, s.

Kim *et al.* (2011) straipsnyje pateikiamos apskaičiuojamo transporto priemonės lėtėjimo pagreičio dedamosios. Lėtėjimo pagreitį \hat{b} sudaro maksimalaus pageidaujamo lėtėjimo pagreičio ($b_n < 0$, m/s^2) (1 lentelė) ir koeficiento α sandauga. Kai $\alpha < 1$, transporto priemonės n lėtėjimas

$x_{n-1}(t)$ – automobilio $n-1$ priekio padėtis laiko momentu t , m;

l_{n-1} – fizinis transporto priemonės $n-1$ ilgis.

Apskritai, atsižvelgiant į minėtus apribojimus, automobilio n greitis laiko momentu $t + \tau$ gali būti apskaičiuojamas pagal formulę (2):

nepakankamas ir tampa agresyvus, o kai $\alpha > 1$, lėtėjimas atsargesnis.

Pagal Gipps modelį visada parenkamas mažesnis automobilio greitis iš lygtyje (2) gaunamų dviejų alternatyvių greičių. Taigi automobilio n greitis negali viršyti norimo maksimalaus greičio arba negali viršyti lyderio automobilio $n-1$ greičio (Ciuffo *et al.* 2012).

1 lentelė. Gipps modelio rekomenduojamos parametų ribos (Kim, Mahmassani 2011)

Table 1. Parameter limits of the Gipps' model (Kim, Mahmassani 2011)

Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
$\hat{\delta}$	0,2 s	3,5 s
a_n	0 m/s ²	8 m/s ²
b_n	-8 m/s ²	0 m/s ²
U_n	50 km/h	150 km/h
s^*	0 m	20 m
$\hat{\alpha}$	0,5	2

Šis metodas įvertina sąveiką tarp toje pačioje eismo juostoje esančių automobilių, neturinčių galimybės aplenkti priekyje esančią transporto priemonę.

Sumanaus vairuotojo modelis

Kitas sekimo paskui lyderį modelis yra pateiktas Li *et al.* (2015) straipsnyje kaip apibūdinantis atskirų transporto priemonių ir vairuotojų elgseną pagal diferencialines lygtis. Modelis vadinamas sumanaus vairuotojo modeliu. Pagal modelį automobilio n pagreitis laiko momentu t (5) yra nustatomas pagal esamą greitį laiko momentu t , atstumą tarp automobilių $s(t)$ ir efektyvų norimą (saugų) atstumą tarp automobilių $s_{ns}(t) = s^* + \left(u_n(t) \cdot T + \frac{u_n(t) \cdot \Delta u_n(t)}{2\sqrt{a_n b}} \right)$. Greičių skirtumas $\Delta u_n(t)$ užrašomas lygtimi $\Delta u_n(t) = u_n(t) - u_{n-1}(t)$.

Kesting *et al.* (2010) straipsnyje akcentuojama, kad sumanaus vairuotojo modelis sujungia laisvo kelio greitėjimo pagreičio

$$a_g(t) = a_n \left(1 - \left(\frac{u_n(t)}{U_n} \right)^\delta \right) \quad (3)$$

ir stabdymo pagreičio strategijas

$$a_s(t) = -a_n \left(\frac{s_{ns}(t)}{s(t)} \right)^2. \quad (4)$$

Vertinant pastarąsias dvi (3) ir (4) pagreičių strategijas kartu, išvedamas sekėjo automobilio pagreitis $a_n(t)$:

$$a_n(t) = a_n \left[1 - \left(\frac{u_n(t)}{U_n} \right)^\delta - \left[\frac{s^* + \left(u_n(t) \cdot T + \frac{u_n(t) [u_n(t) - u_{n-1}(t)]}{2\sqrt{a_n b}} \right)}{s(t)} \right]^2 \right], \quad (5)$$

kur:

- $a_n(t)$ – sekėjo n pagreitis laiko momentu t , m/s^2 ;
- b – pasirinktas norimas lėtėjimo pagreitis, m/s^2 ;
- T – pastovus laiko tarpas tarp automobilių, s ;
- δ – pagreičio eksponentė.

Pagreičio eksponentė δ charakterizuoja, kaip pagreitis mažėja su greičiu ($\delta = 1$ atitinka tiesinį mažėjimą, kai $\delta \rightarrow \infty$ reiškia pastovų pagreitį). Kesting *et al.* (2010) straipsnyje pateikiama, kad paprastai eksponentės δ reikšmė pasirenkama lygi 4.

2 lentelė. Sumanaus vairuotojo modelio rekomenduojamos parametrų ribos (Kim, Mahmassani 2011)

Table 2. Parameter limits of the Intelligent driver model (Kim, Mahmassani 2011)

Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
a_n	0 m/s^2	8 m/s^2
b	0 m/s^2	8 m/s^2
U_n	50 km/h	150 km/h
s^*	0 m	10 m
T	0 s	10 s

Kesting *et al.* (2010) teigimu, pagal šį metodą parenkamas norimas greitis, įvertinant saugų laiko tarpą, kuris reikalingas, kad transporto priemonė n sustotų saugiai, nesusidūrusi su lyderio automobiliu. Tačiau jame neįvertinamas vairuotojo reakcijos laikas.

Helly linijinis modelis

Chang, Chon (2005) straipsnyje pateiktame modelyje įtrauktos papildomos sąlygos, parenkant transporto priemonės pagreitį, kai atsižvelgiama į tai, ar priekyje esanti lyderio transporto priemonė buvo stabdoma.

$$a_n(t) = C_1 \left[(u_{n-1}(t - \tau) - u_n(t - \tau)) + C_2 (x_{n-1}(t - \tau) - x_n(t - \tau) - D_n(t)) \right], \quad (6)$$

kur:

- C_1 – konstanta santykiniam greičiui;
- C_2 – konstanta atstumui tarp automobilių;
- $D_n(t)$ – pasirinktas atstumas tarp automobilių laiko momentu t , m.

Konstantos C_1 ir C_2 atlieka koregavimo funkciją santykiniam greičiui ir atstumui tarp transporto priemonių nustatyti.

$$D_n(t) = (d^* + l_{n-1}) + \gamma u_n(t - \tau), \quad (7)$$

kur:

- d^* – pasirinktas visiško sustojimo atstumas iki lyderio, m;
- γ – konstanta, koreguojanti greitį esant pasirinktam atstumui tarp automobilių laiko momentu t .

Taniguchi *et al.* (2015) straipsnyje pateikiama sąlyga parenkant konstantą pakoreguoti greičiui, kad būtų tiksliau atkartojamas priekyje važiuojančio lyderio automobilio $n-1$ greitis:

$$\gamma \geq \frac{-C_1 + \sqrt{C_1^2 + 2C_2}}{C_2}. \quad (8)$$

3 lentelė. Helly linijinio modelio rekomenduojamos parametru ribos (Kim, Mahmassani 2011)

Table 3. Parameter limits of the Helly linear model (Kim, Mahmassani 2011)

Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
δ	0,2 s	3,5 s
C_1	0,1	3
C_2	0,01	3
d^*	0 m	10 m
\tilde{a}	0	2

Helly linijinis modelis suteikia galimybę su papildomomis koeficientų C_1 , C_2 ir γ korekcijomis suderinti transporto priemonės n pagreitį pagal situaciją.

Krauss modelis

Pagal Krajzewicz *et al.* (2005) straipsnyje pateiktą Krauss metodą iš pradžių apskaičiuojamas saugus greitis $u_s(t)$, kuris leidžia laikytis saugiu atstumu iki lyderio automobilio $n-1$ ir prisitaikyti prie jo lėtėjimo pagreičio b_n .

$$u_s(t) = u_{n-1}(t) + \frac{s(t) - u_{n-1}(t) \cdot \tau}{\frac{u_n(t) + u_{n-1}(t)}{2b_n} + \tau} \quad (9)$$

Po to nustatomas norimas transporto priemonės greitis laiko momentu t . Pasirenkama mažiausia greičio reikšmė iš apskaičiuoto saugaus greičio, norimo greičio ir esamo greičio, pridendant maksimalų pagreitį, kurį vairuotojas n pasirengęs pasiekti.

$$U_{no}(t) = \min\{u_s(t), u_n(t) + a_n, U_n\} \quad (10)$$

Galiausiai pasirenkamas transporto priemonės greitis $u_n(t + \tau)$. Papildomai įvedama 0 km/h sąlyga, kad automobilis negali judėti atbulomis.

4 lentelė. Krauss modelio rekomenduojamos parametru ribos (Krajzewicz *et al.* 2005; Kim, Mahmassani 2011)

Table 4. Parameter limits of the Krauss model (Krajzewicz *et al.* 2005; Kim, Mahmassani 2011)

Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
a_n	0 m/s ²	8 m/s ²
b_n	-8 n-1 m/s ²	0 m/s ²
δ	0,2 s	3,5 s
U_n	50 km/h	150 km/h
\tilde{a}	0	1

$$u_n(t + \tau) = \max\{0, U_{no}(t) - \varepsilon a_n\} \quad (11)$$

kur

ε – koeficientas, pagal kurį įvertinamas netolygus vairuotojo norimas greitis.

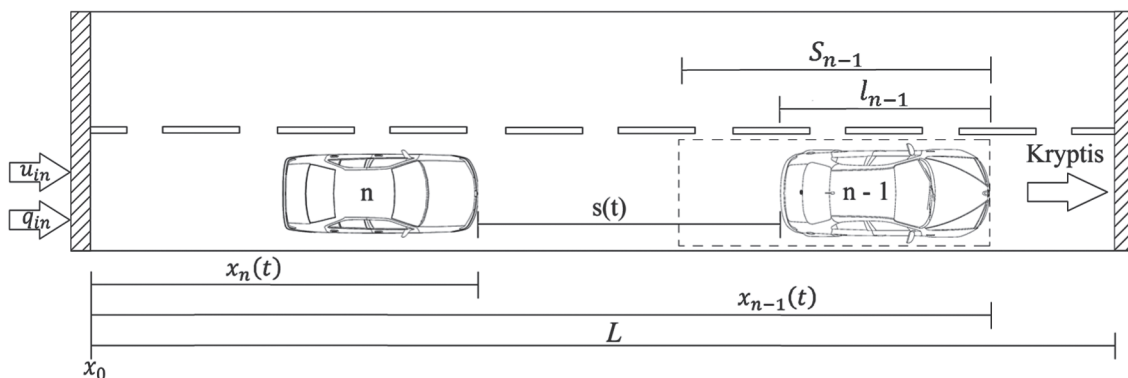
Šis modelis suteikia galimybę įvertinti netolygų vairuotojo norimą greitį ir saugų atstumą tarp automobilių, atsižvelgiant ir į vairuotojo reakcijos laiką.

Tyrimo metodika

Tyrimo metu pasirenkama tiriama kelio atkarpa, kurios ilgis L (2 pav.). Į šią atkarpą tam tikru greičiu u_{in} įvedamos transporto priemonės. Transporto priemonių greičiai gaunami iš fundamentalių diagramų, kurios sudaromos iš išmatuotų transporto priemonių greičių ir transporto srauto intensyvumo q_{in} . Fundamentalių diagramų sudarymas ir pritaikymas transporto srautų modeliuose išnagrinėtas straipsnyje (Danilevičius, Junevičius 2014).

Į sistemą įvedamų automobilių laiko tarpai gali būti paskaičiuojami pagal formulę:

$$time\ gap = \frac{3600}{q_{in}} \quad (12)$$



2 pav. Automobilio sekimo paskui lyderį schema kelio atkarpoje

Fig. 2. Scheme of car-following model in road section

Kelio atkarpoje L greičio u , intensyvumo q ir koncentracijos k parametrai yra:

kai nėra nei vieno automobilio $N_{aut.} = 0$, tai $q = 0$, $k = 0$ ir $u = 0$;

kai yra vienas automobilis $N_{aut.} = 1$, tai $u = u_{n-1}$, $k = \frac{1}{L}$ ir $q = v \cdot k$;

kai $N_{aut.} \geq 2$, tai $u = \frac{\sum_2^{N_{aut.}} u_{n+i}}{N_{aut.}}$, $i = 1, 2, \dots, m$, $k = \frac{N_{aut.}}{L}$ ir $q = v \cdot k$.

Pirmoji transporto priemonė yra taške

$$x_{lyderis} = x_0 + L, \quad (13)$$

kitos įvedamos taške x_0 . Įvedamų į sistemą transporto priemonių greičiai ir intensyvumas gaunami iš eksperimentinių duomenų.

Transporto priemonės padėtis x_{n+i} nuo atskaitos pradžios x_0 laiko momentu t apskaičiuojama:

$$x_{n+i} = x_0 + u_{n+i} \cdot t. \quad (14)$$

Pirmosios transporto priemonės, įvestos į sistemą, nurodomas pastovus greitis $u_{n-1}(t)$ viso judėjimo duotoje atkarpoje metu. Kitų transporto priemonių greitis apskaičiuojamas pagal Gipps modelį (2). Sistemoje transporto priemonių greičiai apskaičiuojami sąveikaujant dviem transporto priemonėms: n transporto priemonės greitį $u_n(t)$ įtakoja $n-1$ transporto priemonė, $n+1$ transporto priemonės greitį $u_{n+1}(t)$ įtakoja n transporto priemonė ir t. t.

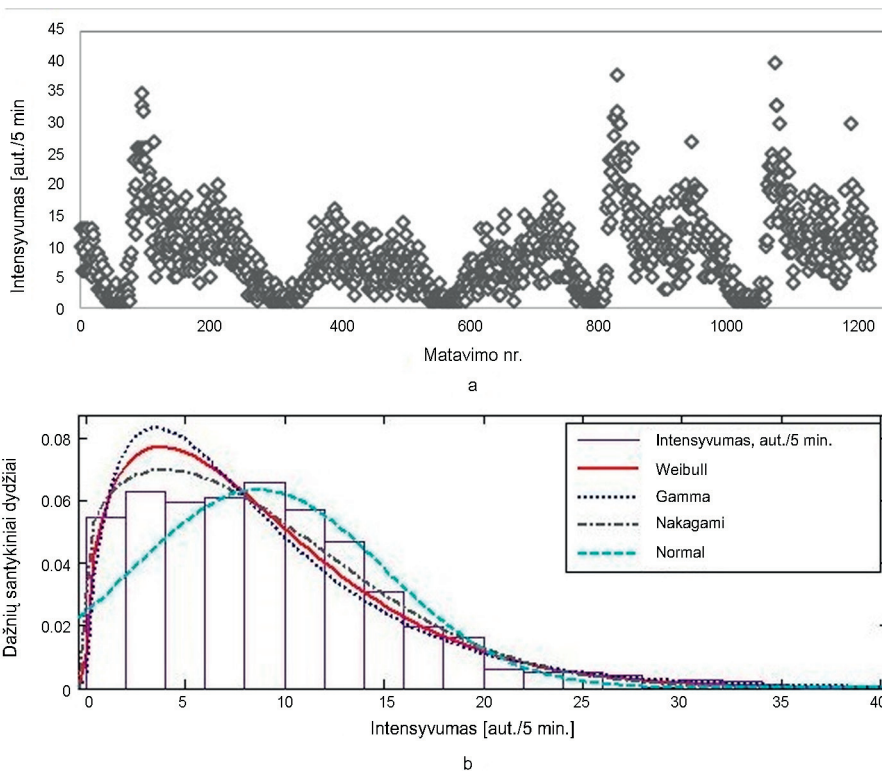
Tyrimo rezultatai

Atliekant tyrimą įvedami parametrai, kurie skaičiavimo metu bus pastovūs: $a_n = 0,06 \text{ m/s}^2$; $b_n = -3 \text{ m/s}^2$; $\hat{b} = -6 \text{ m/s}^2$; $s_{n-1} = 10 \text{ m}$; $\tau = 0,8 \text{ s}$; $U_n = 20 \text{ m/s}$. Iš eksperimento duomenų pagal pasiskirstymo dėsnį sugeneruojama automobilių imtis su skirtingais greičiais ir įvažiavimo laikais, kurie atitinkamu laiko momentu įvedami modeliavimo eigoje.

Pagal eksperimentinius duomenis (3 pav., a), sukaupus iš eismo srautų matavimų, sudaroma intensyvumo pasiskirstymo histograma (3 pav., b). Labiausiai eksperimentinius duomenims atitinkanti skirstinio kreivė naudojama automobilių, kurie atitinkamu laiko momentu įvažiuos į modeliuojamą kelio atkarpą, imčiai generuoti.

Labiausiai atitinkanti eksperimentinius gavtės intensyvumo duomenis skirstinio kreivė yra Weibull. Jos skalės koeficiento reikšmė šiuo atveju yra $\alpha = 9,528$, o formos koeficiento reikšmė $\beta = 1,39$. Weibull skirstinio kreivės koeficientų reikšmės naudojamos apskaičiuojant priklausomybę nuo atstumo tarp automobilių ir koncentracijos (4 pav., a). Taip pat sudaroma fundamentali diagrama, kuri parodo greičio ir koncentracijos priklausomybę tiriamoje kelio atkarpoje.

Minimalus atstumas tarp automobilių apskaičiuojamas Matlab programiniu paketu:



3 pav. Eksperimentiniai duomenys: a) intensyvumo duomenų sklaida; b) intensyvumo pasiskirstymo histograma ir skirstinio kreivės

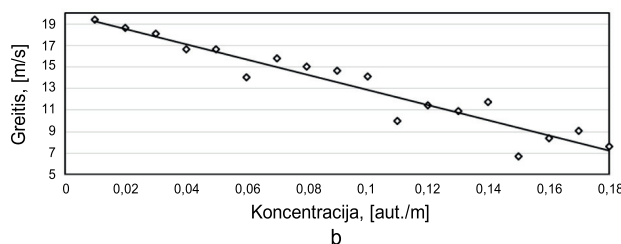
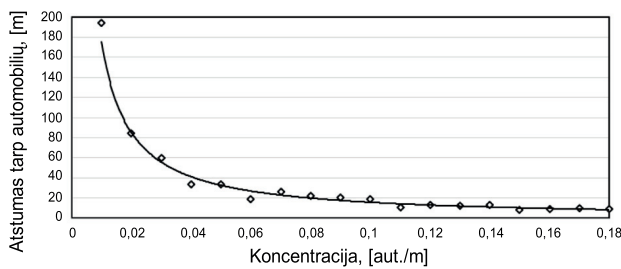
Fig. 3. Experimental data: a) flow data distribution; b) flow distribution histogram and distribution curves

$$L_{min} = random('wbl', \alpha, \beta, 1, n_auto). \quad (15)$$

Atstumas tarp automobilių priklausomai nuo maksimalios koncentracijos k_{max} apskaičiuojamas:

$$k = \frac{1}{L_{min}} \cdot k_{max}. \quad (16)$$

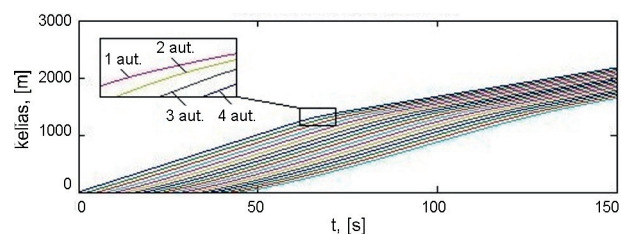
Nurodoma, kad k_{max} šioje kelio atkarpoje yra 0,18 aut./m., o koncentracija k kinta intervale nuo 0,01 iki 0,18 aut./m.



4 pav. Koncentracijos gatvėje įtaka: a) atstumo tarp automobilių priklausomybė nuo koncentracijos; b) greičio ir koncentracijos priklausomybė

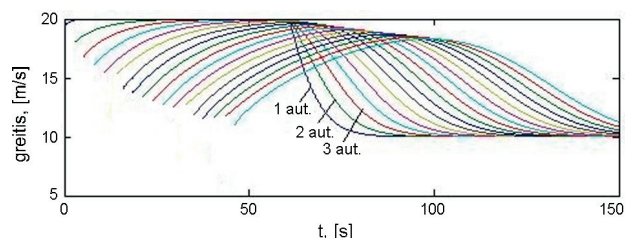
Fig. 4. Influence of density on the street: a) the distance between the car dependence on the density; b) speed and density dependence

Atlikus skaičiavimus su Matlab programiniu paketu, pagal Gipps modelį gauti grafikai parodo, kaip kinta kiekvieno automobilio nuvažiuotas kelias (5 pav.), kol dar jie nėra priartėję iki priekyje važiuojančio automobilio ir kai atstumas tarp jų nedidelis. Imituojant lyderio automobilį nurodoma, kad jis nuo x_0 taško nutolęs 700 m ir jo greitis yra 10 m/s. Dėl to priartėjus iki šio automobilio atsiranda kreivės lūžis, ir nuo to momento visi automobiliai, važiuojantys už lyderiaujančio automobilio, „kopijuoja“ lyderio automobilį.



5 pav. Automobilių nuvažiuoto kelio priklausomybė nuo laiko
Fig. 5. Car distance traveled dependence on time

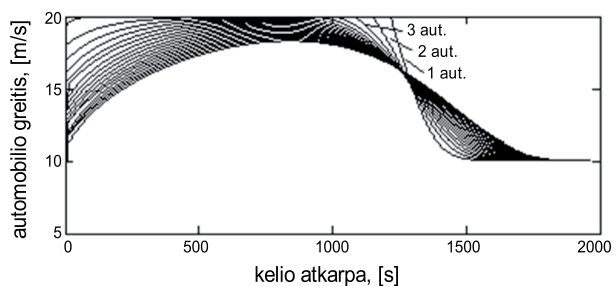
Iš grafiko (5 pav.) matyti, kad tarp įvažiuojančių į modeliuojamą kelio atkarpą automobilių tarpai yra mažesni, o vėliau jie padidėja. Tokiam pokyčiui turi įtakos tai, kad pagal Gipps modelį automobiliai pasiveja priekyje važiuojantį automobilį, o tada išlaiko minimalų saugų atstumą. Kaip kinta greitis viso proceso metu, parodo automobilių judėjimo greičio grafikas (6 pav.).



6 pav. Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo laiko
Fig. 6. Car speed dependence on time

Kiekvienas automobilis į sistemą buvo įvedamas skirtingais greičiais pagal eksperimentinius duomenis. Kol atstumas iki priekyje važiuojančios transporto priemonės yra didesnis nei apskaičiuotas saugus atstumas, tai automobilis išibėgėja iki norimo 20 m/s greičio. Toks greitis išlaikomas, kol pasivejamas priekyje važiuojantis automobilis, kurio greitis yra 10 m/s. Tada automobilio greitis lėtinamas maksimaliu lėtėjimo pagreičiu $b_n = -3 \text{ m/s}^2$, kurį vairuotojas pasirengęs pasiekti, kol greičiai suvienodėja. Galiausiai visi automobiliai juda vienodu $u_{out} = 10 \text{ m/s}$ greičiu.

Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio parodyta grafike (7 pav.).



7 pav. Automobilių judėjimo greičio priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio

Fig. 7. Car speed dependence on traveled distance

Šis grafikas parodo, kad į sistemą įvedamoms transporto priemonėms, kurių greitis u_{in} yra didesnis, reikalingas trumpesnis laiko tarpas pasivyti priekyje važiuojančią transporto priemonę, nei toms transporto priemonėms, kurių u_{in} mažesnis.

Išvados

1. Kelio atkarpos apkrovai modeliuoti naudotas Weibull skirstinys bei fundamentalios diagramos. Pateiktas metodas leidžia susieti eksperimentinius matavimus ir matematinį eismo srautų modelį.
2. Pritaikius Gipps eismo srautų modelį, matematinio modeliavimo ribose išlaikomas saugus greitis iki priekyje esančios transporto priemonės, įvertinant vairuotojo reakcijos laiką.
3. Po atliktų skaičiavimų pagal Gipps modelį sumažinti atstumai tarp transporto priemonių iki minimalaus saugaus atstumo, šitaip padidinama koncentracija kelyje, efektyviai apkraunant kelio atkarpą.
4. Pagal sudarytą tyrimo metodiką naudojant fundamentalias diagramas, sudarytas pagal sukauptus eksperimentinius duomenis (gatvės eismo srauto intensyvumą, greitį ir koncentraciją) galima prognozuoti atskirų automobilių arba automobilių srauto judėjimą eismo juostoje.

Interesų deklaracija

Su kitomis suinteresuotomis organizacijomis ar asmenimis neturėjome finansinių, profesinių ar asmeninių interesų.

Literatūra

- Chang, K.; Chon, K. 2005. A car-following model applied reaction times distribution and perceptual threshold, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6: 1888–1903.
- Ciuffo, B.; Punzo, V.; Montanino, M. 2012. Thirty years of Gipps' car-following model, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2315(1): 89–99. <http://dx.doi.org/10.3141/2315-10>
- Da, Y.; Li-ling, Z.; Dan, Y.; Fei, Y.; Yun, P. 2014. An enhanced safe distance car-following model, *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)* 19(1): 115–122. <http://dx.doi.org/10.1007/s12204-014-1479-5>
- Danilevičius, A.; Junevičius, R. 2014. Fundamentalios diagramos transporto srautų modeliuose, *17-oji Jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“, teminė konferencija „Transporto inžinerija ir vadyba“*, 2014 m. gegužės 8 d., Vilnius, Lietuva, 158–162.
- Kesting, A.; Treiber, M.; Helbing, D. 2010. Enhanced intelligent driver model to access the impact of driving strategies on traffic capacity, *Philosophical Transactions of the Royal Society* 368(1928): 4585–4605. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2010.0084>

Kim, J.; Mahmassani, H. S. 2011. Correlated parameters in driving behavior models: car-following example and implications for traffic microsimulation, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2249: 62–77. <http://dx.doi.org/10.3141/2249-09>

Krajzewicz, D.; Hartinger, M.; Hertkorn, G.; Mieth, P.; Rössel, C.; Zimmer, J.; Wagner, P. 2005. Using the road traffic simulation „SUMO“ for education purposes, *Traffic and Granular Flow* 3: 217–222. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-28091-X_19

Li, Z.; Li, W.; Xu, S.; Qian, Y. 2015. Stability analysis of an extended intelligent driver model and its simulations under open boundary condition, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 419: 526–536.

Papathanasopoulou, V.; Antoniou, C. 2015. Towards data-driven car-following models, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 55: 496–509. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.016>

Ranjitkar, P.; Kawamura, A.; Nakatsuji, T. 2005. Car-following models: an experiment based benchmarking, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6: 1582–1596.

Taniguchi, Y.; Nishi, R.; Ezaki, T.; Nishinari, K. 2015. Jam-absorption driving with a car-following model, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 1–12.

VEHICLES' SAMPLE GENERATION AND REALIZATION IN CAR-FOLLOWING MATHEMATICAL MODELS

A. Danilevičius, R. Junevičius

Abstract

The object of the article is the adjustment of car-following mathematical models according to collected traffic data. Here the problem of ineffectively burdened road section is solved by adjusting the speed of vehicles in order to reduce the distance between the cars to a safe distance. The paper analyzes the car-following models to measure the interaction between vehicles in the same lane. Experimental data processed in Matlab and traffic distribution histograms are created using the most appropriate distribution curve. Distribution curve is used to compile congestion scenario of road section. Applicable model uses fundamental diagrams, which are created from the kind of traffic flow measurements. The mathematical model allows to choose the optimal vehicle speed while maintaining safe distance between vehicles, and to make recommendations to improve the traffic as the process.

Keywords: car-following model, distribution histogram, distribution curve, Matlab, traffic flow.