

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūts

Ojārs Krūmiņš
Doktora studiju programmas „Elektrotehnoloģiju datorvadība“ doktorants

Inteligēnto transporta sistēmu izveides principi un realizācijas iespējas

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. Hab. sc. ing.,
prof. I.Raņķis

RTU Izdevniecība
Rīga 2010

UDK 656.07 (043.2)
Kr. 895i

Krūmiņš O.
Inteliģento transporta sistēmu izveides principi un realizācijas iespējas
Promocijas darba kopsavilkums. – R:RTU,2010.- 34 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūta
2010. gada 29. jūnija lēmumu
Protokols Nr.43

Šis darbs ir izstrādāts ar daļēju Eiropas Sociālā fonda atbalsta Nacionālo programmu „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai ietvaros.

ISSN 1407-7345

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts gada
plkst. RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē Kronvalda bulvārī 1 – 117.
telpā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

1. RTU P-14 loceklis Dr. sc.ing., prof. K.Ketners,
2. Rīgas Tehniskās universitātes asoc. prof., Dr.sc.ing. L.Sergejeva,
3. Tallinnas Tehnoloģiskās universitātes profesors, Dr.sc.ing. **J.Laugis**
4. Latvijas universitātes vadošais pētnieks, Ph.Dr.comp. science **Leo Seļāvo**

APSTIPRINĀJUMS

Apliecinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Ojārs Krūmiņš.....

(Paraksts)

Datums.....

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā, satur 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 85 zīmējumus un ilustrācijas, kopā 171 lappuses. Literatūras sarakstā ir 136 nosaukumu.

DARBA VISPĀRĒJAIS RAKSTUROJUMS TĒMAS AKTUALITĀTE

Sastrēgums – tā varētu raksturot pasaulē notiekošo transportā. Pieaugot iedzīvotāju labklājībai, daudzi izvēlas iegādāties komfortablu transporta līdzekli – automobili. Rezultātā arvien vairāk ceļu posmos novērojama nepietiekama caurlaidība un rodas satiksmes sastrēgumi. Jau 2003. gadā ASV Federālā Automaģistrāļu Administrācija ziņoja, ka viena autovadītāja zaudējumi sastāda \$384 gadā (ap Ls 200 pēc tā laika valūtu kursa). Summu veido dīkstāve darba laikā un nelietderīgi iztērētā degviela. Taču šos zaudējumus papildina ievērojamas summas, saistītas ar īpašuma zaudējumu, veselības un dzīvības apdraudējumiem, glābšanas dienestam satiksmes apstākļu dēļ nespējot laicīgi sasniegt mērķi.

Šķietami vienkāršākais veids problēmas risināšanā ir paplašināt brauktuvi, kur nepieciešams. Tas, iespējams, ir racionāli vietās ar brīvi pieejamām platībām, taču kā likums, šajās vietās nav satiksmes problēmu. Vienīgais veids, ko iespējams darīt – meklēt veidus, kā paaugstināt esošās infrastruktūras izmantošanas efektivitāti. Pasaulē problēmai lielu uzmanību pievēršušas attīstītās valstis, kuru pulkam cenšas piebiedroties arī Latvija. Arī Latvijā notiek ievērojams zinātniskais darbs, lai izstrādātu tehnoloģijas, kas būtu piederīgas pie *Inteliģento Transporta Sistēmu* (ITS) saimes. Šajos darbos piedāvā metodes, kas ļauj uzlabot kāda transporta līdzekļa efektivitāti.

Ceļu satiksme savā būtībā ir ļoti sarežģīts mijiedarbību komplekss. Lai arī šķiet, uz ceļa valda gandrīz haoss, tas tomēr ir determinēts, un notikumus savā starpā var saistīt daudzu gadījumu un šķietamu nejaušību ķēde. No šādām nejaušībām iespējams izvairīties un to nodrošina kvalitatīva ITS.

Apskatot līdz šim veiktos pētījumus, rodas secinājums – daudzi piedāvātie satiksmes apraksta tuvinājumi ir ņemti no datortīklu pasaules. Tam ir savs pamats, jo pētnieki, kas cenšas ar datormodeļiem aprakstīt satiksmi, perfekti pārzina datu pārraides tīklus. Taču ir viena fundamentāla atšķirība – atkarībā no situācijas satiksmes dalībnieki veic šķietami neparedzamas darbības. Tamdēļ sistēmu “apmācībā” izmanto anomāliju noteikšanas algoritmus. Tie gan ir derīgāki post-factum analīzes veikšanai un interaktīvai ITS tie neder. Pēc faktu konstatācijas nav grūti noteikt korelāciju starp plūsmām noteiktos punktos, tāpēc bieži figurē lineārās regresijas metodes.

Attīstoties teknikai, vietu ieņem risinājumi, kas paredz tiešu bezvadu komunikāciju kanāla izveidi starp satiksmes dalībniekiem (*ad-hoc wireless network*). Paredzot variantu, ka komunikāciju kanāls starp satiksmes dalībniekiem ir nestabils, tiek izmantots lineārās regresijas modelis, kurš ģenerē trūkstošos datus. Lai arī risinājums ir tehnoloģiski vienkāršs, to nevar izmantot kā autonomu sistēmu, taču apvienojumā tas var dot ievērojamu daudzumu vērtīgas informācijas.

Tradicionāli satiksmes inženieri strādā ar determinētām plūsmas – blīvuma diagrammām, neņemot vērā stohastiskās izmaiņas. Faktiski šādām diagrammām ir maza nozīme, tik vien kā tās ir grafisks plūsmas interpretējums. Plūsmas – ātruma diagrammas reizēm mēdz attēlot kā kvadrātiskās diagrammas. Plūsmu fiziķi piedāvā lietot fundamentālās, plūsmu procesiem raksturīgās, diagrammas, taču kā zināms, tās nespēj ņemt vērā gadījuma rakstura izmaiņas, kas bieži sastopamas reālā satiksmē.

Pastāv problēma, ka datormodelēšanas algoritmi spēj apskatīt tikai fiksētus ceļa posmus ar noteiktu skaitu parametru. Pie tam daudzi no šiem parametriem ir ar nenoteiktu vērtību. Ir šķietami neiespējami uzbūvēt datormodeli, kas spētu paredzēt situācijas, jo notikumi ir tik cieši saistīti savā starpā un skar tik lielus attālumus, ka pat jaudīgākie superskaitļotāji nespēj reālā laikā uzturēt ITS ar kaut cik pieņemamiem izejas parametriem. Tamdēļ ir svarīgi izdalīt aspektus, kas ir saistīti, taču zināmā mērā autonomi, tādējādi ļaujot strukturizēt uzdevumu.

Satiksmes notikumus šodien novēro ar ievērojamu daudzumu dažādu sensoru – induktīvās cilpas brauktuvē, skaņas un optiskie devēji. Šie elementi spēj apgādāt ITS ar ievērojamu informācijas gūzmu par konkrēto situāciju to uzstādīšanas vietā. Taču kā likums, šos datus apkopo

lokāli un nosūta datu apstrādes centriem pēc noteiktiem laika periodiem. Tie būtu 30 sekundes, minūte, 5 minūtes vai stunda. Sensori kas apvienoti ar novērošanas kamerām, ir efektīvi nosakot tekošo situāciju un ļauj kvantitatīvi novērtēt notiekošo un sniedz svarīgu informāciju izmeklējot incidentus, taču tie, diemžēl, atstāj salīdzinoši mazu iespaidu uz ITS darba spējām. Ir novērojama tendence, ka lielie ražotāji, tādi kā Siemens, ABB, Alcatel piedāvā ierobežotas darbības rādiusa ITS. Tas ir, aparātiski nosedz vienu krustojumu, kurā kontrolē notiekošo, taču informācijas plūsmas un datu apmaiņa starp kaimiņos esošām sistēmām ir minimāla.

Iepriekš minētie sensori ir punktveida devēji un nespēj sniegt visaptverošu informāciju par to, kas notiek jebkur uz ceļa. Satiksmes plūsmu principā gribas uztvert kā notikumu kopu, kuri tikai daļēji korelē savā starpā, līdz ar to būvējot modeļus šis nenoteiktības un nejaušību moments ir ļoti nevēlams. Lai arī iepriekšminētās sistēmas tiek sauktas par reālā laika, tās, dēļ dažādām nejaušībām un mērījumu neprecizitātes, tomēr ir ar salīdzinoši lielu inerci. Viens no problēmas iemesliem ir nepieciešamība, lai sistēma ar gadījuma lielumiem tās ieejā atgriež determinētas, fiksētas un izmantojamas vērtības, kas būtu ar niecīgu kļūdas varbūtību un vienlaicīgi ērti izmantojamas blakus sistēmās. Tādējādi nākas secināt, ka satiksmes stohastiskās dabas apsvērumi spēlē galveno lomu ITS modeļu izveidē.

Visi iepriekš aplūkoti risinājumi un metodes tomēr nedod iespēju izveidot idejiski vienotu un mērogojamu satiksmes dalībnieku aprakstu, kuram varētu pielietot sistēmiskas ITS struktūras, kas balstītas ar datortehnoloģijām. Rezultāts ir **lokālizētu** sistēmu izveide transporta plūsmu vadībai, kas nespēj savstarpēji sadarboties.

DARBA MĒRĶIS

Disertācijas mērķis ir radīt idejiski jaunu satiksmes dalībnieku aprakstu, kas būtu ērti apstrādājams ar skaitliskām metodēm, būtu pieejams reālā laikā un būtu pamats realitāti precīzi aprakstošu modeļu uzbūvei. Lai realizētu šo mērķi, balstoties uz skaitlisko aprakstu, jāvar izveidot ātrdarbīgu infrastruktūru dinamiskam satiksmes situācijas atbalstam, pie tam nepieciešams izveidot modernus ITS elementus, kuri esot integrēti vienotā sistēmā, vienlaikus spēj būt neatkarīgi un pašpietiekami. Šiem elementiem nepieciešams determinēt to aktivitāšu līmeni, vienlaikus ņemot vērā nepieciešamību veidot saites starp tiem. Aprakstot saites, jāparedz to rezervētība un alternatīvie algoritmi. Izveidotajai struktūrai un elementiem jāatbalsta šādi nosacījumi:

- atsauce – ITS, balstītai uz izstrādāto modeli, jāvar nodrošināt ar informāciju glābšanas dienestus;
- robustums – satiksmes koordinatoriem nav jāiejaucas kustībā situācijā, kad viss norit normāli un sastrēguma nav;
- sasaiste ar reālo situāciju.

DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Šīs disertācijas zinātniskā novitāte ir

- transporta līdzekļa kustības aprakstā ar koordinātu un virziena vektoru paņēmieni;
- strukturētas reālā laika ITS izveides un darbības principu formulēšanā;
- reālā laika ITS starpsaišu savienojumu un interakciju definēšanā;
- reālā laika ITS darbotspējīgu algoritmu izveidē un pamatojumā;
- reālā laika ITS tehniskās realizācijas principu un paņēmieni definēšana;
- adaptīvas krustojumu vadības izveidē izmantojot līdzsvara noteikumu definīciju.

DARBA PRAKTISKĀ VĒRTĪBA

Darba praktiskā vērtība ir faktā, ka visi piedāvātie teorētiskie risinājumi reālā laika ITS izveidē ir pārbaudīti praktiski, kā arī to realizācijai ir piedāvāti tehnisko līdzekļu prototipi.

AIZSTĀVĒŠANAI TIEK IZVIRZĪTS

1. Reālā laika ITS matemātiskais bāzes modelis un tā formulējums.
2. Reālā laika ITS struktūra.
3. Algoritmi transporta līdzekļa atrašanās vietas prognozēšanai.
4. Krustojumu automatizētā vadība izmantojot līdzsvara vienādojuma principu.
5. Paņēmieni sistēmas nepārtrauktības un integritātes nodrošināšanai.

DARBA SASTĀVS UN APJOMS

Promocijas darbs sastāv no ievada, 4 nodaļām, slēdziena un bibliogrāfiskā saraksta. Darba apjoms ir 162 lappuses, 85 zīmējumi, 5 tabulas un literatūras saraksts, kas satur 136 nosaukumus.

DARBA APROBĀCIJA UN PUBLIKĀCIJAS

Promocijas darba galvenie rezultāti tika ziņoti starptautiskajās konferencēs:

1. O. Krūmiņš, I. Raņķis, L. Ribickis Transporta automātiskās kustības sistēmas – tramvaja modelis. 46. Starptautiskā zinātniskā konference. Enerģētika un Elektrotehnika. 2005. g. Rīga. Sērija 4. Sējums 15. 57-64 lpp.
2. O.Krumins Linear drive with expanded primary winding. Proc. of the 3rd Intern. Symp. Doct.school of energ. and geot., Kuressaare, Estonia, 2006. pp.78-80
3. O.Krumins Regulation of the linear asynchronous motor with accumulation of energy surplus. 47. Starptautiskā zinātniskā konference. Enerģētika un elektrotehnika. 2006. g. Rīga. Sērija 4, Sējums 20. 128-135.
4. O.Krumins Adaptive modular linear drive for transport systems. Proc. of the 4th Intern. Symp. Doct.school of energ. and geot., Kuressaare, Estonia, 2007. pp.58-60
5. O. Krūmiņš Aktīvā satiksmes vadības datu sistema. 48. Starptautiskā zinātniskā konference. Enerģētika un elektrotehnika. 2007. g. Rīga. Sērija 4, Sējums 20. 128-135.
6. O.Krumins Autoadaptive Intelligent Transport Management System. Proc. of the 5th Intern. Symp. Doct.school of energ. and geot., Kuressaare, Estonia, 2007. pp.170-173
7. O.Krūmiņš, I.Raņķis Virziena vektora pielietojums kuģu kustības drošības novērtēšanai.- *Proceedings of 12th International Conference "Maritime Transport and Infrastructure – 2010"*, Rīga:LJA, 2010 – 88.-92. lpp.
8. O.Krumins, I.Raņķis Discrete arithmetic models for continuous process interpretation and modeling on traffic example – Proc. of 9th Internat. Symp."Top.Problem in the field of El. and Pow.Eng.", 2010, Parnu. – pp.151-154

DARBA SATURS

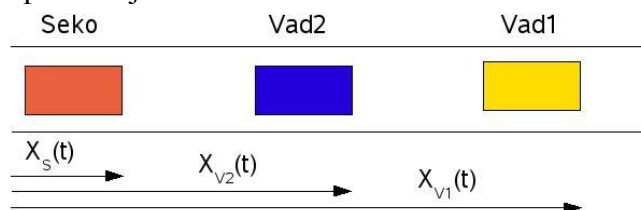
1. nodaļa.

ITS kā autonomas satiksmes vadības struktūras

Apskatīti esošo ITS veidi, to trūkumi un nepieciešamie darbības uzdevumi, ņemot vērā to integrācijas iespējas reālā laikā.

Izplatītākais ITS veids šobrīd ir monoprocusālās sistēmas, kas realizē konkrētu un šauru uzdevumu. Komplicētākās no tām ir plūsmas kontroles sistēmas. Lielākajā daļā šādu ITS algoritmu plūsmas modelī paredz, ka secīgi braucošu transporta līdzekļu vadītāji spēj precīzi sekot kustības ātrumam joslā. Papildus iekļauts arī pieņēmums, ka ātruma izmaiņas, saistītas ar priekšējo transporta līdzekli, nekavējoties ietekmē arī sekojošo transporta līdzekli. Šādi pieņēmumi principā "notrulina" algoritmu, kas intensīvas kustības apstākļos samazina sistēmas efektivitāti, jo faktiski novērojams, ka satiksmes dalībnieka vecums, blakusnodarbes, kā arī citi faktori iespaido reakcijas ātrumu uz izmaiņām apkārtējā vidē. Tas komplektā ar citiem faktoriem dramatiski samazina šo sistēmu efektivitāti. Likumsakarīgi, ka rodas jautājums, kura pieeja ir lietderīgāka - tā, kas apskata katru satiksmes dalībnieku un ņem vērā tikai tā individuālos raksturlielumus, vai tāda, kas mēģina visu plūsmu aprakstīt ar noteiktu loģiku un reaģēt uz tās rezultātiem?

Matemātiskos modeļus un pakārtotos ITS procesus sauc par avārijas novēršanas algoritmiem. Jau šobrīd zināmā mērā jārūnā par algoritmu evolūciju, jo tie principā izveidoti uz 1961. gadā izveidotā GHR modeļa. Tas apskata trīs satiksmes dalībnieku izlasi (1.att.), kur divus sauc par vadošajiem un vienu par sekojošo.



Att.1. Divu vadošo un viena sekojošā satiksmes dalībnieka izlase

Šādai shēmai izveidota izteiksme, kuras izmaiņas laika gaitā parādītas Tab. 1. Šai tabulā pieņemti apzīmējumi:

t – procesa cikla kopējais laiks;

Δt – viena iteratīvā soļa laiks;

$X_S(t)$, $X_{V1}(t)$, $X_{V2}(t)$ – satiksmes dalībnieka pozīcija laika momentā t ;

$V_S(t)$, $V_{V1}(t)$, $V_{V2}(t)$ – satiksmes dalībnieka ātrums laika momentā t ;

α , β , m , l , W_1 , W_2 – modeļa maināmie parametri;

G – empīriskā likumsakarība starp paātrinājumu un distanci līdz priekšējam transporta līdzeklim;

$a_{V2}(t)$ – otrā vadošā satiksmes dalībnieka paātrinājums laika momentā t ;

$a_S(t+\Delta t)$ – sekojošā transporta līdzekļa paātrinājums laika periodā $t+\Delta t$.

Tabula 1.

GHR modeļa evolūcija vienādojumos

$$\begin{aligned}
 a_F(t + \Delta t) &= \alpha \left[V_2(t) - V_S(t) \right] \\
 a_F(t + \Delta t) &= \alpha \left[\frac{1}{X_{V_2}(t) - X_S(t)} \right] \left[V_2(t) - V_S(t) \right] \\
 a_F(t + \Delta t) &= \alpha \left[\frac{V_S(t)}{(X_{V_2}(t) - X_S(t))^2} \right] \left[V_2(t) - V_S(t) \right] \\
 a_F(t + \Delta t) &= G_n \left[V_2(t) - X_S(t) \right] \\
 a_F(t + \Delta t) &= \alpha \left[\frac{V_S(t)^m}{\left[V_2(t) - X_S(t) \right]^l} \right] \left[V_2(t) - V_S(t) \right] \\
 a_F(t + \Delta t) &= \alpha \left[V_2(t) - V_S(t) \right] + \beta \left[V_2(t) - X_S(t) \right] \\
 a_F(t + \Delta t) &= \alpha V_S(t) \left[\frac{W_1 \left[V_2(t) - V_S(t) \right]}{\left[V_2(t) - X_S(t) \right]^2} + \frac{W_2 \left[V_1(t) - V_S(t) \right]}{\left[V_1(t) - X_S(t) \right]^2} \right] \\
 a_F(t + \Delta t) &= \alpha \left[V_2(t) - V_S(t) \right] + \beta \left[V_2(t) - V_S(t) \right] \\
 a_F(t + \Delta t) &= \alpha \left[V_2(t) - V_S(t) \right] + \beta a_{V_2}(t)
 \end{aligned}$$

Princips, kad aplūko trīs satiksmes dalībnieku izlasi (triplešu), idejiski ir pareizs, jo tas apraksta jebkuru plūsmas vietu. Izņēmuma situācija gan ir tikai tad, kad plūsma ir ļoti maza un „interesantā” attālumā atrodas tikai divi satiksmes dalībnieki. Tādā gadījumā kļūst adekvāti modeļi, kas neņem vērā faktu, ka vadītāji reaģē uz darbībām, ko veic aiznākamais priekšā esošais satiksmes dalībnieks.

Plūsmas pārvaldības sistēmas ir ļoti būtiskas, jo tās uzkrāj informāciju par satiksmes dalībnieku uzvedību noteiktā ceļa posmā, ļauj plānot notikumu attīstību un savlaicīgi reaģēt uz notiekošo. **Tomēr** šobrīd pielietotie satiksmes apraksta paņēmieni ir ļoti neprecīzi un nesniedz nepieciešamo informāciju par situāciju satiksmē. Visas ITS un satiksmes dalībnieki darbojas autonomi un tos **nevieno** kopēji un atvērti informācijas apmaiņas standarti. Lai uzlabotu ITS darbību un efektivitāti, jānojauc barjera starp tām, pie tam jāizvēlas attīstības ceļš, kādā veikt tehnoloģiju izstrādi – vai nu veidot vienu augstas centralizācijas ITS vai saglabāt specializācijas, un vienoties par informācijas apmaiņas protokoliem un formātiem. Tāpat jāizveido datu struktūras, kurās konsolidēt darbībai nepieciešamo informāciju.

Ja līdzšinējās ITS galvenokārt orientējās uz faktu konstatāciju un proaktīvu reakciju uz notiekošo, tad moderno ITS uzdevums drīzāk būtu prognozēt notikumu esamības varbūtību un reaģēt jau prognozes momentā, sekojoši kontrolējot, kā ir izpildījusies prognoze un kādā virzienā attīstās notikumi.

Viens no prognozēšanas veidiem ir meteoroloģiskās sistēmas. Pasaulē apmēram 17% visu avāriju notiek nelabvēlīgu laika apstākļu dēļ. Tamdēļ meteoroloģiskās ITS ir robustas struktūras, kuru uzdevums ir nodrošināt vadītājus ar viņu dislokācijas vietai atbilstošu informāciju tādā formātā, kā to iespējams uztvert. Meteoroloģisko ITS veido vairāki elementi – brauktuves sensori, novērošanas kameras, savienojošais tīkls, satiksmes vadības analītiķi, GIS, GPS, meteosatēlīti. Šis ir nākamais līmenis aiz “sensors – paziņojumu tablo” sistēmām.

Meteoroloģiskās ITS praktiski iedalās 5 tipos:

- **dinamiskās ceļa zīmes;**
- **transporta līdzekļu telemātika;**
- **specifiskās informatīvas vietnes;**

- **ceļa virsmas sensoru sistēma;**
- **satiksmes negadījumu kontroles sistēma.**

Meteoroloģisko ITS lietotie sensori ir gaisa temperatūras mērītājs, gaisa mitrumu mēra higrometriskais sensors, vēja ātrumu mēra ar impulsu anemometru, nokrišņu intensitāti mēra ar uzkrājošo sensoru, saules starojuma intensitāti mēra ar piranometru, redzamības sensori ir nosacītas objektu atpazīšanas sistēmas, ceļa temperatūras sensors, ceļa stāvokļa sensoru uzdevums ir noteikt, vai virsma ir sausa, slapja, tai ir atkala vai apledojums.

Meteoroloģiskās ITS vieno kopējs standarts WMO1995 un tās visas ģenerē 7 pamata trauksmes signālus par to, ka gaisa vai ceļa temperatūra ir +3 grādi un ekstrapolētā (vēja ietekmē) ir mazāka vai vienāda ar +1 grādu; gaisa temperatūra mazāka vai vienāda ar 0; ceļa temperatūra mazāka vai vienāda ar +1°C vai ekstrapolētā temperatūra mazāka vai vienāda ar 0; vai temperatūra 5cm dziļumā mazāka vai vienāda ar 0, vai temperatūra 10 cm dziļumā mazāka vai vienāda ar -1, vai 20cm dziļumā -2, un otrais nosacījums – ceļa virsma ir mitra vai pēdējās stundas laikā reģistrēti nokrišņi, vai relatīvais mitrums lielāks par 95%, vai $T_{\text{ceļa}} - T_{\text{rasas punkta}}$ mazāka vai vienāda ar +1 grādu; ceļa virsmas temperatūra mazāka vai vienāda ar 0 grādiem un detektēts “melns ledus”; fiksēti nokrišņi sniega vai krusas veidā un vienlaikus gaisa temperatūra ir mazāka vai vienāda ar +2 grādiem un ceļa virsmas temperatūra mazāka vai vienāda ar 0; vēja vidējais ātrums pārsniedz 11 m/s un tā virziens no ceļa azimuta atšķiras vairāk kā par 45 grādiem; redzamība mazāka par 200 metriem.

Neskatoties uz to, ka meteoroloģiskās sistēmas ir diezgan attīstītas, to produktu neizmanto satiksmes plūsmu, ceļa posmu un luksoforu automatizētā vadībā, kaut gan tieši meteoroloģiskie apstākļi ir faktors, kas nosaka kustības drošību.

Ar plūsmas vadības sistēmām cieši ir saistītas **luksoforu vadības sistēmas**, kas var darboties gan vienai luksoforu sekcijai, gan veselai pilsētai. Pirmā grupa ir gājēju pāreju kontroles sistēmas, otrā grupa - transporta kustības kontroles sistēmas. Atšķirība no plūsmas kontroles ITS ir tāda, ka šīs kontrolē tikai krustojumu luksoforu objektus, kamēr otras pēta satiksmes dalībnieku uzvedību ārpus krustojuma. Vienlaikus, atkarībā no formāta, luksoforu vadības sistēma var prioritizēt gājēju kustību vai arī to uzskatīt par vienlīdzīgu ar citiem satiksmes dalībniekiem. Pilnveidojot luksoforu vadības sistēmas, situācijas monitoringa moduļu uzdevums ir fiksēt vai ir gājējs, kurš vēlas šķērsot brauktuvi, un vai gājējs ir atbrīvojis brauktuvi un ir droši atsākt transporta līdzekļu kustību.

Šīs sistēmas jau ir zināmas sen un tās izstrādā vairākas pazīstamas kompānijas. Laika gaitā tam ir mainījušies reakcijas laiki, kas 2. tabulā parādīti kā atjaunināšanās intervāls. Šīm sistēmām ir ne tikai uzlabots reakcijas laiks, bet arī darbības algoritms palielinot funkcionalitāti.

Tabula 2.

Īpašība	1. paaudze	2. paaudze	3. paaudze
Atjaunināšanās intervāls	15 min	5 – 10 min	3 – 5 min
Kontroles plāna optimizācija	Optimizācija balstoties uz saglabātiem datiem atbilstoši dienai un laikam. Reaģē uz plūsmu vai manuāliem iestatījumiem.	Tiešsaites optimizācija atkarībā no tekošās situācijas.	Tiešsaites optimizācija atkarībā no tekošās situācijas.
Satiksmes prognozēšana	Nepastāv	Balstīta uz iepriekš reģistrētiem faktiem	Balstās uz tekošās situācijas nolāsēm.
Cikla garuma noteikšana	Fiksēts katrai luksofora sekcijai	Fiksēts, veidojot uzlabotu plūsmu	Nemainīga viena atjaunināšanās

		caur vairākām secīgām luksoforu sekcijām	perioda robežās. Var mainīties atkarībā no situācijas.
--	--	--	--

Faktiski katra luksofora sistēma, lai arī ir uzskatāma par pilnvērtīgu, tomēr, plašākā mērogā vērtējot, tā ir tikai mikroITS, kuru pilnvērtīgai vadībai nepieciešama vienojoša ideoloģija. Līdzīgi kā citām plūsmas vadības sistēmām, esošajām sistēmām nav ieviestas saites starp satiksmes dalībniekiem un vadības infrastruktūru. MikroITS apvienošana un centralizācija sniegtu vairākus būtiskus un jūtamus satiksmes uzlabojumus:

- Apvienojot vienotā sistēmā iepriekš autonomas luksoforu mikroITS un pielietojot centralizētas gaismu laika diagrammas, brauciena laiks maršrutā samazinātos par 10 līdz 20%;
- Salīdzinot braukšanas laiku starp adaptīvām (3. paaudze) un fiksēta laika diagrammu (1. paaudze) pārvaldītām sistēmām, pirmās spētu dot līdz pat 20% ietaupījumu;
- Centralizācija ar plūsmas rakstura analīzes mehānismu spētu dot 10 – 16% laika ietaupījumu konkrēta maršrutā, salīdzinot ar autonomām, labi noregulētām mikroITS, kas reaģē tikai uz savu sensoru datiem;
- Atkarībā no izmantoto modeļu kvalitātes, maršrutā patērētais laiks var mainīties (saīsināties) par 8 – 10%.

Ņemot vērā faktu, ka vienas pilsētas robežās iespējamas dažādu ražotāju veidotas sistēmas, to apvienošana ir problemātiska, kamēr tās ir liela mēroga. Tas rada nepieciešamību satiksmes vadību sadalīt apgabalos – šūnās, kuras pārvalda centrāls elements, kas vienlaikus ir atvērts komunikācijai ar kaimiņos esošo. Dalījums šūnās un dažādos elementos ir nepieciešams arī tādēļ, ka katrs ITS objekts darbojoties reālā laikā, ģenerē ievērojamu informācijas apjomu, kuru pilnīgi centralizētās sistēmās nav iespējams uztvert un apstrādāt.

Tādējādi varētu izveidot sabiedrības drošības ITS - sistēmu grupu, kuras uzdevums ir rūpēties ne tik daudz par satiksmi un transporta līdzekļu plūsmu kā tādu, bet vairot katra indivīda drošību uz ceļa. Sabiedrības drošības ITS iedalās vairākās klasēs.

Pirmā no tām ir vadītāju asistenti. Šādu sistēmu uzdevums pamatā ir sekot līdz vadītāju darbībām un sniegt preventīvu atbalstu, brīdinot par bīstamu situāciju rašanos.

Otrā grupa – piekļuves kontroles sistēmas - atsevišķa ITS grupa, kurai ir pilnīgi autonoma nozīme un tā principā neietekmē satiksmi kā tādu, taču var būt faktors, kas ietekmē citu sistēmu funkcionēšanu. Piekļuves kontroles sistēmas iedalās divās lielās klasēs – publiskās sistēmas un privātās sistēmas.

Trešā grupa – glābšanas sistēmas. Šīs sistēmas, līdzīgi kā meteoroloģiskās, ir iniciatori SNKS (satiksmes negadījumu kontroles sistēmas) iedarbināšanai. Starpība ir faktā, ka meteoroloģiskās sistēmas brīdina par negadījumu iespējamību, kamēr glābšanas sistēmas fiksē satiksmes negadījuma faktu un automātiski ziņo dienestiem notikuma vietas koordinātes.

Ceturtnā grupa – diagnostikas sistēmas. ITS grupas, kurām ir ļoti liela nozīme visas satiksmes funkcionēšanā, taču tās kā tādas neiespāido procesu norisi. Šo ITS uzdevums ir kontrolēt citu ITS darbību. Funkcionalitāti realizē tā, ka dažādos momentos veicot nolases no visām sistēmām, tiek meklēta likumsakarība, kurai normālgadījumā jābūt vai arī pretēji – nav jābūt.

Maršrutējošo ITS uzdevums ir atrast labāko ceļu braucienam no viena punkta uz otru. Lai

arī uzdevums šķiet primitīvs, tas satur ievērojamu daudzumu gadījuma faktoru, kas nav pieejami plānošanas brīdī. Tieši tāpat kā neviennozīmīgi ir izdarīt maršrutēšanas lēmumu pēc viena no parametriem, piemēram, izvēlēties ceļu ar lielāku atļauto braukšanas ātrumu, vai ģeometriski īsāko. Rezultātā maršrutējošās ITS izpilda optimizācijas uzdevumu, nosakot labāko maršrutu pēc parametru svaru sistēmas. Modernajos risinājumos to izpilda izmantojot mākslīgo neironu tīklus un lēmums par maršrutu R tiek pieņemts pēc multikritēriju principa, taču cerētā rezultāta vietā iegūst atbildes stabilitātes problēmu.

Problēmas izpausme ir fakts, ka ne visos gadījumos pieņemtais lēmums izrādās pareizs. Piemēram, uzdodot ITS atrast maršrutu ar visīsāko braukšanas laiku, satiksmes dalībnieks nonāk sastrēgumā. Plānojot plūsmas, izejot no maršrutēšanas ITS datiem, jāņem vērā varbūtība, ka satiksmes dalībnieks nerealizēs ieteikto maršrutu. Šo varbūtību izraisa vairāki aspekti:

- Nepiemērotu ceļu ieteikšana;
- Nedrošāku maršrutu lietošana;
- Novecojušu karšu lietošana;
- Konfliktsituācija starp ceļa marķējumu, apzīmējumiem un ITS instrukcijām.

Maršrutēšanas sistēmu kvalitatīvai darbībai ir definētas vairākas prasības:

- Transporta līdzekļa atrašanās vietai jābūt tik precīzai, lai ITS, balstoties uz saņemto informāciju, nesāktu nosūtīt nepareizas instrukcijas;
- Kartogrāfiskajam materiālam jābūt pietiekami precīzam un ceļu tīklam atbilstošam;
- Sistēma nedrīkst nosūtīt transporta līdzekļus uz tādiem ceļa posmiem, kas tiem nav piemēroti pēc gabarītiem, nestspējas vai kustības ātruma.
- Sistēmai jāņem vērā un jāvar korekti interpretēt / reaģēt uz īslaicīgām izmaiņām kustības organizācijā, neatļautiem manevriem, ātruma pārsniegšanu u.t.t.
- Veidojot maršrutu, prioritāte ir lielākiem ceļiem ar lielāku kustības ātrumu vai caurlaidības spēju.
- Sistēmai adekvāti jāreaģē uz dinamisko informācijas daļu. Dinamiskajai informācijai jābūt savlaicīgi pieejamai un ātri ieviešamai.
- Sistēmai jāspēj adaptēties neadekvātām vadītāja darbībām Sistēmai jāspēj adaptēties neadekvātām vadītāja darbībām. Šis noteikums nozīmē, ka vadītājam, veicot nepareizu pagrieziena vai izlaižot to, jauna maršruta sastādīšana jārealizē saprātīgā laika intervālā. Vadītājam, veicot nepareizu pagrieziena vai izlaižot to, jauna maršruta sastādīšana jārealizē saprātīgā laika intervālā.

Atsevišķa sistēmu klase, kuru informācija varētu būt ļoti nozīmīga (ja izdotos to apkopot), taču tās principā izveidotas katra satiksmes dalībnieka autonomai apkalpošanai.

Stacionārās individuālās ITS ir transporta līdzekļa iedarbināmās ceļa zīmes. Tā ir tādu ceļa zīmju grupa, kas normāli nav redzamas, un to attēlotā informācija ir atkarīga no transporta līdzekļa parametriem.

Transporta līdzekļi uzstādītās ITS, kurās ietilpst nakts redzamības sistēmas, transporta līdzekļu distances kontroles sistēma, joslas kontroles sistēma, ceļa zīmju atpazīšanas sistēma, pseidovirtuālās ceļa zīmes, vadītāja kondīcijas sistēma, individuālā maršrutēšanas sistēma, vadītāja asistenti - tādi kā bremzešanas vai parkošanās sistēmas.

No 1. nodaļas plašā ITS apskata var izdarīt virkni **secinājumu**, kurus jāievēro veidojot reālā laikā darboties spējīgu satiksmes vadības sistēmu.

- Šībrīža ITS pamatproblēma ir nepietiekami precīza un stabila transporta līdzekļa atrašanās vietas noteikšanas tehnoloģija;
- Visas ITS darbojas autonomi un tās **nevienu** kopēji un atvērti informācijas apmaiņas

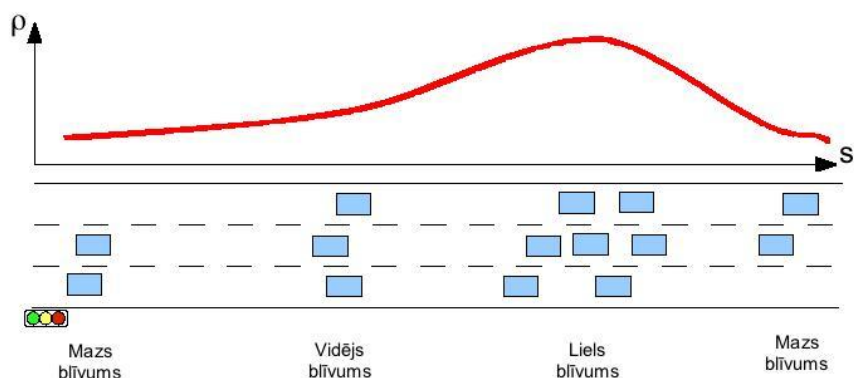
standarti;

- Lai uzlabotu ITS darbību un efektivitāti, jānojauc barjera starp tām, pie tam jāizvēlas attīstības ceļš, kādā veikt tehnoloģiju izstrādi – veidot vienu augstas centralizācijas ITS vai saglabāt specializācijas, un vienoties par informācijas apmaiņas protokoliem un formātiem;
- Jāizveido datu struktūras, kurās konsolidēt darbībai nepieciešamo informāciju;
- Jāizmanto vienota un precīza pulksteņlaika sistēma, jo tikai tā iespējams ar matemātiskiem paņēmieniem atrast sakarības starp notikumiem, kuru pārvaldība ir ITS uzdevums;
- Jānosaka, cik ilgi un kāda informācija ir aktuāla. Tā kā satiksmi raksturo ļoti liels informācijas apjoms, tad visu datu ilgstoša uzglabāšana pēc notikuma ir bezjēdzīga raugoties no drošības viedokļa un tikai atsevišķus gadījumus ir vērts tos izdalīt un uzglabāt līdz padziļinātas analīzes beigām.
- Jāatzīst, ka ITS lietotais matemātiskais aparāts ne vienmēr ir ideāls, līdz ar to jaunas idejas, kā realizēt vienu vai otru funkcionalitāti ir nozīmīgas. Ja līdzšinējās ITS galvenokārt orientējās uz faktu konstatāciju un proaktīvu reakciju uz notiekošo, tad moderno ITS uzdevums drīzāk būtu prognozēt notikumu esamības varbūtību un reaģēt jau prognozes momentā, sekojoši kontrolējot, kā ir izpildījusies prognoze un kādā virzienā attīstās notikumi.
- Ņemot vērā faktu, ka centralizētās ITS ir ļoti sarežģīti veidojumi, tad, lai saglabātu vajadzīgo funkcionalitāti un vienlaikus samazinātu vienuviet veicamās darbības, jāpielieto **šūnu princips**, kad līdzīgi kā mobilajos sakaros, noteiktu teritoriju apkalpo viens aparatūras komplekts un blakus esošo konstruktīvi tāds pat, bet ar minimāli atšķirīgu programmatūras konfigurāciju. Rezultātā iegūst centralizētu un homogēnu ITS, kas vienlaikus izmanto decentralizētās skaitļošanas priekšrocības.
- Atsevišķs jautājums ir ITS lietotās informācijas uzticamība. Ja datu bojājumu sakaru kanālā iespējams detektēt, tad nedaudz melojoša sensora atklāšana ir netriviāls uzdevums. Pat ja lieto paštestēšanas procedūras, arī tādā gadījumā problēma atrisinās tikai daļēji.
- Tā kā sistēmas darbības traucējumi iespējami dažādos līmeņos, tad vienlaikus nepieciešami arī paralēli kontroles kanāli, jo citādi nav iespējams fiksēt kļūdainu darbību kādā no mezgliem. Tajā pat laikā ir būtiski, kā realizēt visu ITS elementu darbības sinhronizāciju, ja kā zināms, dažādu algoritmu izpildes laiks ievērojami atšķiras.
- Būtisks ITS pienesums ir realizējot transporta līdzekļos Vadība-pa-Vadiem (*Drive-by-wire*) tehnoloģiju, jo tad iespējams radīt tiešu saikni starp atsevišķiem ITS lēmumiem un transporta līdzekļa manevriem uz ceļa.

2. nodaļa

ITS realizējošie matemātiskie modeļi

Šobrīd vairums ITS izmanto plūsmas matemātisko aprakstu, kas balstīts uz satiksmes dalībnieku sadalījumu joslās. Zināmi ir vairāki modeļi, vienkāršākais no tiem ir izplatītais Gausa jeb normāla sadalījuma modelis (2. att), no kura ir atvasināts nosacījumu autoregresijas un Gausa koku kopu modelis. Visu šo modeļu pamatīpasība ir tā, ka tie apskata notikumus konkrētā punktā un, pieaugot dažādu nosacījumu skaitam modeļa ieejā, zūd tā precizitāte.



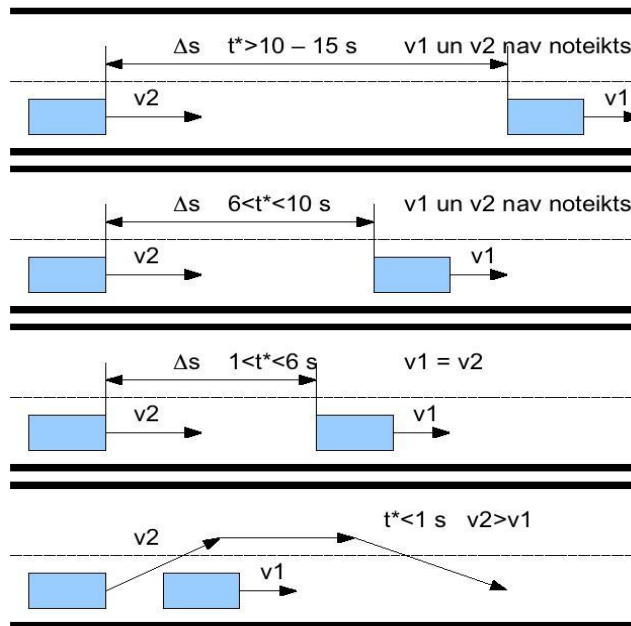
Att. 2. Gausa sadalījumam atbilstošs transporta līdzekļu izvietojums uz brauktuves

Modeļu sarežģītību nosaka fakts, ka vienu konkrētu situāciju var aprakstīt ar vairākiem, savstarpēji nesaderīgiem mainīgo lielumiem. Šo faktu cenšas apiet pielietojot paņēmieni, kurā uzskata, ka visi mainīgie lielumi ir savstarpēji neatkarīgi. Tā kā satiksmes situācijas ir nepārtrauktas un līdzīgas, tad modelis balstās uz pašapmācīšanos, taču tas, kā jau minēts, noved pie pārliekas sarežģītības. Metožu priekšrocība ir faktā, ka visi mainīgie parametri ir lineāri un tieši proporcionāli mērījumu veikšanas vietu skaitam. Negatīvais aspekts ir faktā, ka modelis ignorē visas mijiedarbības starp blakus esošajiem segmentiem, kas reālai satiksmei ir ļoti svarīgas.

Transporta līdzekļu sadalījuma modeļi apraksta laika intervālus starp satiksmes dalībniekiem ceļa segmentā. Tas ļauj dinamiski izmainīt prognozēšanas modeli un precizēt varbūtīgo mijiedarbību. Sadalījuma modelis arī izspoguļo momentānās plūsmas izmaiņas noteiktā vietā.

Laika intervāli starp secīgi braucošiem transporta līdzekļiem ir viens no parametriem, kas svarīgs veidojot situācijas attīstības prognozi. Tas kopumā raksturo satiksmes sistēmas dinamiku un mijiedarbību. Analizējot secīgi braucošu transporta līdzekļu laika intervālu izmaiņas, iespējams aprēķināt to savstarpējo novietojumu pēc laika sprīža. Tā kā laika intervāli starp satiksmes dalībniekiem nav vienādi un konstanti, tad no sistēmas analīzes viedokļa ir interesanti zināt to sadalījuma blīvuma funkciju. Jāņem vērā, ka sadalījuma blīvuma funkcijas skaitliskās vērtības tieši atspoguļo satiksmes drošībai svarīgu parametru – vai dalībnieki ievēro distanci.

Laika intervālu interpretāciju izdala 4 gadījumiem (3.att.) – brīvai plūsmai, kad attālumi starp satiksmes dalībniekiem ir lieli; daļēji saistītai plūsmai, kad ātruma izmaiņas vienam dalībniekam tikai pēc kāda laika iespaido citu; saistītai plūsmai, kad transporta līdzekļi brauc cieši viens aiz otra, un apdzīšanas manevram.



3.att. Laika intervālu vizuāls attēlojums dažādiem gadījumiem un apdzīšanas manevram

Ņemot vērā faktu, ka visi prognozēšanas algoritmi ir diskreti laikā un to prognozēm ir “derīguma termiņš”, tad, aprakstot laika intervāla sadalījuma blīvumu, jāņem vērā korektīvais parametrs ar gadījuma raksturu. Tas iespaido prognozēšanas modeļus, kuri tādējādi spēj korekti aprakstīt saistītās plūsmas, taču neadekvāti attēlo daļēji saistīto un brīvo plūsmu. Tas novērojams salīdzinot reālu mērījumu datus ar teorētiskajiem.

Pie novērojuma, ka plūsmas skaitliskajām vērtībām ievērojami mainoties, to sadalījuma funkcija mainās nedaudz, visbiežāk izmantotie varbūtību modeļi nedod kvalitatīvu rezultātu. Eksperimentāli ir noteikts, ka intervālu sadalījums ir atkarīgs ne tikai no plūsmas, bet arī no meteoroloģiskajiem apstākļiem un plūsmu veidojošo transporta līdzekļu formāta. Tas ir – kravas auto un autobusu ietekme uz sadalījuma funkciju izpaužas kā intervālu palielināšanās pie šķietami vienāda kustības ātruma.

No laika intervālu sadalījuma blīvuma funkcijām var atvasināt modeli, kas apraksta divu vienā virzienā kustošu plūsmu sakļaušanās vai šķērsošanās nosacījumus. Lai arī divu plūsmu laika intervālu sadalījuma blīvuma funkcijas tieši un viennozīmīgi neļauj noteikt manevra kvalitāti, tās ļauj izteikt varbūtības, ka laika intervāli starp secīgi braucošiem transporta līdzekļiem ir pietiekami, lai starp tiem netraucēti ievietotos vēl viens transporta līdzeklis.

Sakļaujoties vai krustojoties divām daļēji saistītām plūsmām, iegūst divas situācijas. Transporta līdzekļiem ieņemot vienu joslu iegūst daļēji saistītu plūsmu ar minimāli pieļaujamajām laika intervālu vērtībām, vai arī iegūst saistītu plūsmu, kas savukārt no ITS viedokļa ir saistoša situācija, plūsmas rezultējošie parametri var prasīt iejaukšanos. Piemēram, laika intervāli starp transporta līdzekļiem kļūst pārāk mazi un satiksmes drošības saglabāšanai nepieciešams koriģēt kustības ātrumu.

Korekcijai jāņem vērā plūsmas ātrums un laika intervāls, kas nepieciešams, lai plūsmu sakļaušanās vai krustošanās būtu iespējama. Tātad intervāliem pirms manevra vietas jābūt tik lieliem, lai pēc manevra tie atbilstu vismaz minimālajiem pieļaujamajiem saistītās plūsmas intervāliem, tas ir 1 – 1,5 sekundes. Var izveidot likumsakarību starp transporta līdzekļu kustības ātrumu, transporta līdzekļa garumu, nepieciešamo laika intervālu.

Izejot no drošas distances apsvēruma laika intervāls starp secīgi braucošiem transporta līdzekļiem tikai īsiem transporta līdzekļiem atbilst saistītai plūsmai. Pie tam, lieliem ātrumiem šie laika intervāli ir ievērojami mazāki kā noteiktais minimums. Savukārt gariem transporta līdzekļiem

šie intervāli ir neloģiski lieli, jo faktiskais bremzēšanas ceļš dažāda izmēra transporta līdzekļiem atšķiras nedaudz.

Faktiski spēj pastāvēt arī situācija, kad jāsakļauj divas saistītas plūsmas ar mazām laika intervālu vērtībām un tādā gadījumā ir lietderīgi noteikt varbūtību, ka divas dažādas plūsmas ar tuvu līdzīgām laika intervālu sadalījuma blīvuma funkcijām, bet dažādām entropijas vērtībām, būs ar tādu nobīdes intervālu, ka transporta līdzekļiem ir iespējams ieņemt vienu un to pašu joslu, veidojot plūsmu jau ar savādāku laika blīvuma funkciju.

Vairākjoslu ceļiem, kur joslas ir 3 vai vairāk, apskatot mijiedarbības, jāņem vērā laika intervālu sadalījuma blīvuma funkcija arī nākamajai joslai aiz blakus esošās. Tas nepieciešams, jo pārkārtošanās uz vidējo joslu iespējama gan no labās, gan kreisās puses. Apdzīšanas modelis arī neder tiešā veidā, jo bieži secīgi vienā joslā braucoši transporta līdzekļi veic manevru, kas ir iebraukšana blakus joslā, taču atgriešanās manevrs neseko. Rezultātā, veicot statistiskus mērījumus, iegūst, ka laika intervālu sadalījuma funkcijas blakus esošiem segmentiem pie īsa mērīšanas laika ir ļoti atšķirīgas. Tādējādi jāsecina, ka daudzjoslu ceļus apkalpojošām ITS šādas laika intervālu sadalījuma blīvuma funkcijas der vien ilgtermiņa vispārējo tendenču novērtēšanai, un nav izmantojamas operatīvām darbībām reālā laikā.

Iepriekš apskatītie ITS elementu matemātiskie modeļi vairāk attiecināmi uz ceļa posmiem, kas nesatur krustojumus, ja citu ceļu piekļaušanos neuzskatām par tādiem. Laika intervālu sadalījuma blīvuma funkcijas, kas apraksta plūsmu joslā krustojuma tuvumā, mainās. Faktiskās nolases uzrāda sadalījuma blīvēšanos mazo laika intervālu galā, kas dabā izpaužas kā transporta līdzekļu ātruma samazināšanās. Tiesa, novērojumi rāda, ka šis motīvs ir izteikts vienādas nozīmes ceļu krustojumā, savukārt ja kāds no ceļiem noteikts kā galvenais, tad šī blīvēšanās raksturīga ceļa posmam ar mazāku prioritāti. Tajā pat laikā, analizējot laika intervālu sadalījuma blīvumus, iespējams noteikt, ka pastāv laika intervāli, kuros dažādos virzienos braucošie transporta līdzekļi var šķērsot krustojumu nemainot kustības ātrumu.

Atkarībā no konfigurācijas, 2 vienādas nozīmes ceļu krustojumā var pastāvēt līdz 12 dažādu virzienu plūsmas, kas savstarpēji konkurē. Maksimālo plūsmu virzienu skaitu C_{Φ} nosaka pēc formulas

$$C_{\Phi} = i^2 - i, \quad (1)$$

kur i ir krustojumam piesaistīto virzienu skaits.

Attiecīgi, izejot tīri no laika intervālu sadalījuma blīvuma funkciju pielietojamības, modelis kļūst pārlieku komplicēts, jo jāanalizē ļoti liels plūsmu iespējamo mijiedarbību skaits un, veicot prognozi, tās precizitāte iznāk nepietiekama. Pie tam, laika intervālus nosakot, mērīšanu veic punktā, kurā nenosaka transporta līdzekļa piederību kādai no plūsmām. Izejot no uzkrātiem statistikas datiem, iespējams noteikt varbūtību, ka krustojumā iebraucošais transporta līdzeklis piederēs kādai no izejošajām plūsmām, taču noteikt, kurai, nav iespējams. Attiecīgi laika intervālu sadalījuma blīvuma metode krustojumu aprakstam neder. Vismaz tiešā veidā nē.

No 2. nodaļas ITS realizējošo matemātisko modeļu apskata var izdarīt virkni **secinājumu**, kurus jāievēro veidojot jaunu reālā laikā darboties spējīgu satiksmes vadības sistēmu.

- Ir zināmi daudzi satiksmes situāciju novērtēšanas matemātiskie apraksti, kas ar statistiskām metodēm apraksta dinamisku satiksmes plūsmas procesu, balstoties uz punktveida nolāsēm. Šāda pieeja ļauj noteikt plūsmas raksturu kopumā, bet zaudē katra satiksmes dalībnieka individualizētos kustības parametrus. Matemātiskais apraksts ir sarežģīts, to var realizēt tikai ar lielu procesora darbību ciklu skaitu, pie tam matemātiskais modelis satur nenoteiktības – trokšņus.

- Kvalitatīvāki ir modeļi, kas balstīti uz laika intervālu pieeju, jo reģistrē katra satiksmi veidojošā indivīda tekošos kustības parametrus. Izmantojot laika intervālu aprakstu iespējams izveidot optimizācijas uzdevumu – kā sablīvēt satiksmes dalībniekus, lai to kustība augstas intensitātes apstākļos būtu ar maziem laika intervāliem.
- Svarīgi ir izprast un izmērīt likumsakarības starp laika intervāliem, kustības ātrumu un drošo distanci. Vadītāja reakcijas ātruma robeža jāreķina uz 1,1-1,3 s un izejot no tās jānovērtē droša distance un tās izmaiņas pie ātruma atšķirībām, pie tam distances izsmelšanas laiks nedrīkst būt mazāks par vadītāja reakcijas laiku.
- Laika intervālu paņēmieni satur sistēmas entropiju, līdz ar to jebkuras prognozes ir tikai ar nosacītu precizitāti. Paņēmienam pielietojamie sensori ir punktveida un par plūsmu veidojošo indivīdu parametriem „zina“ tikai mērīšanas vietā. Rezultātā šī metode nesniedz atbildi par notikumiem ārpus kontroles zonas. No satiksmes pārvaldības viedokļa būtu svarīgi zināt par notikumiem jebkurā braktuves punktā. Laika intervālu modeļu problēma ir arī fakts, ka tie patiesībā ir nevis viens nepārtraukts modelis, bet vairāku individuālu situāciju aprakstu kopa.
- Organizējot satiksmi krustojumos, jānodala signālu regulēšana gājējiem no signālu regulēšanas transporta līdzekļiem, jo sastrēgummomentos jādarbojas atbilstoši līdzsvara nosacījumiem, ka krustojumā neielaiž vairāk transporta līdzekļu, kā no tā spēj izbraukt. Līdzsvara nosacījuma izmantošana ļauj atlasīt un individuāli informēt katru satiksmes dalībnieku par aktivitāti nākošajā krustojumā.

3. nodaļa.

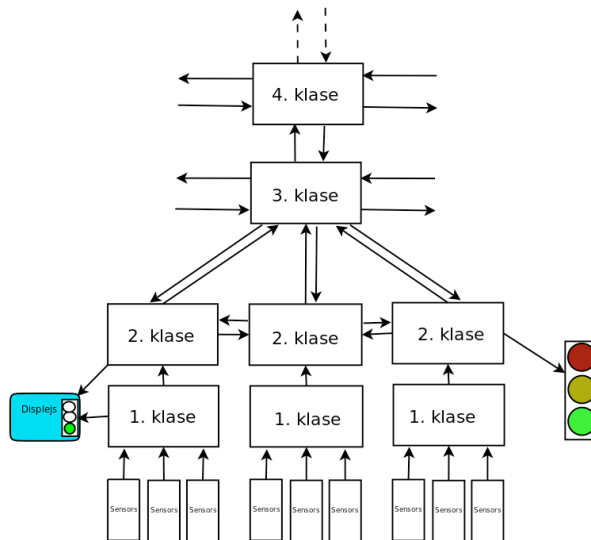
Augsta integrācijas līmeņa Intelīgentā Transporta Sistēma un tās izveidei nepieciešamie elementi

Darbā izklāstīts no šobrīd izplatītā nedaudz atšķirīgs realizācijas paņēmieni: ITS realizācijas princips ir tāds, ka satiksme uz brauktuves tiek interpretēta mazos cikliskos procesos, kur katru no tiem apraksta elementāri realizējams algoritms, kas veic kustības procesa uzturēšanai nepieciešamos aprēķinus par

- korektas atrašanās vietu ;
- kustības virzienu, ātrumu, paātrinājumu;
- kustības grafiku un iespējamo mijiedarbību ar citiem satiksmes dalībniekiem;
- satiksmes dalībnieku parametriem mezglos un dažādos ceļa posmos.

Visi aprēķinātie un mērījumos iegūtie parametri uzkrājas atbilstošajās datu bāzēs, kur filtrācijas procesos nošķir dienesta informāciju no statistiskās, kur pēdējo atgriež aprēķinu ciklā. Visi sistēmā iesaistītie elementi ir savienoti izmantojot datu pārraides tīklu, vienlaikus nodrošinot, ka vienu un to pašu informāciju ir jāsaņem caur vairākiem neatkarīgiem kanāliem, tādējādi izvairoties no kļūdām vai arī ļaunprātīgas iejaukšanās.

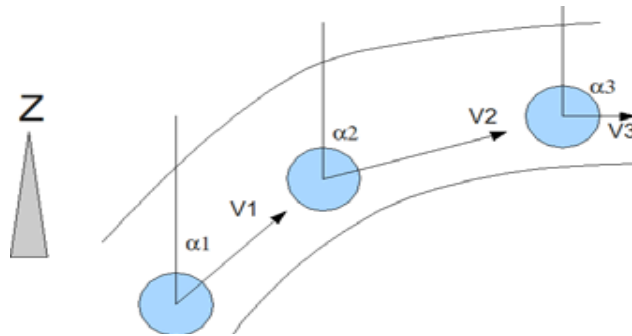
Lai liela mēroga ITS būtu pārvaldāma, nepieciešama strukturēta un loģiska shēma. Principā, katra no globālajām ITS sastāvdaļām pati par sevi arī ir autonomi darboties spējīga ITS. Lai būtu vieglāk saprotama sistēmas struktūra, ITS iedala vairākās klasēs (4.att.):



4. att. ITS sadalīšana klasēs

- Zemākās (pirmā) klases ITS ir tā grupa, kas iegūst datus no sensoriem, satur primitīvu zināšanu bāzi un tās funkcionālais rezultāts ir katra transporta līdzekļa kustības apraksts. Zemākās klases ITS veic tikai informācijas konsolidāciju, taču neizdara prognozēšanu.
- Otrās klases ITS ir pirmā, kas veido tīkla pamatu un tajā notiek bāzes parametru prognozēšana. Šīs klases ITS ir arī pirmā, kas jebkādu rezultātu izvada balstoties uz mažoritātes principu. Otrās klases ITS tāpat ir pirmā, kas informācijas ieguvei izmanto trīs neatkarīgus avotus – savas 1. klases atbalsta sistēmas rezultātu, datus, ko tā saņem no citas 2. klases sistēmas, datus no ceļu posmu pārvaldošās 3. klases sistēmas.
- 3. klases ITS ir konsolidējošā un kontrolējošā struktūra virs 2. klases sistēmām. 3. klases ITS neveic prognozēšanu, taču operē ar 2. klases ITS nosūtītajām prognozēm, kā arī koriģē savā pakļautībā esošās 2. klases sistēmas. 3. klases ITS faktiski veic visas satiksmes plūsmas regulēšanu, jo tikai šajā vietā ir pieejama pilnīgi visa informācija, kas nepieciešama plūsmas interpretācijai.
- 4. klases ITS ir kontroles sistēma 3. klasei un veic situācijas attīstības prognozēšanu divos virzienos - šīs klases sistēmas prognozē notikumu attīstību ilgākiem laika periodiem, kā arī kontrolē 3. klases sistēmu integritāti. 4. klases līmenī notiek sasaiste ar individuālajām maršrutēšanas ITS. Tādējādi uz 3. klases sistēmu iespējams nodot katra transporta līdzekļa potenciālo kustības grafiku un jau uz 2. klasi - nodot precīzus darbības uzstādījumus.

Lai interpretētu transporta līdzekļa parametrus satiksmē, nepieciešams tā matemātiskais apraksts. Tā kā pārvietošanās process ir nepārtraukts (ja uzskata, ka matērijas teleportācija ar laika periodu 0 nav iespējama), tad kustību apraksta ar vektoru, kura garums ir tieši proporcionāls ātrumam, savukārt vektora leņķis to piesaista koordinātu tīklam telpā (5.att).



5. att. Transporta līdzekļa interpretācija ar 1. versijas virziena vektoru un drošības zonas rādiusu

Tā kā katram transporta līdzeklim ir noteikti gabarīti, tad ap katru veidojas tā sauktā drošības zona – ārējā robeža, pēc kuras nosaka sadursmes (kontakta) iespējamību. Virziena vektora apraksta versijā 1 (5.att.) uzskata, ka laika posmā, kas mazāks par virziena vektora aprēķina laiku, transporta līdzeklis kustas taisnvirzienā. Lai arī solis ir ļoti mazs, pie lieliem kustības ātrumiem un līkumaina ceļa parādās koordinātu dreifēšana, kas izpaužas kā aizvien pieaugoša neatbilstība starp faktisko un aprēķināto koordināti. Eksperimentāli ir secināts, ka koordinātu dreifēšanai ir vienvirziena tendence (nobīde ir tikai vienā virzienā), izņemot gadījumus, ja transporta līdzeklis salīdzinoši nelielā ceļa posmā strauji paātrinās un pēc tam tik pat strauji bremzē.

Līdzīgi kā transporta līdzekli, arī brauktuvi apraksta ar virziena vektoru. Atšķirībā no transporta līdzekļa virziena vektora, kurš ir laikā mainīgs lielums, brauktuves virziena vektors ir nemainīgs, taču konceptuāli līdzīgs. Tas satur virzienu, kas saistīts ar vektora garumu, rādiusu un rotācijas virzienu (rotācija pa labi apzīmējas ar 0, rotācija pa kreisi - ar 1). ITS uzskata, ka visi ceļa posmi jāsadala tik smalkos gabalos, lai jebkuru no tiem varētu aprakstīt kā taisnu (sistēmā šādiem līkumiem rādiusa parametram vērtība ir -1), vai arī posmu no riņķa līnijas ar noteiktu rādiusu.

Vienkāršākajā variantā koordinātes aprēķina izejot no nosacījuma, ka visā prognozētajā periodā transporta līdzekļa kustības ātrums un virziens nemainās. Katru nākamo koordināti izsaka kā sistēmu:

$$\begin{cases} C_{NS+1} = C_{NS} + v \sin \alpha * dt \\ C_{EW+1} = C_{EW} + v \cos \alpha * dt \end{cases} \quad (2)$$

Tā kā virziena vektors ir divkomponentu un sastāv no ātruma un virziena leņķa, bet koordinātu sistēma ir ortogonāla, tad

$$\begin{cases} \vec{V}_{NS} = \vec{V} \cos \alpha \\ \vec{V}_{EW} = \vec{V} \sin \alpha \end{cases} \quad , \quad (3)$$

kur NS un EW ir ģeogrāfiskie virzieni.

Koordinātes prognozes C_{i+j}^P korektumu nosaka realizējot ciklisku aprēķinu dažādiem laika periodiem, izejot no faktiski konstatētās koordinātes C^F , kur izteiksmē ar dt apzīmēts īsākais laika periods, un tas ir 0,1 sekunde, un j ir laika periodu skaits:

$$C_{i+j}^P = \begin{cases} C_{NS_i}^F + j \vec{V}_{NS} dt \\ C_{EW_i}^F + j \vec{V}_{EW} dt \end{cases} \quad , \quad (4)$$

un to pēc tam salīdzinot ar faktiski konstatēto, iegūst Δ_C matricu

$$\Delta_C = \begin{vmatrix} C_{NS}^F - C_{NS}^P & & & & \\ & C_{EW}^F - C_{EW}^P & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Tā kā transporta līdzekļu izvietojums uz brauktuves veido matricu

$$\begin{vmatrix} C_{NS}^{F_TL1} & C_{NS}^{F_TL2} & C_{NS}^{F_TL3} & \dots & C_{NS}^{F_TLn} \\ C_{EW}^{F_TL1} & C_{EW}^{F_TL2} & C_{EW}^{F_TL3} & \dots & C_{EW}^{F_TLn} \end{vmatrix}, \quad (6)$$

tad veido pozīcijas atšķirības aprakstošo Δ_P^F matricu, kas idejiski ir identiska pozīciju prognožu matricai Δ_P^P :

$$\Delta_P^F = \begin{vmatrix} C_{NS}^{F_TL1} - C_{NS}^{F_TL2} & C_{NS}^{F_TL2} - C_{NS}^{F_TL3} & \dots & C_{NS}^{F_TL(n-1)} - C_{NS}^{F_TLn} \\ C_{EW}^{F_TL1} - C_{EW}^{F_TL2} & C_{EW}^{F_TL2} - C_{EW}^{F_TL3} & \dots & C_{EW}^{F_TL(n-1)} - C_{EW}^{F_TLn} \end{vmatrix}, \quad (7)$$

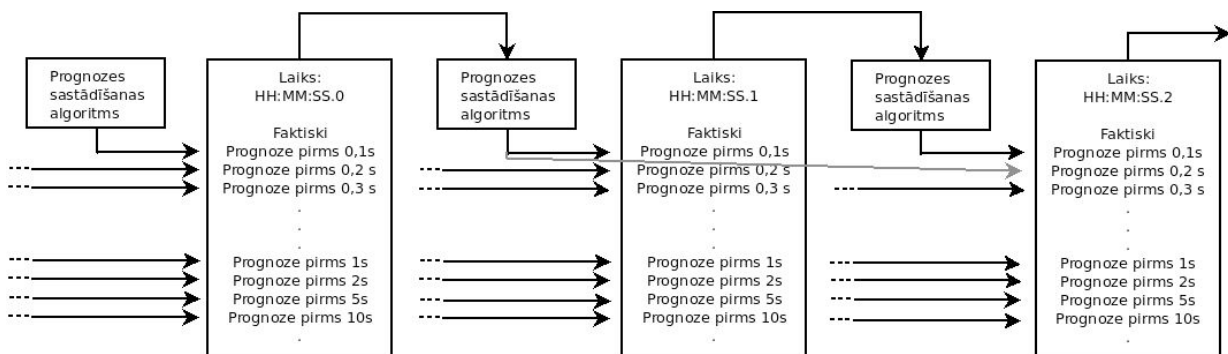
no kuras atlasa gadījumus, kad katrai kolonnai izpildas noteikums

$$\begin{aligned} \Delta_P^{NS} - \Delta_P^{EW} &\rightarrow R \\ \Delta_P^{NS} - \Delta_P^{EW} &\rightarrow 0 \end{aligned} \quad (8)$$

kur ar R ir apzīmēts drošības zonas radiuss, un šāda pozīcija nozīmē bīstamu satuvošanos. Ja kolonna tiecas uz 0, tas nozīmē sadursmes risku.

Vienkāršākais variants atbilst un ir korekts taisnam ceļa posmam, kad transporta līdzekļa ātrumu nemainīgu uztur automātiski. Ja pozīcijas prognozi veic pēc virziena vektora, kura izmaiņas ir koriģējamas, tad iespējams aprēķināt nākošās koordinātes arī likumainiem ceļa posmiem. Tas ir, pieņem, ka transporta līdzekļa virziena vektors sakrīt ar brauktuves virziena vektoru un kustības laikā transporta līdzekļa ātrums nemainīsies, vai arī būs vienāds ar drošu.

Katra koordinātu prognoze ir marķēta ar laika zīmogu (6. att) un ir iespējams savākt statistiku, kāds ir bijis virziena vektors katrā konkrētajā koordinātē, tad iespējams izteikt varbūtību ķēdi, kura atbild uz jautājumu, kurā vietā atradīsies transporta līdzeklis, ja tas sekos visvarbūtīgākajai kustības trajektorijai:



6. att. Prognožu tabulas laika momentiem

Praktiski pārbaudot šo pieeju, konstatēts, ka reāla kustības trajektorija ir ļoti tuva ideālajai, taču nedaudz svārstās ap to. Pie tam ar šādu prognozēšanas paņēmienu iegūst, ka prognoze ceļa posmiem ar mainīgu ātrumu arī ir pietiekami precīza, lai noteiktu kaut vai tādu faktu – transporta

līdzeklis prognozētajā laika momentā būs pirms vai aiz krustojuma. Iespējamās vairākas prognozēšanas un reakcijas versijas:

Nultajā versijā, uzskatot vektora V nemainīgumu, neveic dinamiskās korekcijas, t.i., uzskata, ka vektora V izmaiņas viena aprēķinu cikla laikā ir tik niecīgas, ka tās var neņemt vērā un to ieviestā kļūda anihilējas nākošajā sistēmas sinhronizācijas punktā.

Pirmās versijas aprēķinu mehānisms jāpielieto gadījumos, kad transporta līdzeklis strauji paātrinās vai bremzē. Idejiski, pirmās versijas algoritms ir pielietojams nultās versijas vietā, taču tas prasa lielāku skaitļošanas ciklu skaitu. Pirmās versijas algoritma realizāciju sistēmā iedarbina divu sensoru signāli. Viens signāls ir droseļvārsta stāvokļa strauja izmaiņa, otrs - pieskaršanās bremžu pedālim. Šo abu aprēķinu mehānismu versijas satur divas tālākās attīstītās versijas.

Otrā versija var tikt realizēta papildinot automobili ar pedāļu stāvokļa sensoru un bremžu spēka sensoru, t.i., transporta līdzeklī izveidota „zināšanu datu bāze“, kurā ir uzkrāta informācija, kāds ātrums un ātruma izmaiņas atbilst kādiem pedāļu, temperatūras, gaisa mitruma (lietus sensora) stāvokļiem. Informācija no šīs datu bāzes preventīvi precīzē ātruma vektora izmaiņas un tas rezultējas korektākā prognozē. Trešā versija praktiski ir tāda pati, tikai ieviesta papildus informācija par ieslēgto transmisijas pārnēsumu.

Ceturtnā versija, salīdzinot ar otro un trešo, satur vēl vienu „zināšanu datu bāzi“ centrālajā kustības kontroles resursdatorā, kurā ir fiksēta informācija katrai koordinātei par diennakts laika posmiem atbilstošo vidējo novēroto kustības ātrumu un intervālu starp transporta līdzekļiem pie noteiktiem meteoroloģiskajiem apstākļiem.

Piektās versijas modelī prognozēšanu tuvākajam laika posmam veic papildus izmantojot informāciju no priekšā braucošā transporta līdzekļa. Piektās versijas algoritmam ir apakšversija, kura paredz iespēju ņemt vērā vairāku (līdz 10) priekšā braucošo transporta līdzekļu atrašanās vietas prognozes un realizācijas faktu.

Sestās versijas algoritmā no augstākas klases ITS injicē datus par joslas aizņemību un luksoforu signālu plānoto signālu sekvenci. Uz šādas informācijas pamata nosaka, kāds ir vietas pieprasījums uz atbilstošo laika momentu un, ja tas ir nerealizējams, tad veic reverso plānošanu, nosakot, kādas ir pieejamas transporta līdzekļu koordinātes un kā ir jāizmaina kustība.

Septītās versijas algoritma realizācijai nepieciešama informācijas nolase no individuālā maršruta plānotāja, jo tas ļauj atlasīt koordinātu apgabalus, kuri ir “interesanti” prognozes sastādīšanai, taču tie ir lielāki, nekā apkalpo viena posma kontroles ITS.

Faktiski iespējams izveidot līdz desmitdaļsekunde precīzu kustības grafiku - komplektu, kas ietver laika momentu un tiem atbilstošās koordinātes, kuru pareizību pārbauda pēc iepriekšējo prognožu realizācijas. Attiecīgi iespējams iegūt satiksmes ekstrēmumu momentus, kad viens vai vairāki transporta līdzekļi kādam laika momentam izsludina bīstamības prognozi - ar aizņemtajām koordinātēm iekļaujot drošības apgabalu (kolīzijas risks). Šādus ekstrēmumus atlasa 4. klases ITS un gadījumā, ja prognožu realizācija apstiprina šo kolīzijas risku, tad iespējams iesaistīto transporta līdzekļu vadītājiem paspēt nosūtīt brīdinājumu par avārijas risku un ieteikt izmainīt braukšanas ātrumu, pie tam vienam iesakot to palielināt, bet otram - samazināt.

Lai novērstu konsekvētu nobrauktā attāluma kļūdas uzkrāšanos un parādīšanos, nepieciešams nepārtrauktas korekcijas paņēmieni. Pastāv parādība, ka nobraucot ar transporta līdzekli šķietami taisnu ceļa posmu, tā faktiski nobrauktais attālums atšķiras no attiecīgā posma ģeometriskā izmēra. Lai arī atšķirība parasti ir niecīga un svārstās 0,1 – 0,2% robežās uz 1 km, tad pie kustības ātruma sensora jūtības 0,5 metri, tas dod kļūdu 1-2m taisnam ceļa posmam un vairāk - līkumainam. Tā kā ceļa posmu garumi ir precīzi uzmerīti, un ātruma sensori ir impulsu ģeneratori, tad 1. klases sistēmas līmenī nepartraukti nosaka, kāds impulsu skaits atbilst noteiktam attālim un šim skaitlim nedaudz mainoties, to ņem vērā nākošajam mērījumu / aprēķinu ciklam.

Satiksmes dalībnieku parvietošanos var raksturot kā salīdzinoši haotisku un tamdēļ grūti vadāmu. Lai padarītu vadību vieglāku, nepieciešams veikt darbību, ko sauc par plūsmas normalizāciju. Ar plūsmas normalizāciju saprot darbību, kuras uzdevums ir sagrupēt satiksmes

dalībniekus ar līdzīgiem kustības parametriem un izkārtot tos atbilstoši saistītas plūsmas nosacījumiem ar minimālu laika intervālu. Plūsmas normalizācijas darbība rada divus gadījumus:

- satiksmes dalībnieku sablīvēšana rada augstāku plūsmu laika periodā;
- sablīvētu satiksmes dalībnieku plūsma rada brīvus laika intervālus, kurus var izmantot šķērsplūsmu organizēšanai.

Savādāks ITS uzdevums ir transporta līdzekļu ķēdēšana, kas ir plūsmas normalizācijas algoritms. Satiksmes dalībniekiem ir raksturīgas atšķirības komforta ātrumā, un tas ir iemesls apdzīšanas un apsteigšanas manevram. Tehniski katrs satiksmes dalībnieks spēj informēt ITS par savu komforta ātrumu, kas kalpo kā vienojošais elements ķēdēšanas algoritmam. Tas ir, uz daudzjoslu ceļa ITS atlasa netālu esošus transporta līdzekļus, kuriem ir definēts tuvu vienāds komforta ātrums. Ja transporta līdzeklim ir zināms galamērķis, tad iespējams atlasīt tādus transporta līdzekļus, kuriem kādā ceļa posmā ir kopīgs maršruts. Pēc šīs atlasīšanas veic kontroli saskaņojot komforta ātrumus un vienā joslā kārtā piederīgos transporta līdzekļus. Rezultātā izveidojas ķēde ar satiksmes dalībniekiem, kuriem ir kopējas intereses pret ITS – vienots maršruts un ātrums. Tā kā visiem maršrutiem galamērķis nav vienots (kopīga ir tikai tā daļa), tad iespējams optimizēt satiksmes dalībnieku izvietojumu tā, ka ķēdes pirmais dalībnieks ir ar vistālāko un pēdējais ar vistuvāko galapunktu. Šāda pieeja minimizē nepieciešamību koriģēt ķēdes kopējo kustības ātrumu gadījumā, kad kādam no tās elementiem ir beidzies kopējais maršruts.

Plūsmas normalizācija izmaina laika intervālu sadalījumu, kad tie no izplatītajiem 3 un 4 sekunžu apgabaliem pārvietojas uz 1 sekundes apgabalu. Dabā tas izpaužas kā kustība, kad attālumi starp automobiļiem ir drošas distances ietvaros.

Normalizācijas darbības rezultātā visi satiksmes dalībnieki šķērsro novērošanas punktu īsākā laika periodā, līdz ar to plūsmas izteiksme

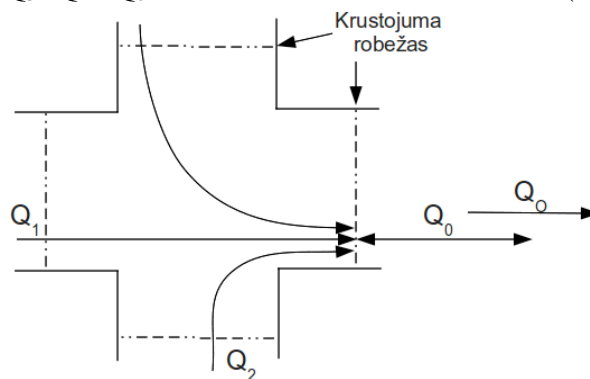
$$\Phi = \int_{t_0}^{t_1} N dt \quad (9)$$

normalizācijas gadījumā, kam pakļaujas satiksmes dalībnieku skaits N_{norm} iegūst formu

$$\Phi = \int_{t_0}^{t_1} N_{norm} dt = \int_{t_0}^{t_2} N dt; t_2 > t_1. \quad (10)$$

Izejot no plūsmas normalizācijas noteikumiem izveidots prototips krustojumu (att.7) vadībai, kurā sistēma kontrolē, lai ir ievēroti līdzsvara nosacījumi, kad krustojumā ielaiž tikai tik daudz satiksmes dalībniekus ($Q_1 = \Phi_1 dt_1$, $Q_2 = \Phi_2 dt_2$, $Q_3 = \Phi_3 dt_2$), cik spēj no tā izbraukt ņemot vērā eksistē posmu atbrīvojošā plūsma Φ_0 , kas laika posmā dt rada vietu satiksmes dalībniekiem Q_Φ un posma paša ietilpība Q_0 . Šajā gadījumā Q_1 ir taisni braucošie un Q_2, Q_3 , kas izgriežas no šķērsielas:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_\Phi + Q_0 \quad (11)$$



7. att. Krustojuma shēma

Dalībnieku skaits N , kas šķērso krustojumu laika periodā T_{sig} pie dažādiem kustības ātrumiem v ir nosakāms pēc izteiksmes

$$N = \frac{T_{sig}}{\frac{L_{TL}}{v} + t_i} \quad (12)$$

Informācijas aprītei starp sistēmām nepieciešams izmantot specializētus datu apmaiņas protokolus, kas noteikta formātā ietver koordinātu un prognožu tabulas. Pie šādiem protokoliem pieder V2V un VCP, kas OSI līmenī atrodas virs TCP/IP protokola. tas ir, TCP/IP izmantojams kā datu maršrutēšanas un kanāla kontroles protokols, kamēr V2V un VCP kodē lietderīgo informāciju.

Vienlaikus jāreķinās, ka ITS ģenerē milzīgus informācijas apjomus, līdz ar to aktuāls ir tās derīguma termiņš zemākās klases sistēmās. Tas ir, sistēmās eksistē tikai operatīvā informācija un statistikai nepieciešamā ir janošķir un jāpārceļ uz atbilstošo 4. klases sistēmu pirms to dzēš. Ja sistēmā glabā pilnīgu un interpretējamu procesa žurnālu pēdējām 5 minūtēm, tad katram satiksmes dalībniekam tas sastāda 720,98MB. Darbojoties ar šādiem informācijas apjomiem jāņem vērā arī dažādu informācijas krātuvju darbības atrums, izejot no apsveruma, cik ievades – izvades (IO) operācijas tās spēj veikt, jo ja automobīlim gandrīz jebkura moderna datu uzkrāšanas vienība spec nodrošināt vajadzīgo ātrdarbību, tad vadības centru sistēmās IO darbību skaits sekunde var pārsniegt miljonu darbību un tas izvirza prasības pēc specifiskas aparatūras.

ITS saskaņotai darbībai nepieciešama laika sinhronizācija. Tā kā laika signālu nav iespējams, un nav arī nepieciešams saņemt katrā ciklā, tad visi autonomie un pusautonomie mezgli satur pietiekami precīzu pulksteni, kas dod sistēmas laiku starp sinhronizācijas momentiem. Minimālais ITS cikls ir 0,1 sekunde, līdz ar to visiem pulksteņiem šī ir mazākā lietojamā iedaļa, savukārt precizitāte vēlams ne sliktāka kā cikla laiks dalīts ar π . ITS vajadzībām precīzais pulkstenlaiks ir pieejams caur globālo pareizā laika tīklu, kuru atbalsta etalona atompulksteņi. Tā kā ITS ir daļēji centralizēta, tad pulkstenlaiku iespējams sinhronizēt caur centralizētās pārvaldības tīklu izmantojot NTP protokolu, kur sākotnēji sinhronizējas centrālais mezgls, kurš iniciē secīgu laika sinhronizāciju ar apakšstrukturām līdz segmenta controlleriem, kuri savukārt ir pareiza laika avoti transporta līdzekļiem.

Konstruējot modernu ITS, nepieciešams izveidot uzticamu un stabilu sākotnējās informācijas avotu infrastruktūru. Sistēma principiāli balstās uz tehnoloģijas, ka noteiktās vietās brauktuvē ir ievietoti īpaši marķieri RFID – Radio Frekvences Identifikators. Šādu identifikatoru-marķieri, iespējams apgādāt ar pietiekamu atmiņas daudzumu, kas nepieciešams tā atrašanās vietas koordinātu ierakstam. Tā kā ITS veido ar piesaisti globālajam koordinātu tīklam, jeb precīzāk sakot, transporta struktūras piesaistās globālajam koordinātu tīklam, tad tā mezglu punktus uzstādot RFID shēmas, formējas ITS atskaites punktu kopums.

ITS var pievienot, un tas ir pietiekami, tikai piecus stacionāros sensorus:

- sensors ir induktīvā cilpa, kuru iestrādā brauktuvē un no tās iespējams nolasīt informāciju par transporta līdzekļa klātbūtnes faktu, tā kustības ātrumu un svaru. Induktīvā cilpa neidentificē transporta līdzekli pēc tā individuālajam pazīmēm.
- sensors ir radars, kurš novietots tiešā brauktuves tuvumā un tā stars attiecībā pret brauktuvi novietots tā, lai izkliede būtu pēc iespējas maza. Radars sniedz informāciju par klātbūtnes faktu un kustības ātrumu, taču neidentificē individuālās pazīmes.
- sensors ir RFID marķiera nolasītājs, kas fiksē klātbūtnes faktu, spēj identificēt transporta līdzekli pēc tā individuālajiem parametriem, taču nenosaka tā kustības ātrumu.
- sensors ir optiskais uztvērējs, kas fiksē klātbūtnes faktu, pielietojot īpašus paņēmienus spēj noteikt transporta līdzekļa kustības ātrumu, izmantojot attēla atpazīšanas tehnoloģiju spēj detektēt atsevišķus transporta līdzekli raksturojošus parametrus.
- sensors ir komunikāciju punkts, kas spēj noteikt transporta līdzekļa klātbūtni noteiktā apgabalā, taču tas nespēj patstāvīgi un precīzi noteikt satiksmes dalībnieka koordinātes.

Lai transporta līdzeklis būtu pilnvērtīgs dalībnieks ITS kompleksa vidē, tam jāsaturs noteikts skaits konstruktīvo elementu. Katru transporta līdzekli aprīko ar sensoriem:

- Stūres rata stāvokļa devējs;
- Akseleratora pedāļa stāvokļa devējs;
- Bremžu pedāļa stāvokļa devējs;
- Bremžu sistēmas spiediena devējs;
- Riteņu leņķiskā ātruma sensori;
- Kustības ātruma kopējais sensors transmisijā;
- GPS signālu uztvērējs;
- Sensors attāluma kontrolei līdz priekšā un aizmugurē braucošam transporta līdzeklim;
- Riepu spiediena sensori;
- Līmeņa sensors;
- Transmisijas pārnesuma pozīcijas devējs;
- RFID marķieru nolasīšanas iekārta;
- Tahometrs;
- Kompas;
- Transporta līdzekļa masas (svara) sensori;
- Bremžu temperatūras sensori;
- Akselerometri;
- Degvielas patēriņa mērītājs.

Katram sensoram ir savs atbilstošais kontrollers, kas pievienots kopējai sistēmai caur piemērotu datu pārraides tīklu (CAN – controller area network). Kontrolleru tīkla galvenā ierīce (master) ir datu ieguves mezgls. Datu ieguves mezgls ir mikrodators, kuram bez kontrolleru tīkla starpsejas (interface) ir arī savienojums ar datu analīzes un komunikāciju moduli. Atkarībā no mikrodatora veikspējas, tas var pildīt ne tikai datu ieguves, bet arī informācijas analīzes mezgla funkcijas.

Datu ieguves mezgla uzdevums ir pārveidot sensoru mērījumus apstrādājamā informācijā. Katram sensoram vai grupai ir individuāls pārveidotājs, kas ar mezgla galveno iekārtu savienots izmantojot industriālo CAN.

Informācijas analīzes mezgls ir mobilās ITS “domājošā” daļa, kas atkarībā no saņemtajiem datiem un to salīdzināšanas rezultāta izdara secinājumus un pieņem lēmumu. Informācijas analīzes mezglā nonāk dati no ieguves mezgla.

Komunikāciju mezgla (8. att) uzdevums ir savienot dažādu klašu ITS tā, lai datu apmaiņa būtu pēc iespējas minimāla un vienlaikus pietiekama. Komunikāciju mezglam ir vismaz divi Ethernet porti, kuriem pievieno datu ieguves un informācijas analīzes mezgls. Tāpat tam ir vismaz divi CDMA/CA tipa bezvadu tīkla savienojumi – viens saziņai starp transporta līdzekļiem, izmantojot V2V protokolu un viens saziņai ar stacionārajām ITS. Citi porti pieejami paplašinātai funkcionalitātei vai datu apmaiņas kanālu rezervēšanai.



8. att. Komunikāciju moduļa prototips

Ja savienojums starp datu ieguves un analīzes mezgliem ir primitīvs un komentārus neprasa, tad starp ITS savienojums ir komplicēts. Komunikāciju mezgla uzdevums ir nodrošināt izsūtāmās informācijas sagatavošanu kriptētā formātā, iekļaujot precīzu saņēmēja adresāciju, kā arī atšifrēt un filtrēt saņemtās datu paketes.

Vadība pa vadiem (Drive-by-Wire) tehnoloģijai integrācija ar ITS ir nepieciešama viena iemesla dēļ. ITS reakcijas laiks ir apmēram trīs reizes īsāks kā trenētam cilvēkam. Ja transporta līdzeklī nepastāv mehāniskas saites starp vadības ierīcēm un izpildsistēmu, tad, atkarībā no informācijas analīzes mezgla rezultātiem, iespējams koriģēt transporta līdzekļa trajektoriju vai kustības ātrumu. Faktiski, ja visi satiksmes dalībnieki ir savienojami kopējā tīklā, tad komplektā ar **Vadība pa vadiem** tehnoloģiju, iespējams realizēt pilnvērtīgu autopilota funkcionalitāti, taču ņemot vērā lietotāju individuālās īpatnības, ITS ir lietderīga vienīgi avārijas situāciju novēršanai.

Jebkurš stacionārais mezgls informāciju saņem no trīs kanāliem. Tie ir paša stacionārā mezgla sensori, satiksmes dalībnieku nosūtītā informācija un no augstākas klases ITS nosūtītie dati. Stacionāro mezglu uzdevums ir tikai fakta konstatācija, ka transporta līdzeklis atrodas pie ārējā sensora. Informācijas uztvērēja kontrolējamā jēga šajā gadījumā ir asociēt, jeb veidot saikni starp saņemtajiem datiem.

Izmantojot aprakstītos elementus būvē atsevišķus, taču viegli integrejamus moduļus – luksofora sekcijas, ceļa posmu kontrolierus, neregulejamu krustojumu vadības sistēmu u.t.t. No ITS viedokļa raugoties, par luksofora sekciju uzskatāma ne tikai ar gaismas signāliem norobežota un regulēta brauktuves daļa. Pie luksofora sekcijas jāpieskaita arī brauktuves posms pirms gaismas signāla un arī pēc tā. Luksofors ir atslēgas elements satiksmes organizācijā un pareiza gaismu laika diagramma ir ārkārtīgi svarīga.

ITS elementi – virziena vektors un prognozēšana ļauj izskaitļot, cik transporta līdzekļu vēlēšies šķērsot krustojumu pēc laika perioda. Tehnoloģiski katrs transporta līdzeklis saņem no ITS informāciju par nākamo luksoforu. Tā kā eksistē piesaiste koordinātu tīklam, katrs transporta līdzeklis spēj nosūtīt nākošajam luksoforam informāciju par mērķi šķērsot tā norobežojošo līniju, kā arī laiku, pēc kura tas notiks, ja nemainīsies prognozētais kustības ātrums. Ņemot vērā prognozi par kustības ātruma izmaiņām, ITS aprēķina, cik transporta līdzeklim būtu jāšķērsos krustojums. No pieprasījumu skaita ITS var izdarīt operatīvu izvēli, ilgāku zaļās gaismas ciklu dodot virzienam ar lielāku pienākošo plūsmu.

Izmantojot sensoru sniegto informāciju iespējams uz mērījumu pamata aplēst, kāds ir bremzēšanas ceļš pie konkrētā ātruma. Izejot no šīs aplēses bortsistēmai vienmēr ir pieejama informācija par drošu distanci, jo salīdzinot divu satiksmes dalībnieku bremzēšanas ceļus, ņemot vērā reakcijas laiku, un drošības rezervi izsaka ieturamo distanci.

ITS sinhronizācija ir nepieciešams elements, kuru realizē vairākas paralēlās informācijas plūsmas. Informācijas plūsmu avoti un virzieni ir atšķirīgi, lai nodrošinātu rezervēšanu un integritātes kontroli. Sinhronizācijas kanālus veido:

- RFID sensoru koordinātu tīkls, kas ir fiksēts un neatkarīgs informācijas avots. Transporta līdzeklis nolasot RFID shēmas informāciju viennozīmīgi fiksē savu pozīciju.
- Globālā Pozicionēšanas Sistēma. Ar globālās pozicionēšanas sistēmu saprot jebkuru no trim eksistējošām sistēmām GPS (ASV), GALILEO (ES) vai GLONASS (Krievija), kas ir nodrošina transporta līdzekļa novietojuma, kustības virziena kontroles un sinhronizācijas lietojumam. GPS ir neatkarīgs informācijas avots.
- Pozīcijas prognozes salīdzinātājs. Kustības laikā transporta līdzeklis aprēķina savu koordināti izejot no kustības ātruma un virziena. Sākotnēji novietojums sinhronizējas pēc RFID shēmas un kalpo kā atskaites koordināte nākošajam segmentam. Aprēķinot un izmērot koordinātu izmaiņas, tās salīdzina ar izmaiņām GPS sniegtajā informācijā un pareizu sinhronizāciju apliecina izmaiņu tuva līdzība. Pretējā gadījumā sistēma uzskatāma par nesinhronizētu līdz nākamajai RFID nolasei.
- Laika sinhronizators. Lai visi sistēmas elementi spētu darboties saskaņoti, tiem jālieto vienots laika signāls. Ja piesaiste koordinātu tīklam veidojas no trīs dažādu un neatkarīgu informācijas avotu kopas, tad laika sinhronizāciju nodrošina ar uzspiešanas principu, kad no visas ITS pārvaldītāja centralizēti tiek noteikts pareizs pulksteņlaiks.
- Datu apmaiņas pakešu laika zīmogi, pielietojami tīkla integritātes novērtējumam. Prognozēšanas mehānisms, kā aprakstīts iepriekš, balstās uz koordinātu aprēķinu katram satiksmes dalībniekam uz laika momentu. Lai ITS pārvaldošie elementi zinātu, kad ir izdarīta satiksmes dalībnieka pozīciju prognoze un kāds ir tās derīguma termiņš, tad datu struktūra satur laika zīmogu. Laika zīmogs ir vienlaicīgi transporta līdzekļu koordinātu datu bāzes sinhronizējošais elements jo datu atlasē ir korektas tikai no ierakstiem ar vienādu laika zīmogu.
- Klātbūtnes sensori, kas ir autonomas struktūras, kas izmantojot bezvadu datu pārraides tīklu, nosaka satiksmes dalībnieka piederību konkrētam segmentam.

Informācijas apjoms, ko apstrādā ITS, ir tieši proporcionāls satiksmes dalībnieku skaitam, līdz ar to ņemot vērā ierobežojumus, kas rodas ierobežotās skaitļošanas jaudas dēļ, visa transporta infrastruktūra jāsadala noteiktos apgabalos – šūnās. Šūnas kontrolleri veido skaitļošanas sistēma ar vienu vai vairākiem centrālajiem procesoriem, kuriem katram ir viens vai vairāki kodoli. Satiksmes koordinācijas šūna var ietvert sevī jebkuras konfigurācijas ceļa posmus, kamēr vien tie atrodas vienā līmenī. Tas nepieciešams, lai novērstu konfliktus loģikā, kad tehniski iespējama situācija, kad diviem dažādiem transporta līdzekļiem ir identiskas faktiskās atrašanās vietas koordinātes (ceļu savstarpējs šķērsojums ar viaduktu). Ja nenodalītu līmeņus, tad no ITS viedokļa šāda situācija ir pielīdzināma kolīzijai, kura faktiski nepastāv. Satiksmes koordinācijas šūna ir 3. klases ITS. Tās apakšstruktūras 2. klasē ir luksoforu vadības sistēma un transporta līdzekļa kustības kontroles ITS. 1. klasē ir fiksētie sensori brauktuvē vai tiešā tuvumā.

Informācijas aprīte ITS notiek pa savstarpēji neatkarīgiem informācijas kanāliem, kuru saturu salīdzinot, iespējams noteikt kļūdu kādā no elementiem. ITS darbības laikā pareizas informācijas aprīte ir ļoti svarīga, pie tam darbības režīmam neder princips: “Pārbaudi un kļūdas gadījumā pārbaudi vēlreiz”. Līdz ar to nepieciešama vide, kurā bez kļūdas atklāšanas eksistē arī alternatīvs korektas informācijas avots. Paralēlo kontroles kanālu uzdevums ir ne tikai nodrošināt korektas informācijas piegādi, bet arī nodrošināt nepārtrauktas diagnostikas funkciju, tas ir, kontrolēt, kura ITS elementa darbības parametri atšķiras no pieļaujamajiem.

Normāli funkcionēspējīgai ITS ir jāatbilst diviem savstarpēji konkurējošiem nosacījumiem: tai ir jābūt spējīgai pilnvērtīgi darboties autonomā režīmā, gadījumā, ja ir sakaru bojājumi vai arī kļūdainas informācijas plūsma kādā no kanāliem kļūst pārāk liela, un vienlaikus viennozīmīgi vadāmai no pārvaldības rīka. ITS savstarpējo koordināciju veic klašu līmenī, tas ir – vienu vai

vairākas 1. klases ITS darbību koordinē 2. klases sistēma (4.att.). Vairākas 2. klases sistēmas pārvalda 3. klases sistēma, savukārt noteiktu skaitu 3. klases sistēmu var pārvaldīt 4. klases sistēma. 4. klases līmenī mainās koordinācijas centru izvietojuma topoloģija.

4. nodaļa

Eksperimentālie rezultāti

Rezultāti iegūti izmantojot transporta līdzeklī uzstādītu skaitļošanas aparatūras kompleksu, kas satur augstas precizitātes nobraukuma sensoru, automobiļa riteņu leņķiskā ātruma sensorus, GPS signālu uztvērēju Magellan Explorist XL, kā arī pārveidotu specializēto nobraukuma, vidējā ātruma u.c. kustības parametru kontroles iekārtu Terratrip 202. Paralēlai rezultātu izvadei un reģistrēšanai uz klēpjatora realizēta bortsistēma ar specializētu programmatūru, kura reģistrē un attēlo sensoru datus.

Aparatūras komplekss veido klašu struktūrai atbilstošu sekvenci:

1. klase – transporta līdzekļa borta sensoru informācijas nolase, apstrāde un nosūtīšana;
2. klase – bortsistēma, kas izejot no saņemtajiem datiem veic prognozēšanu un informācijas apmaiņu;
3. klase – posma kontroles un komunikāciju mezgls;
4. klase – centralizētais kustības kontroles resursdators.

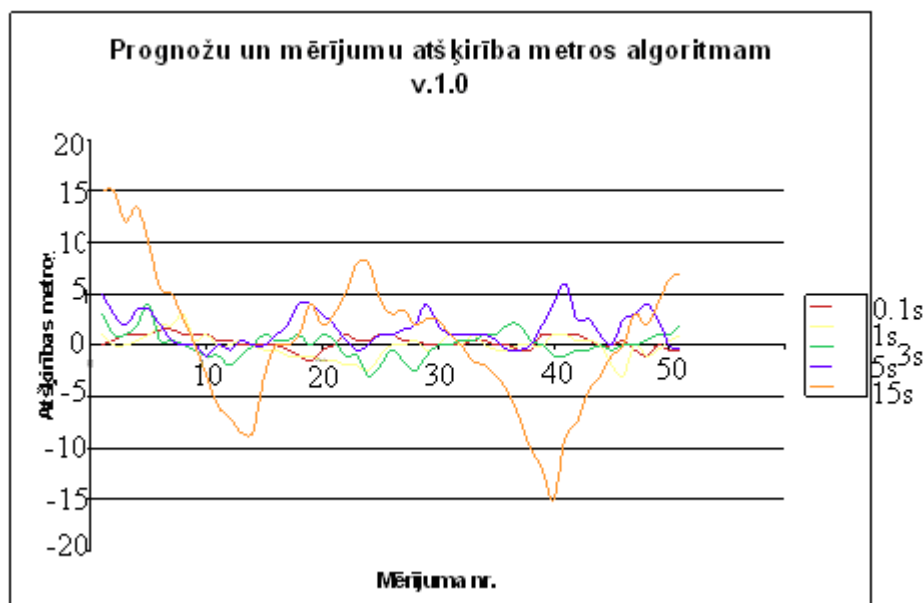
Centralizētas kustības kontroles resursdators, kurā veic datu apkopošanu un prognozēšanu, atrodas stacionārā pozīcijā. Tas savienots ar posma kontroles un komunikāciju mezglu, kas kalpo kā starpnieks starp transporta līdzekli un stacionārajām sistēmām.

Koordinātu prognozes korektuma un nobīdes eksperimentāla noteikšana

Laika periods, kuram veica prognozēšanu, ir mainīgs un relatīvi brīvi nosakāms. Eksperimentu laikā prognozes vērtības tika ņemtas no 0,1s līdz 1s ar 0,1s soli, 3s, 5s, 10s, 15s, 30s. Tā kā aprēķinus veic 0,1 sekundes laika ciklam, tad tika uzskatīts, ka šajā laika periodā vektora V lielums ir nemainīgs. Aprēķiniem faktiski ir pielietojamas pirmās 7 minētās prognozēšanas algoritmu versijas no astoņām iespējamām, bet veiktajos pētījumos izmantotas no tām tikai sešas – no nultās līdz piektajai.

Grafikā 9.att. attēlota atšķirība secīgu mērījumu un prognožu izlasē ar dažādiem prognozes laika intervāliem (laika intervāls no prognozēšanas momenta līdz atrašanās vietas fiksēšanai), ja izmanto pirmo aprēķinu algoritmu v1.0. Katram prognozes laika intervālam atlasīti 50 sarežģītākos gadījumus attēlojošie mērījumi. Par sarežģītāko gadījumu uzskatīta situācija, kad transporta līdzeklis pārvietojas ar strauji mainīgu ātrumu, tas paātrinās un pēc tam strauji bremsē.

Pārbaudot algoritmu, tiek izmantoti divi secīgi braucoši transporta līdzekļi, no kuriem priekšā braucošais darbojās ar trešās versijas algoritmu un sekojošais - ar piekto versiju. Abu transporta līdzekļu bortsistēmas ar piektās versijas algoritmu eksperimenta laikā darbināt nebija iespējams, jo tas paredz ieejošo informāciju no cita transporta līdzekļa, kura nav un vienlaikus nav vajadzības pēc šāda algoritma, jo pieņem, ka priekšā braucošajam transporta līdzeklim nav traucēkļi, kas liktu izmainīt kustības parametrus.



Att.9 . Attālumu atšķirības starp prognozēto koordināti un faktisko, veicot mērījumus pēc v.1.0 algoritma

No grafika (9.att.) var secināt, ka 1. versijas algoritms, pieaugot prognozes laikam, zaudē savu precizitāti, t.i., strauji mainoties kustības ātrumam, mērījumi pēc šī algoritma ar kavēšanos reaģē uz izmaiņām. Tā pie prognozes laika 10s atšķirības metros var pieaugt līdz 15m. Šādus grafikus iespējams uzņemt arī citām prognozēšanas algoritma versijām un tādā gadījumā novērojamas atšķirības ir mazākas arī pie algoritmam nelabvēlīgiem apstākļiem.

Tā kā transporta līdzekļi kustoties norāda savu virzienu, tad prognozēšanas sistēmas iekšienē rotē prognožu tabulas, kuru formāts ir parādīts zemāk dotajā tabulā (10.att.). Koordinātu prognozes tabulu veido izejot no sākumpunkta koordinātēm, un atkarībā no izmantotās algoritma versijas, var mainīties tās saturs. Dotajā gadījumā tabulā atspoguļo koordinātu prognozes 30 dažādiem laika momentiem. Prognozē izmantotais ātrums veidots no divām komponentēm – aktuālā kustības ātruma un vidējā ātruma proporcionālās izmaiņas, kas novērota braucienā laikā. Prognozē norādītais leņķis ALPHA mainās izejot no ceļa virziena datiem, kurus satiksmes dalībnieks saņem no posma kontroles sistēmas (kura šajā momentā aizstāj neesošos RFID marķierus). Korekcija abām koordinātu asīm veidota izejot no uzkrātās kļūdas, kas novērota salīdzinot faktisko koordināti ar iepriekš prognozēto. Korekcija faktiski ir divu veidu – viena veidojas jo automobilis ne vienmēr pārvietojas ar prognozēto ātrumu un otra – ja sastādītā prognoze norāda uz avārijas draudiem. Otrajā gadījumā aktivē “mērķa” algoritmu, kurš nosaka pieejamo drošo pozīciju un nepieciešamo kustības ātrumu.

Būtisks aspekts ir sistēmas integritāte gadījumos, kad starp pilnvērtīgiem dalībniekiem parādās kāda neaprikota vai ar bojātu bortsistēmu braucoša automašīna. Līdz ar to pastāv nosacījumi, kad sistēma spēj noteikt šāda dalībnieka klātbūtni. Eksperimentos piedalās maksimums četri automobiļi, no kuriem divi – Subaru Legacy un Mitsubishi Pajero aprīkoti ar mobilās ITS bortsistēmu, un diviem - Volkswagen Golf MkIII un Mercedes Actros 2541LL, ir ražotāja uzstādītais tipveida aprīkojums.

Proгноzes Periods	Z koordināte	A koordināte	Atrums	ALPHA	Solis Sek.	Korekcija Z (m)	Korekcija A (m)
TS = 16:00:04.0	350294,15	414002,86	90,1	339,79			
+0.1	350296,50	414002,00	90,2	339,79	0,1	0	0
+0.2	350298,85	414001,13	90,2	339,79	0,1	0	0
+0.3	350301,21	414000,27	90,3	339,79	0,1	0	0
+0.4	350303,56	413999,40	90,4	339,79	0,1	0	0
+0.5	350306,02	413998,53	90,5	339,79	0,1	0,1	0
+0.6	350308,38	413997,66	90,6	339,78	0,1	0	0
+0.7	350310,75	413996,79	90,7	339,77	0,1	0	0
+0.8	350313,11	413995,80	90,8	339,75	0,1	0	-0,12
+0.9	350315,48	413994,92	90,9	339,75	0,1	0	0
+1.0	350317,85	413994,05	91	339,73	0,1	0	0
+1.5	350330,23	413989,66	91	339,7	0,5	0,52	0
+2.0	350342,08	413985,28	91	339,7	0,5	0	0
+2.5	350353,93	413980,89	91	339,7	0,5	0	0
+3.0	350365,79	413976,50	91	339,67	0,5	0	0
+3.5	350377,64	413971,83	91	339,65	0,5	0	-0,28
+4.0	350389,48	413967,43	91	339,62	0,5	0	0
+4.5	350401,33	413963,02	91	339,6	0,5	0	0
+5.0	350413,41	413958,50	91	339,6	0,5	0,23	-0,11
+6.0	350437,09	413949,67	91	339,55	1	0	0
+7.0	350460,77	413940,82	91	339,5	1	0	0
+8.0	350484,76	413931,95	91	339,45	1	0,32	0
+9.0	350508,41	413922,82	91	339,35	1	0	-0,21
+10.0	350532,17	413913,87	91	339,25	1	0,12	0
+12	350579,04	413895,93	90,5	339,1	2	-0,1	0
+14	350625,53	413877,99	90	338,85	2	-0,14	0,1
+16	350671,87	413859,95	89,5	338,73	2	0	0
+18	350717,81	413841,98	89	338,68	2	-0,12	0
+20	350764,50	413823,83	90	338,6	2	0,14	0,1
+25	350877,49	413766,75	91	333,2	5	0,18	-0,1
+30	350986,43	413702,08	91	329,3	5	0,26	-0,14

10. att. Prognozēšanas datu tabula

Eksperimentāli parbaudīta „sveša“ transporta līdzekļa atklāšana, ja tas pārvietojas aprīkotam automobiļim pa priekšu, aizmugurē, atrodas starp diviem aprīkotiem automobiļiem. Eksperimentos tika kombinēts : divas neaprīkotas mašīnas ir priekšā un attiecīgi aiz aprīkota automobiļa; divi neaprīkoti satiksmes dalībnieki ir starp diviem aprīkotiem. Atkarībā no kombinācijas sistēma spēja noteikt „svešā“ satiksmes dalībnieka parametru kopu, kas ir pietiekama korektai interpretācijai.

Funkcionāli pārbaudīta struktūra, kuras uzdevums ir tīkla līmenī nodrošināt tikai autorizētu dalībnieku apkalpošanu, kā arī novērst kaitnieciskas darbības, kuru mērķis ir destabilizēt sistēmu. Struktūra sevī ietver autentifikācijas mehānismu, un saņemtās informācijas ticamības pārbaudi. Šajā gadījumā noteicošais ir uzskats, ka ir drošāk kļūdaini noraidīt derīgu informāciju, nekā akceptēt viltotu.

Klātbūtnes loģikas pārbaude demonstrē ITS komunikāciju mezgla darbību sensora formā. Eksperimentā piedalījās ar bortsistēmām aprīkoti automobiļi Subaru un Mitsubishi. Eksperimentu veica ceļa posmā, kuram nav izdalīta kontroles ITS. Darbībā pārbaudīja, kā divas vienas klases sistēmas automātiskā režīmā izveido sakaru kanālu un apmainās ar informāciju pirms tam, pēc bezvadu tīkla signāla līmeņa nosakot otra satiksmes dalībnieka klātbūtni.

Attēlā 11 parādīts signāla stipruma grafiks diviem transporta līdzekļiem tuvojoties un pabraucot garām. Šādu signāla līmeni uzrādīja mēraparatūra, kas uzstādīta automobilī Subaru.

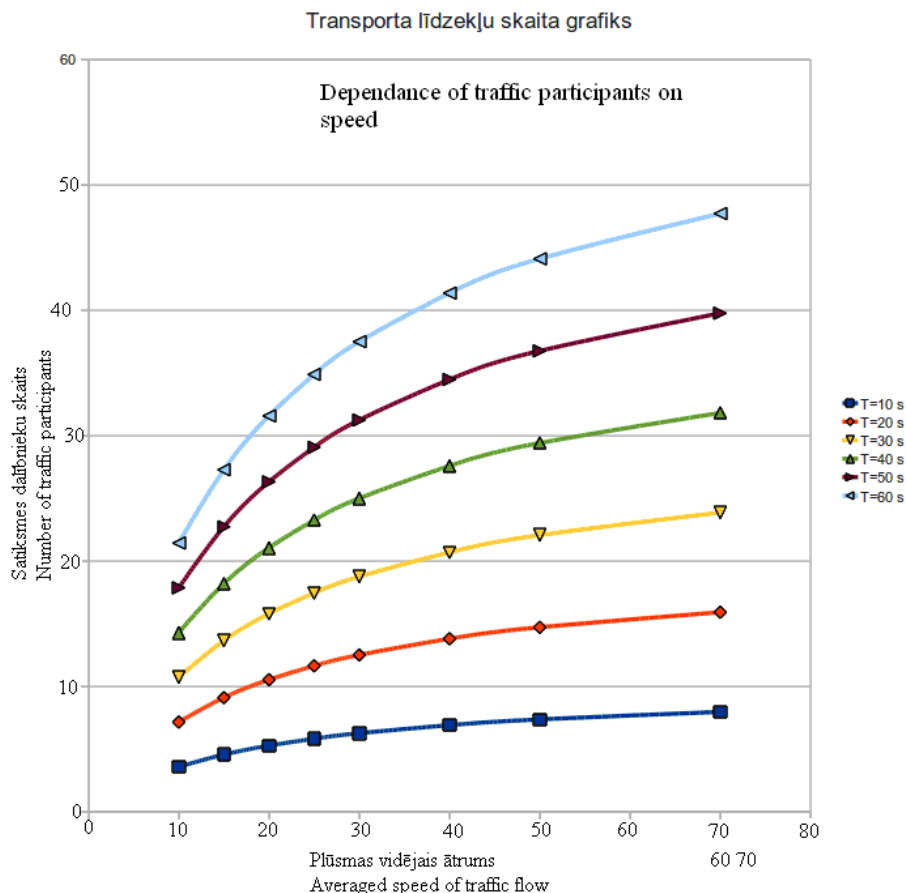


Att. 11. Signālu stipruma grafiks diviem transporta līdzekļiem pabraucot garām pretējā virzienā

Kustības laikā atkarībā no signāla stipruma izmaiņām sistēmas veica sakaru kanāla izveides operāciju un kolīdz tas bija izdevies, sāka apmainīties ar atrašanās vietas informāciju. No koordinātu informācijas bortsistēmas „zin“, kad automobiļi tuvojas viens otram un kad attālinās. Vienlaikus nozīmīga ir arī informācija no satiksmes dalībnieka, kas attālinās, jo ITS uzdevums principā ir kontrolēt visu ceļu tīklu un šādā gadījumā tas realizējams bez centralizētās vadības mezgla.

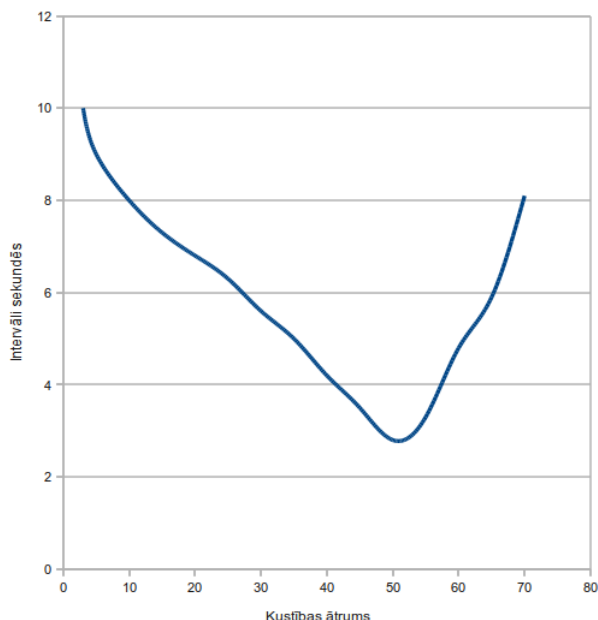
Eksperimentāli pētot plūsmu normalizācijas pasākumus, apstiprinās tēze, ka, lai samazinātu sastrēgumu, pie nosacījuma, ka transporta līdzekļiem ir vieta aiz krustojuma, ir lietderīgi pagarināt atļaujošā gaismas signāla laiku, lai paspēj pieaugt vidējais kustības ātrums joslā un tādējādi krustojumu šķērso vairāk satiksmes dalībnieku.

Dalībnieku skaits N , kas šķērso krustojumu laika periodā T_{sig} pie dažādiem kustības ātrumiem v ir parādīts grafikā att.12.



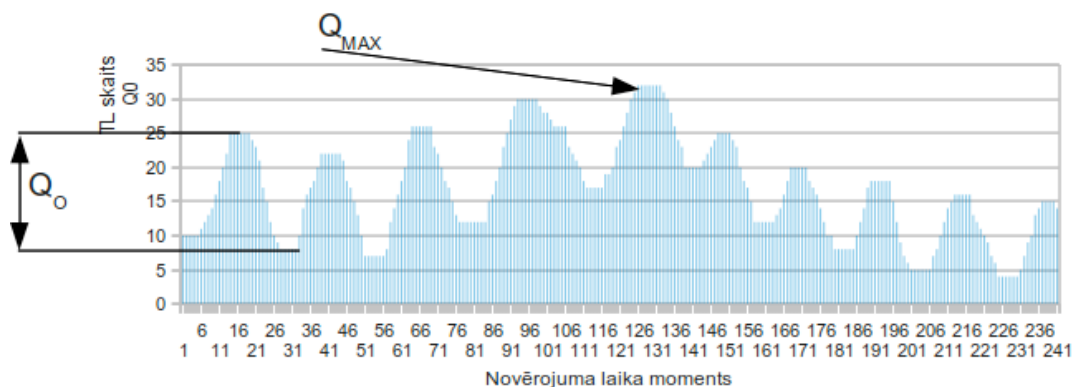
12.att. Transporta līdzekļu skaita grafiks krustojumā atkarībā no ātruma

Vienlaikus ir novērojams fakts, ka laika intervāli, transporta līdzekļiem sākot kustēties pie zaļās gaismas, ir lielāki, kā plūsmai, kas kustās ar nostabilizējušos ātrumu. Taču apgalvojums ir spēkā tikai līdz noteiktam ātrumam, ko iespaido administratīvie regulējumi. Starp transporta līdzekļiem, kas pārsniedz administratīvos ierobežojumus, ir novērojami lielāki laika intervāli. Novērojumu vidējās vērtības parādītas grafikā att.13.



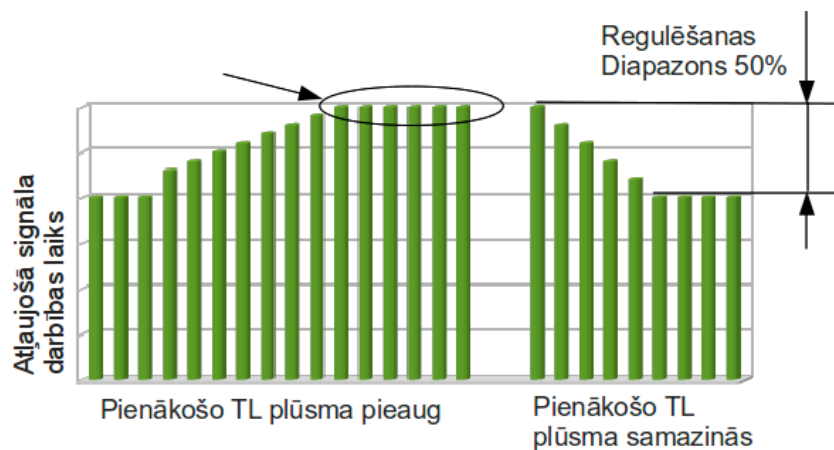
Att.13. Joslas ražība atkarībā no kustības ātruma

Attēlā 14 parādīts sintētisks process, kas iespējami tuvināts reālajiem apstākļiem, kad novēro satiksmes dalībnieku skaitu Q_0 aiz ITS vadīta luksofora (7.att.). Novērotās svārstības demonstrē plūsmas regulēšanu, kur satiksmes dalībniekiem ar pagarinātu signāla laiku atļauts iebraukt posmā līdz sasniegts posma maksimālais piepildījums (no 1. līdz 126. novērojumam). Tajā momentā nostrādā aiztures realizācija, kas samazina pienākošo satiksmes dalībnieku skaitu ļaujot ceļa posmam nosacīti iztukšoties pie nemainīga Q_0 veidojošā signāla (no 131. līdz 156. novērojumam). Tā kā novērojumi veikti ar mainīgu laika intervālu, tad grafikam ir vairāk tendenci demonstrējošs raksturs. Sākot ar 156. līdz 241. novērojumam ir aktīva plūsmas normalizācija, kad pie nemainīgiem atļaujošā signāla laikiem notiek satiksmes dalībnieku uzkrāšanās jo tie paspēj šķērsot krustojumu.



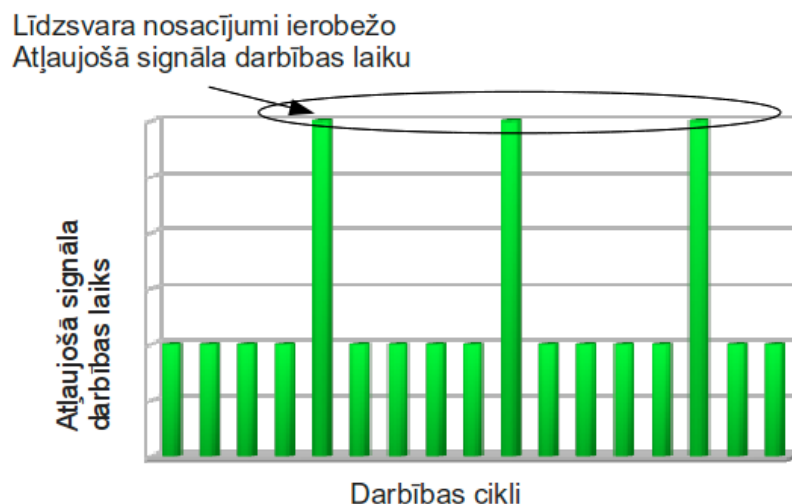
14. att. Satiksmes dalībnieku skaita novērojums atkarībā no regulējuma

Attēlā 15 parādītas divas luksofora vadības interpretācijas, kad atbilstoši iepriekš minētajam, pieaugot plūsmai, ITS pieļauj ilgāku atļaujošā signāla darbību, kamēr tas nekonfliktē ar līdzsvara nosacījumiem. Starpību starp īsāko un garāko kustību atļaujošo laiku sauc par regulēšanas diapazonu un tas atkarīgs no aktuālās plūsmas lieluma un vienāds ar laiku, kurā satiksmes dalībnieku skaits Q_1 aizpilda tiem paredzēto vietu. Šāds laika regulējums faktiski ir derīgs dominējošajam virzienam krustojumā, taču novērojama tendence, kad šķērsvirzienā pie pagarināta dominējošā virziena kustības laika, sākas transporta līdzekļu uzkrāšanās, tāpēc to nepieciešams novērst. Šo uzdevumu tehniski var risināt paceļot plūsmas ātrumu atsevišķos laika momentos izmantojot slūžošanas paņēmieni. Tas ir, satiksmes dalībniekus uzkrāj pirms luksofora un tad atbilstoši normalizācijas nosacījumiem izlaiž cauri krustojumam (līdzīgi kā realizēts Rīgā, Brīvības ielā pie TC “Alfa” virzienam no Juglas, tikai šajā gadījumā luksofors neizlaiž cauri visus uzkrātos satiksmes dalībniekus, kā būtu nepieciešams).



15. att. Atļaujošā signāla darbības laika diagramma

Attiecīgi šim virzienam atļaujošā laika sadalījuma diagramma vienam virzienam būs līdzīga kā parādīts att. 16.



16. att. Atļaujošā signāla darbības laika diagramma

Attēlā parādītās atšķirības darbības laikos ir mainīgas atkarībā no pieejamās brīvās vietas daudzuma un pieprasījumu skaita. Būtiskā atšķirība no tipveida gadījumiem ir tā, ka katram

kustības virzienam signālu regulēšana notiek autonomi lai izvairītos no konfliktējošām plūsmām. Arī luksofora gaismas šādā gadījumā būtu jāuzstāda pilna formāta (ar abām blakus sekcijām) lai samazinātu vadītāju maldināšanas risku. Faktiski slūžošanu ir jēga realizēt arī gadījumā, ja ir salīdzinoši daudz vietas gan pirms, gan pēc luksofora (piemēra krustojums – Lielirbes un K. Ulmaņa gatves sakļaušanās pārejot Jūrmalas šosejā) tādējādi panākot, ka salīdzinoši liels satiksmes dalībnieku skaits to šķērso atbilstoši plūsmas normalizācijas noteikumiem.

Izejot no viena krustojuma regulēšanas nosacījumiem radīts arī prototips vairaku krustojumu ķēdei, kur katrā no krustojumiem ņem vērā līdzsvara nosacījumus, taču vienlaikus izejot no brīvās vietas daudzuma aiz krustojumiem analizē korelāciju starp potenciālajām plūsmām. Tas nozīme ka sastrēguma atrisināšana sākas krustojumā, aiz kura ir tik daudz brīvas vietas, lai pie gandrīz jebkura atļaujošās gaismas signāla ilguma līdzsvara nosacījumi paliek spēkā.

Secinājumi par darbu kopumā

- Pašreizējā transporta vadības situācijā pastāv daudzas lokālas autonomas sistēmas:
 - bez nepieciešamajām savstarpējās sadarbības saitēm;
 - atsevišķas vadības sistēmas veidotas uz savstarpēji nesavietojamiem matemātiskajiem modeļiem, kuri risina lokālus vadības uzdevumus;
 - ražotāju izmantotie standarti un programmu nodrošinājums ir slēgti, kas sarežģī integrācijas iespējas.
- ITS uzdevums nav aizvietot vadītāju, bet samazināt un novērst problēmas, ko rada iemaņu trūkums vai pavirša darbība.
- Kustības apraksts un situācijas attīstības prognozēšana, izmantojot diskrēti-aritmētiskās modelēšanas metodes komplektā ar koordinātu matricu un virziena vektoru ir vienīgais reālā laika sistēmām derīgs paņēmieni;
- Sistēmai ir jābūt vairāklīmeņu, kur katram no tiem ir savs specifisks uzdevums lai novērstu ideoloģiskos konfliktus un izlīdzinātos skaitļošanas sistēmas noslodze;
- Visiem satiksmes dalībniekiem un to pozīcijām jābūt reģistrētiem vienota sistēmā un aprakstītiem atbilstoši vienotam formātam;
- ITS darbības solis 0,1 sekunde ir pietiekams:
 - lai uz bīstamām situācijām reaģētu ātrāk, kā to spēj paveikt augsti meistarīgs vadītājs, vienlaikus saglabājot laika rezervi, ja kādu iemeslu dēļ pirmajā iterācijā kļūdas dēļ kautkas neizdevās;
 - veicamās darbības ir tik primitīvas, ka tās ir izpildāmas atvēlētajā laikā ņemot vērā vairākkārtējai kontrolei nepieciešamās darbības.
- Prognozēšanas algoritmu dalīšana klasēs pēc parametriem ļauj atslogot skaitļošanas sistēmu un pielietot piemērotāko pieejamos ciklus atvēlot uzkrātās informācijas šķirošanai;
- Novērojama likumsakarība, jo vairāk parametrus iespējams ņemt vērā, jo prognozēšana kļūst precīzāka strauji mainīgos apstākļos, kas izejot no satiksmes drošības viedokļa būtu izskaužami;

- Pilnvērtīgai darbībai nepieciešams ņemt vērā arī tos satiksmes dalībniekus, kas kādu iemeslu dēļ nespej paši par sevi informēt kontroles un vadības elementus tāpēc citiem satiksmes dalībniekiem jābūt tādus atpazīt un tas ir tehniski iespējams;
- Ceļa posmos, kas mazās noslodzes dēļ nesatur centralizētās pārvaldības elementus, ir būtiski savlaicīgi uzzināt par citu satiksmes dalībnieku klātbūtni, kas ļautu izvairīties no sadursmēm nepārredzamos līkumos vai uzbraukumiem gājējiem.
- Sastrēgumu samazināšanu iespējams paveikt pilnveidojot kustības organizāciju, lai novērstu nevajadzīgas kavēšanās un nepieļautu krustojumu bloķēšanu:
 - Satiksmes dalībnieku sablīvēšana un piespiedu laika intervālu samazināšana kustībai atļauta laika periodā palielina krustojumu caurlaidību;
 - Krustojumā atļauts iebraukt tikai tiem satiksmes dalībniekiem, kuriem ir vieta aiz tā;
 - Par sastrēguma samazināšanu atbild tas krustojums aiz kura ir visvairāk brīvas vietas;
 - Ļoti lielu plūsmu gadījumā regulēšana ar luksoforu ir nelietderīga un nepieciešama divu vai vairāklīmeņu šķērsojumu izbūve.
- ITS uzdevums ir rūpēties par satiksmes drošību tamdēļ tai ir jāspēj darboties jebkuru kustības ātrumu apstākļos. Tas ir – kustības ātrumu jānosaka nevis administratīvi fiksētu, bet dinamiski izejot no tekošās situācijas, ceļa ģeometrijas un seguma kvalitātes;
- Informācijai, kas ir apritē, jābūt aizsargātai pret nesankcionētu papildināšanu, aizvietošanu vai injekciju, tamdēļ ir nepieciešama ne tikai aizsardzība pret nesankcionētu piekļuvi, bet arī kontrolei uz fiksētās informācijas iespējamību.

Zinātnisko publikāciju saraksts

1. Krūmiņš O. Dzelzsbetona gulšņu armatūras un sliedes enkura kontakta noteikšana ar kapacitatīvo metodi. Enerģētika un Elektrotehnika. 2004. g. Rīga. Sērija 4. Sējums 13. 113-120 lpp.
2. Krumins O. Linear drive with expanded primary winding. Proc. of the 3rd Intern. Symp. Doct.school of energ. and geot., Kuressaare, Estonia, 2006. pp.78-80
3. Krūmiņš O., Raņķis I., Ribickis L. Transporta automātiskās kustības sistēmas – tramvaja modelis. Enerģētika un Elektrotehnika. 2005. g. Rīga. Sērija 4. Sējums 15. 57-64 lpp.
4. Krūmiņš O. Progresīvākās tehnoloģijas elektrotransportā. Enerģija un Pasaule. 2005. g. Rīga. 3. krājums. 62-64.lpp
5. Krūmiņš O. Elektriskā gudrība. Enerģija un Pasaule. 2006. Rīga. 1. krājums. 86-88 lpp.

6. Krumins O. Contactless Linear Motor for Maglev Vehicles. *Electronics And Electrical Engineering*, 2006. g. Kaunas. Vol. 7 (71) 9 – 12 lpp.
7. Krumins O. Regulation of the linear asynchronous motor with accumulation of energy surplus. 47. Starptautiskā zinātniskā konference. *Enerģētika un elektrotehnika*. 2006. g. Rīga. Sērija 4, Sējums 20. 128-135.
8. Krūmiņš O. Aktīvā satiksmes vadības datu sistēma. *Enerģētika un elektrotehnika*. 2007. g. Rīga. Sērija 4, Sējums 20. 128-135.
9. Krumins O. Adaptive modular linear drive for transport systems. *Proc. of the 4th Intern. Symp. Doct.school of energ. and geot., Kuressaare, Estonia, 2007.* pp.58-60
10. Krumins O. Autoadaptive Intelligent Transport Management System. *Proc. of the 5th Intern. Symp. Doct.school of energ. and geot., Kuressaare, Estonia, 2007.* pp.170-173
11. Krūmiņš O., Raņķis I. Virziena vektora pielietojums kuģu kustības drošības novērtēšanai.- *Proceedings of 12th International Conference "Maritime Transport and Infrastructure – 2010"*, Rīga:LJA , 2010 – 88.-92. lpp.
12. Krumins O., Rankis I. Discrete arithmetic models for continuous process interpretation and modeling on traffic example – *Proc. of 9th Internat. Symp."Top.Problem in the field of El. and Pow.Eng."*, 2010, Parnu. – pp.151-154
13. Krūmiņš O., Raņķis I. Discrete arithmetic models for traffic interpretation and prediction. *Power and Electrical Engineering. The 51st International Scientific Conference.* 2010. g. Rīga. *Electron. Proc.* , pp. 245-248