

ISSN 1407-7345

RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTES
ZINĀTNISKIE RAKSTI

SCIENTIFIC PROCEEDINGS
OF RIGA TECHNICAL UNIVERSITY

4. SĒRIJA

**ENERĢĒTIKA
UN ELEKTROTEHNIKA**

**POWER AND ELECTRICAL
ENGINEERING**

15. SĒJUMS

IZDEVNIECĪBA "RTU", RĪGA 2005

AUTOMATICALLY GUIDED TRANSPORT SYSTEMS – TRAM MODEL

TRANSPORTA AUTOMĀTISKĀS KUSTĪBAS SISTĒMAS – TRAMVAJA MODELIS

O. Krūmiņš, L. Ribickis, I. Raņķis

Atslēgas vārdi: Transportlīdzeklis, elektrotransporta, vadība, kontrole, datu pārraide, sakaru tīkli, novērošana, drošība

Ievads

Attīstoties sabiedriskajam transportam, attīstās arī daudzas tehnoloģiskās nozares, kas tam ir tieši pakārtotas. Tās būtu: salonbūve – kas nosaka, kāds izskatīsies transports, kas kursē ielās, piedziņa, kas rūpējas, lai pasažieri un kravas varētu pārvietoties maksimāli komfortabli un droši, energoapgāde, kas ir īpaši aktuāla elektrotransportam. Visas šīs lietas tiecas sasniegt savu pilnību, lai garantētu maksimālu drošību, augstu pieejamību un garantētu kustības grafiku. Ar sistēmu dublēšanu un drošības rezervju palīdzību var panākt ļoti augstus efektivitātes rādītājus. Taču paliek viens sistēmas vājš punkts – cilvēks, kas to visu vada. Cilvēks, kas reizēm var ieņemt ļoti vajadzīgu un pareizu lēmumu avārijas novēršanai, bet tajā pat laikā var arī kļūdīties ar fatālām sekām visai sistēmai. Lai samazinātu cilvēka iespēju kļūdīties, jau vairāk kā 50 gadus tiek radītas tehnoloģijas, kad automātika kontrolē vadības procesu. Transportā šo sistēmu sauc par "Vadība pa Vadiem" – VPV (Drive By Wire)[1]. Tai komplektā nāk Automātiski Vadāmo Transportlīdzekļu Sistēma - AVTS (Automatically Guided Vehicle System).

Viens no lielākajiem šādu sistēmu ražotājiem ir Siemens [2], kura ražotos moduļus - pašgājējrobotus izmantojamus noliktavu un kravu apkalpošanas sistēmās. Taču arī "Siemens VDO Automotive" ir radītas daudzas tehnoloģijas automātiskai transportlīdzekļu kustībai. Nepieciešamību pēc šādām tehnoloģijām pieprasa ne tikai vajadzība aizstāt cilvēku, kurš nogurst, bet arī kā papildus kontroles un uzraudzības sistēma cilvēka iespējamo kļūdu novēršanai.

1. Automātiski vadāmo transportlīdzekļu sistēmas uzbūves modelis

Apskatīsim sistēmas realizāciju uz sabiedriskā transporta piemēra – tramvaja.

Aprīkojot tramvaja vagonu ar AVTS teorētiski ir iespējams atteikties no vadītāja pakalpojumiem. Reāli tā tas arī tiek darīts pacelto ceļu (Elevated Guideway) transporta sistēmās, kādas ir redzamas daudzās pasaules lielākajās pilsētās. Taču Latvijas variantā tuvākais transportlīdzeklis ir tramvajs, kas ir cieši integrēts vispārējā satiksmē, kā rezultātā procesu uzraugošais un korigējošais cilvēks ir vajadzīgs.

VPV savstarpēji savieno apakšsistēmas, kas atbild par:

- vides (kustības drošības) novērošanas sistēmu;
- vilces dzinēju vadību;
- bremžu sistēmu;
- durvju kontroles sistēmu;
- vagona maršruta pozīcijas kontroles sistēmu;
- vagona klimata un apgaismes modulis.

Siemens VDO sadarbībā ar Daimler-Chrysler ir izveidojis un uz atsevišķiem automobiļiem izmēģinājis īpašu Augmented Reality sistēmu [4], kas ļauj pietiekami uzticami noteikt tuvākā luksofora rādītos gaismu signālus. Tā balstīta uz optisku objektu atpazīšanu un, komplektā ar attāluma radaru sistēmu, ļauj pietiekami droši vadīt transportlīdzekli taisnvirzienā. Luksofora modulim šajā gadījumā jāatpazīst divu tipu luksofori – tradicionālais trīskrāsu un speciālais tramvaju. GPS pozīcijas modulī ir iespējams norādīt koordinātes, kurās sistēmai ir jānovēro speciālie tramvaja luksofori, tādējādi novēršot iespējamo signālu konfliktu. Tramvaja sliežu ceļā jāiestrādā īpaši koordinātu kontroles punktveida devēji, kas izmantojami vagona atrašanās vietas sinhronizēšanai ar GPS (GPS sistēma pilsētā var ieviest ievērojamas neprecizitātes, jo ne vienmēr ir iespējama visu satelītu tieša redzamība), kas savukārt nepieciešams, lai korekti noteiktu leņķi, kurā jāveic krustojumam atbilstošā luksofora novērošana.

Gājēju kustību novēro infrasarkanā staru kamera, un to apvienojot ar attēlu tuvinātas atpazīšanas aparāturu ir iespējams identificēt gājēju kā arī pēc pozīciju izmaiņas noteikt tā kustības virzienu un ātrumu.

Citu transporta līdzekļu novērošanu veic ar radara palīdzību, kas darbojas “Ka” joslā (34,3 GHz). Ar radara palīdzību nosaka zonā esošā transportlīdzekļa ātrumu un kustības virzienu. Radars apvienots ar novērošanas / objektu atpazīšanas kameru ļauj prognozēt potenciālo satiksmes dalībnieka virzienu un noteikt avārijas rašanās iespējamību.

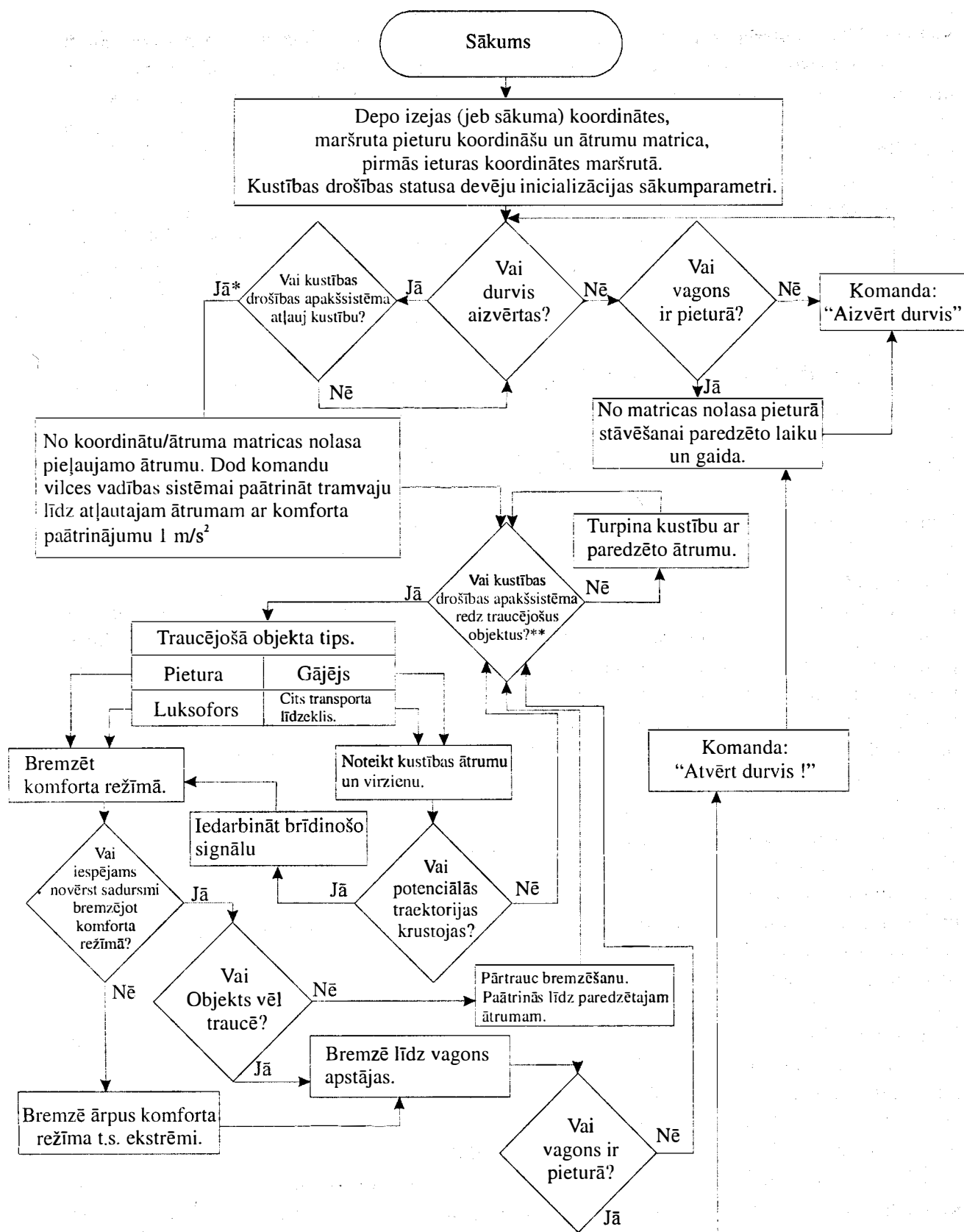
Pieturu pozīciju modulis atbilstoši GPS koordinātēm un ceļa punktveida devēju sniegtajai informācijai nosaka Vagona atrašanās vietu, pieturas esamību, un koordinē gaisvadu pārmiju vadības apakšsistēmu. Pieturas pozīcijā modulis dod informāciju centrālajam vadības procesoram, kurš, no vilces moduļa saņemot informāciju, par nulles kustības ātrumu, dod komandu durvju vadības modulim – “Atvērt durvis”.

Durvju vadības modulis ietver sevī durvju piedziņas vadību, kontrolē pasažieru esamību bīstamajā zonā (pārbauda, vai kāds netiks iespiests). Izbeidzoties laikam, kuru paredzēts stāvēt pieturā, tiek dots brīdinošais signāls pirms durvju aizvēršanās. Pēc komandas – “Aizvērt durvis” sekmīgas izpildes centrālajam vadības procesoram tiek dota informācija par durvju stāvokli.

Vilces kontroles modulis saņem informāciju no centrālā vadības procesora par kustības uzsākšanu vai bremsēšanu. Modulis regulāri sniedz informāciju par vagona kustības ātrumu un ātruma izmaiņām. Vagona bremsēšanu iespējams veikt ne tikai ar bremžu sistēmu, bet arī ar vilces dzinējiem. Vilces dzinējus izmanto bremsējot komforta režīmā, bet mehānisko bremžu sistēmu lieto pie maziem ātrumiem, kā arī papildus dzinējiem bremsējot ekstrēmajā režīmā.

Sakaru modulis nodrošina komunikāciju ar depo, regulāri informējot par savu tehnisko stāvokli, atrašanās vietu un vadītāja veiktajām darbībām. Tā kā sakaru modulim ir tīri informatīva nozīme, tad nav aktuāla nepārtraukta un augsti uzticama pieejamība. Sakaru nodrošināšanai ar depo var izmantot gan GPRS gan Wi-MAX standartus, kā datu pārraides protokolu lietojot TCP/IP. Izmantojot sakaru moduli, iespējams izveidot saiti ar luksoforu vadības sistēmu, lai tajā brīdī, kad tramvajam jāšķērso krustojums, tam automātiski un savlaicīgi tiktu dota zaļā gaisma, kā arī sarkanā, kamēr vagonš pienāk un stāv pieturā. Šāda koncepcija ļauj samazināt uzbraukšanas risku pasažieriem, kuri vēlas iekāpt vai izkāpt no vagona, jo automobiļu šoferi “necenšas paspēt uz zaļo”. Krustojumos ar vairākām tramvaja līnijām izbraukšanas secību koordinē PIPA – (pirmais iekšā, pirmais ārā) princips.

Avārijas situācijā, kad nav iespējama centrālā procesora un/vai kustības drošības moduļa darbība, vadītājam ir iespēja pārņemt vadību izmantojot kanālu, kad vadības



2. att. Tramvaja kustības AVS pamatalgoritms

ierīces – slēdži, pedāļi u.t.t. ir tieši savienoti ar bremžu, vilces un durvju kontroles sistēmām. Normālā gadījumā, visu sistēmu saskaņotu darbību kontrolē un vada Automātiskās Vadības Sistēmas centrālais procesora modulis. Atbilstoši 2. attēlā redzamajam algoritmam, centrālais

procesora modulis dod komandas un reaģē uz satiksmē notiekošo. Algoritma izpilde notiek cikliski līdz tā tiek apturēta piespiedu kārtā iejaucoties cilvēkam.

Klimata un apgaismes sistēmu vadības modulis principā ir ekspluatējams kā atsevišķa autonoma sistēma, kas nemijiedarbojas ar automātiskās kustības sistēmām. Tas darīts vairāku apsvērumu dēļ. Lai samazinātu to datu apjomu, kas apgrozāms sistēmā, un kas nav tieši saistīt ar kustības režīmu un drošību. Lai samazinātu varbūtību, ka bojājums šajā apakšsistēmā izraisa problēmas pārējā sistēmā. Tajā pat laikā ir saglabāta informācijas apmaiņas iespēja caur vadības paneli.

2. Informācijas plūsmas un brīvo laika sadaļu aprēķins maģistrālēm

Izmantojot traucējumnoturīgo FlexRay protokolu, ir svarīgs sistēmas stāvokļa nolašu skaits. Jo biežāk sistēma var aptaujāt savus devējus un pārliecināties par notiekošo, jo teorētiski augstāka ir kustības drošība, jo nepieciešams īsāks laika sprādis lai veiktu korigējošās darbības, kas ļautu izvairīties no avārijas.

FlexRay datu paketes garums ir 262 baiti = 2096 biti. Datu pārraides ātrums vidē ir 10Mb/s. Attiecīgi sekundes laikā sistēma veic 5002 datu apmaiņas procedūras.

Izejot no šīs informācijas var noteikt, ka 1. Maģistrālē katrā pilnā ciklā veiks 6 datu apmaiņas procedūras. Tas nozīmē, ka sistēmā sekundes laikā tiks veikti pilni 833 cikli, jeb sistēmas reakcijas laiks ir 0,0012 sekundes.

2. maģistrālē katrā pilnā ciklā jāveic 8 datu apmaiņas procesi, attiecīgi 1 sekundē sistēma veic 625 datu apmaiņas, jeb reakcijas laiks ir 0,0016 sekundes.

3. un 4. maģistrālē katrā pilnā ciklā jāveic 4 datu apmaiņas procesi, attiecīgi 1 sekundē sistēma veic 1250 vai 1251 datu apmaiņas, kas dod reakcijas laiku 0,0008 sekundes. Tā kā datu apmaiņa ar centrālo procesoru notiek tikai caur 1. un 2. maģistrāli, tad kustības drošības un vilkmes moduļos var realizēt minimālās mažoritātes principu - par notikumu uzskata situāciju, kad divas secīgas informācijas paketes satur vienu un to pašu, vai tuvi līdzvērtīgu informāciju.

Lai sistēma varētu reaģēt uz notiekošo, centrālajam procesoram ir jāuztver notikumi ar pilnas mažoritātes nosacījumiem – ne sliktāk kā 2 vienādas nolases no 3. Tāda pieeja reakcijas laiku palielina līdz 0,0048 sekundēm.

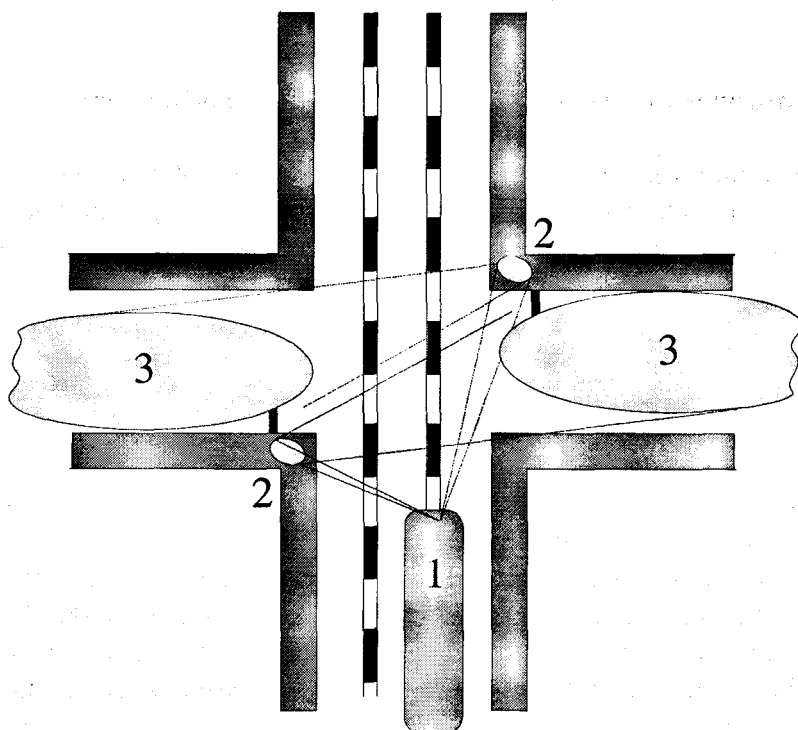
Tā kā FlexRay protokols atļauj arī ārpuskārtās datu pārraidi kritiskās situācijās, tad teorētiski ir iespējams nosūtīt informāciju ik pēc katras plānotās datu apmaiņas tādējādi reakcijas laiks ir dubults viena cikla laiks (jeb aptuveni 0,0004 sekundes), jo ir jāgaida notiekošās datu apmaiņas izbeigšanās. Taču tā kā spēkā paliek mažoritātes princips, tad reakcijas laiks būs 0,0012 sekundes.

Nepieciešams aprēķināt, vai šāds reakcijas laiks ir pietiekami mazs. Tramvajam kustoties ar ātrumu 45 km/h = 12,5 m/s sistēmas reakcijas laikā nobrauktais attālums būs ne vairāk kā 0,06 m. Ja salīdzina ar cilvēka reakcijas laiku - 0,15 s., kuru laikā tramvajs nobrauc 1,875 m, tad ieguvums uz bremzēšanas ceļu ir 1,815 m.

3. “Attīstītā Redze”

Tā kā kustība notiek pilsētā, kur ielas krustojas vienā līmenī, tad ir aktuāli zināt šķērsielās notiekošo kustību un ņemt to vērā. Nereti avārijas izraisa neapzinīgi autovadītāji, kuri mēģina šķērsot krustojumu pie aizliegtā gaismas signāla. Tātad ir nepieciešams pārliecināties, ka netuvojas kāds transporta līdzeklis (TL) no šķērsielas (to skaitā operatīvie TL). Šo problēmu iespējams risināt izveidojot Advanced View - Attīstītās redzes (AR) sistēmu, kas izmantojot radaru, ļauj kustības drošības jeb vides novērošanas sistēmai redzēt “ap stūri”. AR balstās uz atstarošanās principu no spoguļiem, kā rezultātā iespējams mērīt tieši neredzamu objektu

kustības ātrumu. 3. Attēlā parādīta tramvaja vagonā (1) uzstādīto radaru redzamās zonas šķērsielās (3) kurās esošie objekti atstarojas virs luksofora uzstādītajos spoguļos (2). Kustības drošības modulī šo radaru sniegtajai informācijai jāliecina par visu automobiļu apstāšanos pirms tramvaja iebraukšanas krustojumā.



3. att. Tramvaja AR radaru uztveres zonas šķērsielās.

4. Vidējā kustības ātruma izmaiņa, optimizējot liekās stāvēšanas laiku

Tā kā ielu satiksmes regulēšanas sistēma “luksoforu kontrolleri” nav sinhronizēta ar tramvaju kustības grafiku, tad nav realizēta “zaļā viļņa” iespēja sabiedriskajam transportam. Tas izraisa nevēlamas kustības intervāla izmaiņas, un ir brīži, ka dēļ satiksmes īpatnībām salīdzinoši ilgu laiku vagoni nepienāk un pēc tam pienāk vairāki viens otram tuvu sekojoši vagoni, kas savukārt izsauc nevienmērīgu vagonu noslodzi. Tāda situācija rodas, ja vagonam ir ārpus pieturām jāapstājas pie luksoforu sarkanā signāla. Ieviešot AVTS un savienojot to ar attiecīgo krustojumu luksoforu kontrolleriem iegūst “Inteliģento Satiksmes Sistēmu”, kas novērš nepieciešamību vagonam stāvēt pie sarkanā signāla ārpus pieturām. Tādējādi var aprēķināt kustības ātruma pieaugumu. Par piemēru ņemsim Rīgas 6. maršruta tramvaju, kura ceļā vienā virzienā ir 21 pietura un 19 luksofori. No tiem 7 nav apvienojami ar pieturām un neviens nav sinhronizēts ar tramvaju pienākšanu. Tramvaju un Trolejbusu pārvaldes sniegtā informācija liecina, ka maršruta garums ir 19,3 km un laiks, ko vagoni pavadā ceļā ir 65 minūtes tādējādi vidējais ātrums ir 17,82 km/h.

Pieņemot, ka sliktākajā gadījumā, tramvajam pie katra luksofora jāstāv pilns sarkanā signāla cikls (piemēram, 40 sekundes), tad liekā stāvēšana ir 760 sekundes (12,6 min) katrā reisā. Varbūtība, ka katrā reisā ir tik daudz liekās stāvēšanas, ir neliela, tāpēc ir lietderīgi pieņemt, ka liekā stāvēšana ir 10 min. Novēršot šo lieko stāvēšanu, reisa ilgums samazinās līdz 55 minūtēm kas dod vidējā ātruma pieaugumu līdz 21,05 km/h (15,34%). Ja apskatām gadījumu, kad stāvēšana pie sarkanā aizņem 80 sekundes, tad pie šāda pat reālā kustības laika, lieko

stāvēšanu likvidācija ļautu iegūt ātruma pieaugumu par 30,76% (25,73 km/h), kas ir ievērojams sasniegums.

Šādām izmaiņām ir ļoti liela nozīme vispārējās satiksmes organizēšanā, jo uzlabojot sabiedriskā transporta darbību, tas ir, palielinot tā kustības vidējo ātrumu, ir vieglāk pārliecināt iedzīvotājus atteikties no privāto auto izmantošanas un samazināt kopējo kustīgo vienību skaitu uz ceļa tādējādi samazinot sastrēgumus ielās.

Secinājumi:

1. Izmantojot AVTS iespējams realizēt tramvaja kustību maršrutā atbilstoši kustības grafikam.
2. AVTS ar AR sistēmu ļauj prognozēt un novērst avārijas iespējamību situācijā, kad kāds no auto vadītājiem pārkāpj satiksmes noteikumus, kā arī savlaicīgi brīdināt vadītāju.
3. AVTS ļauj saskaņot tramvaju kustību ar luksofora signāliem tādējādi samazinot vagonu liekās stāvēšanas laiku un palielinot kopējo vidējo kustības ātrumu.
4. Ieviešot Rīgas pilsētā šādu sistēmu iespējams ievērojami palielināt sabiedriskā transporta kustības ātrumu un padarīt to pievilcīgāku iedzīvotājiem.

Izmantotā literatūra:

1. Bertoluzzo M., Buja G., Zuccollo A.. Communication Networks for Drive-by-Wire Applications. Proceedings of the 11th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC '04 2-4 September 2004, Riga, Latvia, RTU Printing House, 2004, Volume 6.
2. <http://www.managingautomation.com/maonline/magazine/read.aspx?id=3375>
3. Bertoluzzo M., Bolognesi P., Bruno O., Buja G., Landi A., Zuccollo A.. Drive-by-wire systems for ground vehicles. Proceedings of IEEE International Symposium. 2004.
4. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/8173/24331/01106970.pdf>

Ojārs Krūmiņš, Doctoral student

Riga Technical university, Institute of Industrial Electronics and Electrical engineering

Address: Kronvalda b.l, LV 1048, Riga, Latvia.

Phone. +371 7089917, e-mail: hardcore@parks.lv

Leonīds Ribickis, Prof., Dr. habil. sc. Ing

Riga Technical university, director of Institute of Industrial Electronics and Electrical engineering.

Address: Kalku 1, LV-1050, Riga, Latvia.

Phone. +371 7089415, e-mail: Leonids.Ribickis@rtu.lv

Krūmiņš O., Ribickis L., Raņķis I. Transporta automātiskās kustības sistēmas – tramvaja modelis.

Tehnoloģiju apskatā tiek piedāvāts automātiskās vadības risinājums tramvajam kustībai kopējā satiksmē. Risinājums balstās uz Vadību pa Vadiem, kas savieno funkcionālos blokus vienotā sistēmā. Funkcionālie bloki paredzēti kustības drošības, kustības komforta un grafika režīma uzturēšanai. Atsevišķs modulis paredzēs kondicionēšanas sistēmas un vagona apgaismojuma sistēmai. Aprakstīta kustību nodrošinošo sistēmu blokshēma un bāzes algoritms. Aprēķinātas kustības drošības parametru izmaiņas sistēmas ieviešanas gadījumā. Dots piemērs kustības drošības palielināšanai izmantojot "Attīstītās redzes" tehnoloģiju. Dots aprēķins tramvaja kustības parametru izmaiņai sistēmas ekspluatācijas gadījumā, kā piemēru ņemot Rīgas pilsētas 6 tramvaja maršrutu.

Krumins O., Ribickis L., Rankis I. Automatically guided transport systems – tram model.

In this technology overview automatically guided tram system for usage in street traffic is proposed. Solution is based on Drive-by-Wire interconnection between functional modules. Functional modules are dedicated for traffic safety, motion comfort and schedule control. Standalone module is dedicated for air conditioning and internal lighting. Motion support system block diagram and basic algorithm is given. System implementation improvements in traffic safety are calculated. An example of “Advanced View” system implementation for safety improvement is given. Calculations for traffic timing with such system are made on example of tram route Nr. 6 in Riga.

Круминьш О., Рибикис Л., Ринькис И. Автоматически управляемые системы – модель трамвая.

В этом обзоре технологий предложено решение управления трамваем для использования в общем движении. Решение основано на технологии объединения отдельных модулей в единую систему. Функциональные модули предназначены для безопасности и комфорта движения и соблюдения графика. Отдельный модуль предназначен для кондиционирования и освещения салона. Описана блок-схема и основной алгоритм систем, обеспечивающих движение. Рассчитаны изменения параметров безопасности движения при внедрении системы. Дан пример повышения безопасности движения при использовании технологий «Развитое Зрение». Расчитаны изменения параметров движения трамвая при эксплуатации такой системы на примере маршрута трамвая Nr.6 г. Рига.