

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Energētikas un Elektrotehnikas fakultāte
Industriālās Elektronikas un Elektrotehnikas institūts

IVARS ALPS

Doktora studiju programmas „Elektrotehnoloģiju datorvadība” doktorants

**INTELEKTUĀLĀ ELEKTROTRANSPORTA VADĪBAS SISTĒMU
SARAKSTU PROBLĒMU MODELĒŠANA NEPAREDZĒTOS
GADĪJUMOS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. sc. ing., profesors
A.ĻEVČENKOVS

RTU Izdevniecība

Rīga 2012

UDK 656.021:004.94(043.2)
Al 746 i

Alps I. Intelektuālā elektrotransporta vadības
sistēmu sarakstu problēmu modelēšana
neparedzētos gadījumos
Promocijas darba kopsavilkums.- R.:RTU
Izdevniecība, 2012.-34 lpp.

Iespiests saskaņā ar IEE institūta
2012.gada 28.jūnija lēmumu, protokols Nr.4310



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

ISBN 978-9934-10-368-1

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012.gada 13. decembrī Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un Elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 117. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asociētais profesors, Dr.sc.ing. Anastasija Žiravecka
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors, Dr. habil.sc.ing. Andris Šnīders
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Profesors, Dr.sc.ing. Žilvinas Bazaras
Kauņas Tehnoloģiju universitāte (Lietuva)

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, 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.

Ivars Alps(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, piecas nodaļas, secinājumus, izmantotās literatūras sarakstu, vienu pielikumu, 32 attēlus, 70 tabulas, kopā 155 lappuses. Literatūras sarakstā ir norādes uz 101 literatūras avotu.

SATURS

Tēmas aktualitāte.....	5
Darba mērķis.....	5
Pētījumu līdzekļi un metodes	6
Darba zinātniskā novitāte	6
Darba praktiskais pielietojums	6
Darba aprobācija.....	7
Autora publikācijas.....	8
Iegūtie patenti	9
Promocijas darba struktūra	10
Uzdevuma nostādne transporta kustības sarakstu informācijas sistēmas vadībai neparedzētos gadījumos	10
Izstrādātie algoritmi transporta sistēmas informācijas plūsmu vadībai un kustības sarakstu veidošanai	13
Iebūvēto iekārtu pielietošanas iespējas sarakstu uzdevumu risināšanai un to integrēšana transporta sistēmā	19
Sabiedriskā transporta datormodelēšanas eksperimentu rezultāti	22
Eksperimentu rezultātu novērtējums izmantojot hipotēžu statistiskās novērtēšanas metodi	23
Secinājumi	28
Izmantotie informācijas avoti	29

TĒMAS AKTUALITĀTE

Pieaugot transporta vienību skaitam un palielinoties kustības intensitātei aizvien aktuālāka mūsdienās kļūst transporta plūsmu vadīšana un organizēšana ne tikai lielpilsētās, bet arī reģionos. Lai arī pilsētu atbildīgie dienesti strādā pie šīs problēmas risināšanas, realitātē transporta sastrēgumi un transporta līdzekļu sadursmes ir kļuvušas par ikdienas parādību. Precīzi noteikt sadursmju rezultātā izraisītos zaudējumus, sastrēgumos patērētās enerģijas un nelietderīgi pavadītā laika ietekmi uz valsts un atsevišķu iedzīvotāju ekonomiskajiem rādītājiem noteikt ir sarežģīti, bet to, ka šī ietekme ir negatīva, var apgalvot noteikti.

Ja sastrēgumi pārsvarā gadījumu tikai palielina transporta līdzekļa un to pasažieru ceļā pavadīto laiku un enerģijas patēriņu, tad transporta vienību sadursmes jau ir saistītas ar daudz nopietnākiem zaudējumiem un pat cilvēku bojāeju. Sevišķi smagas sekas ir saduroties dzelzceļa un autotransporta vienībām. Kā ziņots European Railway Agency [24] pārskatā 2010 gadā ievērojama nelaimes gadījumu daļa dzelzceļa transportā Eiropā ir saistīta tieši ar pārbrauktuvju šķērsošanu. Organizācija NSA (National Safety Authorities) ir ziņojusi par 3774 nelaimes gadījumiem saistībā ar pārbrauktuvju šķērsošanu un šo nelaimes gadījumu rezultātā no 2006. līdz 2008. gadam bojā ir gājuši 1287 cilvēki.

Tādēļ promocijas darbā tiek piedāvāts risinājums sekojošiem uzdevumiem;

- izmantojot iebūvētās iekārtas, sarakstu teorijas un evolucionāros algoritmus samazināt līdz minimumam iespēju, ka autotransports un dzelzceļa transports maršrutu krustpunktos atrastos vienlaicīgi, t.i. novēršot šo transporta līdzekļu sadursmes iespējamību,
- palielināt dzelzceļa pārbrauktuvju caurlaides spēju, tādējādi samazinot sabiedriskā un cita veida transporta gaidīšanas laiku pie slēgtām pārbrauktuvēm,
- rekomendējot transporta līdzekļiem piemērotāko pārvietošanās ātrumu visā maršrutā samazināt sabiedriskā elektrotransporta gaidīšanas laiku sastrēgumos, biežu bremsēšanu ar sekojošu paātrināšanos, kas tieši ietekmē elektroenerģijas patēriņu, nodrošināt sabiedriskā transporta pasažierus ar augsta līmeņa komfortu un drošiem pārvadājumu pakalpojumiem.

DARBA MĒRĶIS

Promocijas darba mērķis ir izpētīt un izstrādāt informācijas plūsmu apstrādes algoritmus pilsētas transporta, tai skaitā elektrotransporta, kustības datorvadībai ar mākslīgā intelekta iekārtām un sarakstu teorijas metodēm.

Šī mērķa sasniegšanai tiek izvirzīti un promocijas darbā izpildīti sekojoši uzdevumi:

- analizēt esošās dzelzceļa, sabiedriskā un pilsētas transporta sistēmas, izstrādāt sistēmas objektu kustības vadības matemātiskos modeļus un definēt mērķa funkciju
- izpētīt ģenētiskos un imūnos algoritmus, izstrādāt procedūras iebūvētām iekārtām avāriju un bīstamo situāciju novēršanai dažādu transporta veidu maršrutu krustojšanas punktos
- izpētīt sarakstu teorijas algoritmus, iespējas tos pielietot transporta kustības vadības uzdevumos secīgas un paralēlas uzdevumu apstrādes sistēmās
- datormodelī izpētīt izstrādāto procedūru pielietošanu transporta plūsmu sistēmas vadīšanai pēc drošuma, dīkstāves laika un elektroenerģijas patēriņa minimizēšanas kritērijiem
- salīdzināt dažādu vadības algoritmu ietekmi uz transporta drošas kustības sarakstu izveidošanu
- izmantojot hipotēžu statistiskās vērtēšanas metodi novērtēt izstrādāto algoritmu un iebūvēto iekārtu izmantošanas ietekmi uz dīkstāves laiku un kustības drošību kopumā

PĒTĪJUMU LĪDZEKĻI UN METODEDES

Transporta sistēmas elementu aprakstam tiek pielietota kopu teorija, saišu grafu teorija, sistēmas un procesu analīze. Sistēmas vadības matemātiskā modeļa izveidošanai tiek izmantota evolucionāro algoritmu teorija [29,85], sarakstu teorija [44,98,99,100,101] un varbūtības teorija. Transporta sistēmas vadības modelim izmatots ražotāja Arduino piedāvātais programmējams loģiskais kontroleris. Kontrolera un modeļa vadībai tiek pielietota vizuālorientēta un objektorientēta programmēšana. Datamodelēšanas rezultātu novērtēšanai tiek izmantotas statistiskās analīzes metodes.

DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Promocijas darbā izstrādāti sekojoši matemātiskie modeļi intelektuālās transporta sistēmas vadībai:

- Dzelzceļa transporta vadīšanas modelis ar sarakstu teorijas algoritmu izmantošanu summārā pārbrauktuvju atrašanās laika slēgtā stāvoklī samazināšanai
- Sabiedriskā elektrotransporta vadīšanas modelis ar iebūvēto iekārtu izmantošanu transporta vienību vadīšanai ievērojot kustības sarakstu visos maršrutos
- Pilsētas transporta plūsmu vadības modelis, kurā tiek izmantoti sarakstu teorijas modeļi un procedūras, kā arī definēta mērķa funkcija daudzkritēriju uzdevumu risināšanai izmantojot evolucionāros algoritmus. Evolucionārie un sarakstu teorijas algoritmi transporta vadības uzdevumu risina ņemot vērā piecus kritērijus:
 - patērētās elektroenerģijas minimizēšana cikliski bremsējot un paātrinoties
 - dzelzceļa transporta vienību kustības saraksta izstrāde ar mērķi minimizēt pārbrauktuvju atrašanās laiku slēgtā stāvoklī,
 - dzelzceļa un pilsētas transporta vienību vienlaicīga atrašanās maršrutu krustojšanās punktos varbūtības minimizēšana,
 - pilsētas transporta gaidīšanas laika sastrēgumos minimizēšana,
 - jaunizveidoto kustības sarakstu atšķirības no iepriekš sastādītajiem minimizēšana
- Ģenētiskā un imūnā algoritma modelis, kas paredzēts pilsētas transporta sistēmas vadības daudzkritēriju uzdevuma risināšanai
- Pilsētas transporta sistēmas funkcionālās mijiedarbības modelis, kurš apraksta pilsētas transporta atsevišķo elementu mijiedarbību un ļauj modelēt pilsētas transporta sistēmas raksturojošos procesus, tai skaitā arī elektromehānisko procesu intelektuālo vadību
- Pilsētas transporta vienību kustības sarakstu matemātiskais modelis, kurš paredzēts transporta vadību vadīšanai ņemot vērā drošuma kritērijus
- Izstrādāts jauns modelis transporta vienību kustības sarakstu izveidošanai un novērtēšanai ar ģenētisko un imūno algoritmu
- Pilsētas transporta sistēmas atsevišķu vienību ātruma vadības algoritms, kurš paredzēts piemērota kustības ātruma aprēķinam pēc drošas transporta plūsmu vadības to krustojšanās punktos un direktīvā laika izpildīšanās kritērijiem

DARBA PRAKTISKAIS PIELIETOJUMS

Promocijas darbā izstrādātie algoritmi un piedāvātās transporta sistēmas vadības procedūras var tikt pielietotas pilsētas transporta, tai skaitā arī sabiedriskā elektrotransporta vienību vadības uzlabošanai. Izstrādātie algoritmi un procedūras paaugstinās pilsētas transporta sistēmas savstarpēji krustojošos plūsmu vadīšanas drošuma pakāpi, pielietojot

izstrādātos algoritmus ir iespējams samazināt dīkstāvju laiku pilsētas transporta plūsmu krustošanās punktos, tātad samazināt iespējamo transporta vienību palielinātu uzkrāšanos kādā no maršrutu posmiem, tādējādi samazināt sekojošus transporta sastrēgumus un samazināt elektroenerģijas patēriņu pilsētas sabiedriskajam elektrotransportam. Tāpat izstrādātie algoritmi var nodrošināt neparedzētu apstākļu ietekmē no grafika novirzījušos sabiedriskā transporta vienību iespējami ātrāku atgriešanos pie iepriekš noteiktā kustības saraksta ievērošanas.

DARBA APROBĀCIJA

1. Starptautiskā konference „Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2008)”Lietuva, Paņeveži, 2008.gada 23.maijs. Referāts "Modeling of Scheduling Theory in Intelligent Electric Transport Systems"
2. Rīgas Tehniskās Universitātes 49.starptautiskā zinātniskā konference, sekcijas „Enerģētika un elektrotehnika” apakšsekcija „Elektrotehnika”, Latvija, Rīga, 2008.gada 15.oktobris. Referāts „Sarakstu teorijas modelēšana intelektuālajās elektriskā transporta sistēmās”
3. Starptautiskā konference „Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2009)”Lietuva, Paņeveži, 2009.gada 5.jūnijs. Referāts „Mathematical Formulation of Public Electric Transport Scheduling Task for Artificial Immune Systems”
4. Rīgas Tehniskās Universitātes 50.starptautiskā zinātniskā konference, sekcijas „Enerģētika un elektrotehnika” apakšsekcija „Elektrotehnika”, Latvija, Rīga, 2009.gada 15.oktobris. Referāts „Mathematical Formulation of Public Electric Transport Scheduling Task for Artificial Immune Systems”
5. Rīgas Tehniskās Universitātes 50.starptautiskā zinātniskā konference, sekcija „Mašīnzinātne un transports”, Latvija, Rīga, 2009.gada 16.oktobris. Referāts „Algorithm for Multi-Stage Scheduling in Intelligent Electric Transport System”
6. Tallinas Tehnoloģiskās Universitātes 8. starptautiskais simpozījs, sekcija „Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering”, Pērnavā, Igaunija, 2010.gada 13.janvāris. Referāts „Algorithm for Multi-Stage Scheduling in Intelligent Electric Transport System”
7. Starptautiskā konference „Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2010)”Lietuva, Paņeveži, 2010.gada 4.jūnijs. Referāts „Intelligent Embedded Devices for Multistage Scheduling Tasks in Public Electric Transport”
8. Rīgas Tehniskās Universitātes 51.starptautiskā zinātniskā konference, sekcijas „Enerģētika un elektrotehnika” apakšsekcija „Elektrotehnika”, Latvija, Rīga, 2010.gada 14.oktobris. Referāts „Algorithm for Public Electric Transport Schedule Control for Intelligent Embedded Devices”
9. Rīgas Tehniskās Universitātes 51.starptautiskā zinātniskā konference, sekcija „Mašīnzinātne un transports”, Latvija, Rīga, 2010.gada 15.oktobris. Referāts „Algorithm of Safety Assessment of Intelligent Embedded Devices for Light Rail Transport”
10. Starptautiskā konference „Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2011)”Lietuva, Paņeveži, 2011.gada 5.maijs. Referāts „Algorithm for increasing traffic capacity of level-crossing using scheduling theory”
11. Rīgas Tehniskās Universitātes 52.starptautiskā zinātniskā konference, sekcija „Mašīnzinātne un transports”, Latvija, Rīga, 2011.gada 15.oktobris. Referāts „Algorithm for Increasing Traffic Capacity of Level-Crossing Using Intelligent Embedded Devices”

12. Rīgas Tehniskās Universitātes 52.starptautiskā zinātniskā konference, sekcijas „Enerģētika un elektrotehnika” apakšsekcija „Elektrotehnika”, Latvija, Rīga, 2011.gada 15.oktobris. Referāts „Algorithm for Increasing Traffic Capacity of Level-Crossing Using Scheduling Theory and Intelligent Embedded Devices”
13. Starptautiskā konference „First International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance” Las Palmas de Gran Canaria, Spānija 2012. gada 20.aprīlis. Referāts „Algorithm for Embedded Anti-Collision Devices of Rolling Stock in Safety Tasks”

AUTORA PUBLIKĀCIJAS

1. Ivars Alps, Mihails Gorobecs, Anatolijs Ļevčenko, Leonīds Ribickis "Sarakstu teorijas modelēšana intelektuālajās elektriskā transporta sistēmās" // RTU zinātnisko rakstu krājums „Enerģētika un Elektrotehnika” sērija 4, sējums 23, Latvija, Rīga 2008, 184 -194 lpp.
2. Ivars Alps, Mikhail Gorobetz, Anatoly Levchenkov, Leonids Ribickis "Modeling of Scheduling Theory in Intelligent Electric Transport Systems" //In proceedings of Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2008), Lithuania, Panevezys, 2008, 28 – 37 lpp.
3. Алпс И., Левченко А., Горобец М., Рибичис Л. „Применение программы СИМУЛИНК для корректировки расписания передвижения в интеллектуальных электротранспортных системах ”// Материалы Шестой международной научно-практической конференции, Россия, Санкт-Петербург, 2008. 49 – 50 lpp.
4. Mikhail Gorobetz, Ivars Alps, Anatoly Levchenkov "Mathematical Formulation of Public Electric Transport Scheduling Task for Artificial Immune Systems" //In proceedings of Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2009), Lithuania, Panevezys, 2009, 127-134 lpp
5. Ivars Alps, Mikhail Gorobetz, Anatoly Levchenkov „Algorithm for Multi-Stage Scheduling in Intelligent Electric Transport System” ” //In proceedings of 8th International Symposium “Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering”, Estonia, Tartu, 2010, 109 – 115 lpp.
6. Ivars Alps, Andrey Potapov, Mikhail Gorobetz, Anatoly Levchenkov „Algorithm for Public Electric Transport Schedule Control for Intelligent Embedded Devices”// In proceedings of RTU 51st International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering” Latvia, Riga 2010, 155 – 160 pages.
7. Ivars Alps, Mikhail Gorobetz, Anatoly Levchenkov „Intelligent Embedded Devices for Multistage Scheduling Tasks in Public Electric Transport” //In proceedings of 5th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2010), Lithuania, Panevezys, 2010
8. Ivars Alps, Mikhail Gorobetz, Anatoly Levchenkov „Algorithm for Increasing Traffic Capacity of Level-Crossing Using Scheduling Theory” //In proceedings of 6th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2011), Lithuania, Panevezys, 2011, 99-108 lpp.
9. Ivars Alps, Mikhail Gorobetz, Anatoly Levchenkov „Algorithm for Increasing Traffic Capacity of Level-Crossing Using Scheduling Theory and Intelligent Embedded Devices ” In proceedings of RTU 52nd International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering” Latvia, Riga 2011, 129-136 lpp.
10. Levchenkov A., Gorobetz M., Balckars P. and Alps I. „Algorithm for Embedded Anti-Collision Devices of Rolling Stock in Safety Tasks” //In proceedings of the First

IEGŪTIE PATENTI

Promocijas darba izstrādes gaitā iegūtie pētījumu rezultāti ir patentēti un ir izsniegta Latvijas Republikas patentu valdes apliecība A.Ļevčenkovs, M.Gorobecs, I.Raņķis, L.Ribickis, P.Balckars, A.Potapovs, I.Alps, I.Korago, V.Vinokurovs “Iekārta drošai autotransporta pārbrauktuvju šķērsošanai izmantojot satelītu navigācijas sistēmas” Rīga, Latvija, LV 14405 B.

2012. gada maijā no Patent Law Office FORAL ir saņemts apstiprinājums tam, ka par Starptautiskais patenta pieteikumu PCT/EP2011/067474 ir saņemti starptautisko patenta meklējuma atskaite un starptautiskās meklēšanas institūcijas viedoklis par izgudrojuma atbilstību patentspējas kritērijiem. Saskaņā ar šo atskaiti un viedokli izgudrojums atbilst patentspējas kritērijiem.

PROMOCIJAS DARBA STRUKTŪRA

Promocijas darbs sastāv no ievada, piecām nodaļām, secinājumiem, izmantoto literatūras avotu uzskaitījuma un pielikuma.

Promocijas darba pirmajā nodaļā analizēta esošā pilsētas transporta sistēma, klasificēti transporta sistēmas elementi un to savstarpējā mijiedarbība, no kopu teorijas viedokļa izveidots pilsētas transporta sistēmas matemātiskais modelis, definēti konstantie un mainīgie sistēmas kopu elementi, izstrādāts izpētāmā transporta sistēmas elementa – pārbrauktuves kā pētāmā objekta detalizēts matemātiskais modelis, noformulēta sarakstu teorijas uzdevumu nostādne un definētas mērķa funkcija uzdevuma risināšanai saistībā ar elektrotransporta kustības datorvadību ar iebūvēto iekārtu un sarakstu teorijas metožu palīdzību.

Promocijas darba otrajā nodaļā ir izstrādāti algoritmi gan mērķa funkcijas kopējās vērtības gan katra atsevišķā kritērija, aprēķināšanai, izstrādāta procedūra evolucionāro algoritmu, ģenētiskā un imūnā, pielietojumam transporta plūsmu vadības uzlabošanai.

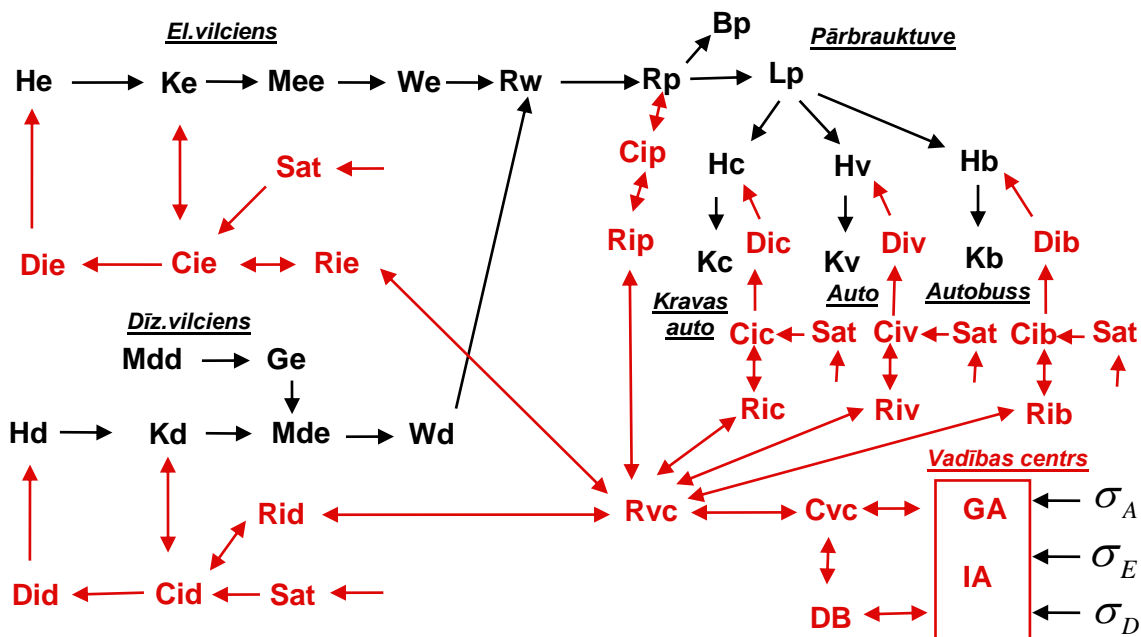
Promocijas darba trešajā nodaļā aprakstīts izstrādātās iebūvētās iekārtas prototips, parādītas prototipa un tā atsevišķo komponentu elektriskās shēmas, analizētas pieslēgumvietas intelektuālā transporta sistēmas infrastruktūras objektiem, pārbrauktuvēm, ceļu transporta vienībām un sliežu transporta vienībām.

Promocijas darba ceturtajā nodaļā algoritmu aprobācijai diviem transporta plūsmu vadīšanas uzdevumiem tiek izveidots vienkāršots pilsētas sliežu un autotransporta vienību kustības pētīšanas datormodelis ar noteiktu pārbrauktuvju, sliežu un autotransporta vienību skaitu un to kustības sarakstiem. Transporta sistēmas fragmenta vadība tiek modelēta veicot vairākas eksperimentu sērijas saskaņā ar izstrādātajiem algoritmiem.

Promocijas darba piektajā nodaļā tiek analizēti un novērtēti iegūtie eksperimentu rezultāti. Jaunizveidoto sarakstu nobīdes tiek novērtēti ar hipotēžu pārbaudi izmantojot statistiskās novērtēšanas metodes, z-testa, hī-kvadrāta un Kolmogorova-Smirnova testiem.

UZDEVUMA NOSTĀDNE TRANSPORTA KUSTĪBAS SARAKSTU INFORMĀCIJAS SISTĒMAS VADĪBAI NEPAREDZĒTOS GADĪJUMOS

Analizējot transporta sistēmas struktūru konstatēts, ka sliežu transporta līdzekļu vienību vadītāji H_e , H_d un autotransporta līdzekļu vienību vadītāji H_c , H_v un H_b vada attiecīgo transporta līdzekļu vienības iedarbojoties uz šo transporta līdzekļu vadības elementiem K_e , K_d , K_c , K_v un K_b . Dīzeļvilcienu vadības elementi iedarbojas uz dīzeļvilciena elektrodzinējiem M_{de} , kuri savukārt caur ģeneratoriem G_e saistīti ar dīzeļdzinējiem M_{dd} . Elektrovilcieniem vadības iekārtas iedarbojas uz elektrodzinējiem M_{ee} . Sliežu transporta transmisijas W_e un W_d caur sliežu ķēdēm R_w iedarbojas uz pārbrauktuvju relejiem R_p , kuri savukārt nodod vadības signālus pārbrauktuvju barjerām B_p un luksoforiem L_p . Šos vizuālos vadības signālus vizuāli uztver autotransporta vienību vadītāji un pieņem lēmumu atbilstoši reaģēt. Papildus vizuālajiem vadības signāliem sliežu transporta vadītājiem un autobusu vadītājiem ir noteikti vadāmo transporta vienību kustības saraksti $\sigma_E \sigma_A \sigma_D$. Kā šīs sistēmas trūkumi minams tas, ka nav koordinācijas starp dažādu tipu transporta līdzekļiem, vadītājiem nav pietiekošas informācijas par situāciju maršrutā, kustības sarakstu ievērošana pilnīgi atkarīga no vadītāju iemaņām. Promocijas darbā piedāvāts papildināt transporta sistēmu ar vairākiem elementiem, tādejādi izveidojot Intelektuālo Transporta Sistēmu (ITS). ITS struktūras shēma parādīta Att.1



Att.1 Piedāvāto transporta sistēmas elementu mijiedarbība ar esošo sistēmu

Saskaņā ar piedāvāto transporta sistēmas shēmu katra transporta sistēmas vienība tiek papildināta ar kontrolleriem Cic, Civ, Cib, Cie, Cid, kuri caur uztvērējiem SAT no GPS satelītiem iegūst informāciju par sistēmas kustīgo vienību pašreizējo atrašanās vietu un ātrumu. Ar kontrolleriem Cip tiek vadītas dzelzceļa pārbrauktuves. Transporta sistēma tiek papildināta ar vadības centru, kurā atrodas vadības centra kontrollers Cvc, datu bāze DB, imūnā un ģenētiskā algoritma bloki IA, GA. Tāpat vadības centrā tiek ievadīta informācija par visu transporta sistēmas sarakstiem pakļauto vienību kustības sarakstiem $\sigma_E \sigma_A \sigma_D$. Vadības centrs caur raidītāju Rvc pārraida un uztver vadības signālus no visās transporta sistēmas vienībās uzstādītajiem raidītājiem Ric, Riv, Rib, Rie, Rid, Rip. Atkarībā no transporta vienību saņemtajiem signāliem un atbilstoši kustību sarakstiem, datu bāzei, saskaņā ar izstrādātajiem algoritmiem vadības centrā tiek ģenerēts aktuālajai situācijai transporta sistēmā piemērots kustības saraksts katrai sistēmas vienībai un caur raidītājiem iebūvētie kontrolleri tiek pārraidīta rekomendējoša informācija uz transporta vienībās uzstādītajiem displejiem Dic, Div, Dib, Die, Did, Dip. Atkarībā no rekomendācijām transporta vienību vadītāji pieņem atbilstošu lēmumu par piemērotākā ātruma izvēli. Ja transporta vienību sadursmes varbūtība sasniedz kritisko vērtību un ir nepieciešams uzsākt nekavējošu sliežu transporta vienības bremsēšanu, kontrolleris signālu par šīs darbības uzsākšanu nosūta sliežu transporta vienības avārijas bremsēšanas sistēmai bez mašīnista iejaukšanās. Tādejādi kļūst iespējams koordinēti vadīt visu transporta sistēmu kopumā, tā ļauj izstrādāt vadības modeli, nosūtīt katram transporta vienības vadītājam rekomendējoša rakstura informāciju lēmuma pieņemšanai, vai, avārijas varbūtībai sasniedzot kritisko robežu, ietekmēt bremsēšanas sistēmu bez cilvēka iejaukšanās un novērst iespējamās sadursmes.

Izstrādātā mērķa funkcija uzdevuma risināšanai

Mērķa funkcija tiek izteikta kā piecu transporta plūsmu raksturojošu atsevišķu kritēriju kopa. Kā svarīgākie uzdevuma atrisināšanai tiek definēti sekojošie kritēriji:

- elektroenerģijas patēriņa kritērijs E (patērētā elektroenerģija transporta paātrināšanai)
- pretsadursmju kritērijs Q (dažādu transporta veidu vienību vienlaicīgas atrašanās plūsmu krustošanās punktos X varbūtība)

- vienlaicīguma kritērijs Θ (viena transporta veida dažādu pretējos virzienos braucošu vienību vienlaicīgas atrašanās plūsmu krustošanās punktos X)
- dīkstāves kritērijs T_{Σ} (transporta līdzekļu summārais dīkstāves laiks kopējā plūsmā)
- nobīdes kritērijs Δt_{sum} (izmaiņu rezultātā jaunizveidoto kustības sarakstu nobīde no jau esošā)

$$F(\Delta t) = \begin{cases} E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} \int_{t_1^j}^{t_2^j} UI dt \rightarrow \min \\ Q = Q(T_X^1 \cap \dots \cap T_X^i \cap \dots \cap T_X^n) \rightarrow \min \\ \Theta = \left| \left[t_{S \max}^{U^{2 \rightarrow}} ; t_{B \min}^{U^{2 \rightarrow}} \right] \cup \left[t_{S \max}^{U^{2 \leftarrow}} ; t_{B \min}^{U^{2 \leftarrow}} \right] \right| \rightarrow \min \\ T_{\Sigma} = f(\Sigma) \rightarrow \min \\ \Delta t_{sum} = f(\Sigma, \Sigma') \rightarrow \min \end{cases} \quad (1)$$

Kopējās mērķa funkcijas aprēķināšana tiek veikta aprēķinot un normalizējot katru mērķa funkcijas sastāvdaļu, turklāt katrai sastāvdaļai tiek piešķirts eksperta noteikts nozīmīgumu raksturojošs svara koeficients. Mērķa funkcijas atsevišķie kritēriju normalizēšanai tiek izmantoti sekojoši vienādojumi

$$\begin{aligned} E_{norm} &= \frac{E_{\max} - E}{E_{\max} - E_{\min}} \\ Q_{norm} &= Q \\ \Theta_{norm} &= \frac{\Theta_{\max} - \Theta}{\Theta_{\max} - \Theta_{\min}} \\ T_{\Sigma norm} &= \frac{T_{\Sigma} - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \\ \Delta t_{sum, norm} &= \frac{\Delta t - \Delta t_{\min}}{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}} \end{aligned} \quad (2)$$

Tiek piedāvāts katram kritērijam noteikt to nozīmīgumu raksturojošus svaru koeficientus

α_E - elektroenerģijas patēriņa svaru koeficients

α_Q - pretsadursmju kritērija svaru koeficients

α_{Θ} - vienlaicīguma kritērija svaru koeficients

$\alpha_{T_{\Sigma}}$ - dīkstāves kritērija svaru koeficients

$\alpha_{\Delta t}$ - nobīdes kritērija svaru koeficients

Tādejādi kopējās mērķa funkcijas aprēķins tiek izteikts ar šādu formulu:

$$F(\Delta t) = \alpha_E E_{norm} + \alpha_Q Q_{norm} + \alpha_{\Theta} \Theta_{norm} + \alpha_{T_{\Sigma}} T_{\Sigma norm} + \alpha_{\Delta t} \Delta t_{sum, norm} \rightarrow \min \quad (3)$$

Izvirzītā hipotēze

Analizējot izstrādāto mērķa funkcijas kritērijus tiek izvirzītas sekojošas hipotēzes:
Eksistē tādi kustību saraksti
 $\Sigma\alpha = (\sigma\alpha_1, \dots, \sigma\alpha_n)$; $\Sigma\beta = (\sigma\beta_1, \dots, \sigma\beta_n)$; $\Sigma a = (\sigma a_1, \dots, \sigma a_n)$; $\Sigma b = (\sigma b_1, \dots, \sigma b_n)$;
pie kuriem izpildās šādi nosacījumi:

1. α , β , a un b m punktos X neatrodas vienlaicīgi;

$$(d(a_{ts}) \cup d(b_{ts})) \cap (d(\alpha_{tb}) \cup d(\beta_{tb})) = \emptyset \quad (4)$$

kur: $d(a_{ts})$ un $d(b_{ts})$ – vienību a un b plūsmu krustošanās punktos X veicamo darbu sākuma momenti

$d(\alpha_{tb})$ un $d(\beta_{tb})$ – vienību α un β plūsmu krustošanās punktos X veicamo darbu beigu momenti

2. pretēji virzošās vienības α un β punktos X atrodas vienlaicīgi;

$$\text{ja } d(\alpha) > d(\beta), \text{ tad } \begin{cases} t_\alpha^s \leq t_\beta^s \\ t_\alpha^b \geq t_\beta^b \end{cases}$$

$$\text{un ja } d(\alpha) < d(\beta), \text{ tad } \begin{cases} t_\alpha^s \geq t_\beta^s \\ t_\alpha^b \leq t_\beta^b \end{cases}$$

kur t_α^s : t_α^b un t_β^s ; t_β^b ir transporta vienību α un β darbu sākuma un beigu momenti

IZSTRĀDĀTIE ALGORITMI TRANSPORTA SISTĒMAS INFORMĀCIJAS PLŪSMU VADĪBAI UN KUSTĪBAS SARAKSTU VEIDOŠANAI

Mērķa funkcijas kopējās vērtības aprēķina algoritms pārbrauktuves šķērsošanas uzdevumam

Dots: visu autotransporta maršrutu un dzelzceļa transportu maršrutu krustošanās punktu koordinātes: $\chi_s^p = \{\chi_s^{p^1}, \chi_s^{p^2}, \dots, \chi_s^{p^c}\}$; $\psi_s^{p^1} = \{\psi_s^{p^1}, \psi_s^{p^2}, \dots, \psi_s^{p^c}\}$

χ_s^p - dzelzceļa posma (pārbrauktuves) sākuma punkta ģeogrāfiskais platums

ψ_s^p - dzelzceļa posma (pārbrauktuves) sākuma punkta ģeogrāfiskais garums

c – pārbrauktuvju skaits

\bar{V}^u - katras transporta vienības u vidējais ātrums m/s $u \in U^1 \cup U^2 \cup U^3$,

V_s - katras transporta vienības u ātruma standarta novirze m/s

L_u – katra vilciena $u \in U^1$ garums, m

t_{vest}^p – katras pārbrauktuves $p \in P^2$ direktīvais drošas aizvēršanas laiks

1. solis. Noteikt visu autotransporta un dzelzceļa transporta vienību pašreizējo ātrumu

$$V_{\text{tek}} = \text{norm}(\bar{V}^u, V_s) \text{ m/s} \quad (5)$$

2. solis Katram transporta līdzeklim, kura maršruts krustojas ar cita tipa transporta maršrutu, noteikt:

- 2.1. pašreizējo atrašanās vietu maršrutā

$$\langle \chi_0^1, \psi_0^1 \rangle; \langle \chi_0^2, \psi_0^2 \rangle; \dots; \langle \chi_0^U, \psi_0^U \rangle$$

2.2. attālumus $d_{u,p}$ no pašreizējās atrašanās vietas līdz visiem priekšā esošajiem maršrutu krustojanās punktiem

$$d_{u,p} = \sqrt{(\chi_1^{R^U} - \chi_0^{U_n})^2 + (\psi_1^{R^U} - \psi_0^{U_n})^2} + \sum_{i=2}^z \sqrt{(\chi_i^{R^U} - \chi_{i-1}^{R^U})^2 + (\psi_i^{R^U} - \psi_{i-1}^{R^U})^2} \text{ m} \quad (6)$$

pie kam $u \in U$ un $p \in P^2$; z – procesoru skaits līdz pārbrauktuvei p saskaņā ar maršrutu

2.3. vidējo nepieciešamo braukšanas laiku $t_{vid.nepiecieš}^U$ no pašreizējās atrašanās vietas līdz maršrutu krustojanās punktam

$$t_{vid.nepiecieš}^U = \left(\frac{d_{u,p}}{(\bar{V}^u + V_S)} + \frac{d_{u,p}}{(\bar{V}^u - V_S)} \right) / 2 \text{ s} \quad (7)$$

2.4. standarta novirzi laikam t_S^U

$$t_S^U = t_{vid.nepiecieš}^U - \frac{d_{u,p}}{\bar{V}^u + V_S} \text{ s} \quad (8)$$

3.solis. Noteikt laika normālā blīvuma sadalījuma krustojanās intervālu t^{int} , kad attiecīgais dzelzceļa un autotransporta vienību pāris $\langle u_1, u_2 \rangle$ vai $\langle u_1, u_3 \rangle$ atradīsies tiem atbilstošo maršrutu krustojanās punktā p:

$$t^{int} = [t_{min}^{int}; t_{max}^{int}] = [t_{min}^1; t_{max}^1] \cap [t_{min}^2; t_{max}^2] \quad (9)$$

4.solis Noteikt varbūtību Q tam gadījumam ξ , kad:

4.1. autotransports atradīsies maršrutu krustojanās punktā laika intervālā t^{int}

$$Q^{U^2U^3} = \Phi\left(\frac{t_{max}^{int} - t_{vid.nepiecieš}^{U^2U^3}}{t_S^{U^2U^3}}\right) - \Phi\left(\frac{t_{min}^{int} - t_{vid.nepiecieš}^{U^2U^3}}{t_S^{U^2U^3}}\right) \quad (10)$$

4.2. vilciens atradīsies maršrutu krustojanās punktā laika intervālā t^{int}

$$Q^{U^1} = \Phi\left(\frac{t_{max}^{int} - t_{vid.nepiecieš}^{U^1}}{t_S^{U^1}}\right) - \Phi\left(\frac{t_{min}^{int} - t_{vid.nepiecieš}^{U^1}}{t_S^{U^1}}\right) \quad (11)$$

5.solis noteikt kopējo varbūtību Q^{kop}

$$Q^{kop} = Q^{U^2U^3} * Q^{U^1} \quad (12)$$

6.solis Noteikt maksimālo varbūtību Q^{max} gadījumam, ka abi transporta līdzekļi atradīsies maršrutu krustojanās punktā laika intervālā t^{int}

$$Q^{max} = \max(Q^{kop1}; Q^{kop2}, \dots, Q^{kopn}) \quad (13)$$

7. solis. Katram vilciens-pārbrauktuve pārim $\langle u, p \rangle$, pie kam $u \in U^1$ un $p \in P^2$, noteikt:

7.1. maksimālo nepieciešamo braukšanas laiku $t_{max.pirm}^{u,p}$ pirmajam vagonam no pašreizējās atrašanās vietas līdz pārbrauktuves aizvēršanas punktam

$$t_{max.pirm}^{u,p} = \frac{d_{u,p}}{(\bar{V}^u - V_S)} - t_{vest}^p \text{ s} \quad (14)$$

7.2. minimālo nepieciešamo braukšanas laiku $t_{min.pirm}^{u,p}$ pirmajam vagonam no pašreizējās atrašanās vietas līdz pārbrauktuves aizvēršanas punktam

$$t_{\min.pirm}^{u^1,p} = \frac{d_{u,p}}{(\bar{V}^u + V_S)} - t_{vest}^p \text{ s} \quad (15)$$

7.3. maksimālo nepieciešamo braukšanas laiku $t_{\max.ped}^{u^1,p}$ pēdējam vagonam no pašreizējās atrašanās vietas līdz tuvākās pārbrauktuves atvēršanas punktam

$$t_{\max.ped}^{u^1,p} = \frac{d_{u,p} + L_u}{\bar{V}^u - V_S} \text{ s} \quad (16)$$

7.4. minimālo nepieciešamo braukšanas laiku $t_{\min.ped}^{u^1,p}$ pēdējam vagonam no pašreizējās atrašanās vietas līdz tuvākās pārbrauktuves atvēršanas punktam

$$t_{\min.ped}^{u^1,p} = \frac{d_{u,p} + L_u}{\bar{V}^u + V_S} \text{ s} \quad (17)$$

8.solis Aprēķināt katras pārbrauktuves:

8.1. vidējo aizvēršanas laiku katram vilcienam

$$t_{vid}^{aizvers} = \frac{t_{\min.pirm}^{u^1,p} + t_{\max.pirm}^{u^1,p}}{2} \text{ s} \quad (18)$$

8.2. vidējo atvēršanas laiku katram vilcienam

$$t_{vid}^{atvers} = \frac{t_{\min.ped}^{u^1,p} + t_{\max.ped}^{u^1,p}}{2} \text{ s} \quad (19)$$

9.solis Aprēķināt divām pretējos virzienos braucošām vienībām kopīgo pārbrauktuves atrašanās laiku slēgtā stāvoklī t_{slegts}^{kop}

$$t_{slegts}^{kop} = \left| \left[t_{sakuma}^{int} ; t_{beigu}^{int} \right] \right| = \left| \left[t_{vid}^{aizversU^{1 \rightarrow}} ; t_{vid}^{atversU^{1 \rightarrow}} \right] \cap \left[t_{vid}^{aizversU^{2 \leftarrow}} ; t_{vid}^{atversU^{2 \leftarrow}} \right] \right| \text{ s} \quad (20)$$

10.solis Aprēķināt summāro pretējos virzienos braucošo vienību pārbrauktuves atrašanās slēgtā stāvoklī laiku Θ

$$\Theta = \sum_{i=1}^n t_{slegts}^{kop\ i} \quad (21)$$

11.solis. Aprēķināt katras autotransporta vienības dīkstāves laiku $t_{dikst}^{u^{2,3}}$

$$\text{IF } t_{vid}^{aizvers} \leq t_{vid,nepiecieš}^{u^{2,3}} \leq t_{vid}^{atvers} \text{ THEN } t_{dikst}^{u^{2,3}} = t_{vid}^{atvers} - t_{vid,nepiecieš}^{u^{2,3}} \text{ ELSE } t_{dikst}^{u^{2,3}} = 0 \quad (22)$$

12.solis. Aprēķināt summāro autotransporta vienību dīkstāves laiku T_{Σ}

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n^{U1}} t_{dikst}^i + \sum_{i=1}^{n^{U2}} t_{dikst}^i \text{ s} \quad (23)$$

13. solis. Aprēķināt sarakstu izmaiņu summāro novirzi Δt no esošā

$$\Delta t_{sum} = \sum_{i=1}^3 \Delta t^{U^i} \quad (24)$$

14.solis. Aprēķināt normalizētās vērtības:

14.1. vienlaicīguma kritērijam

$$\Theta_{norm} = \frac{\Theta_{\max} - \Theta}{\Theta_{\max} - \Theta_{\min}} \quad (25)$$

14.2. dīkstāves kritērijam

$$T_{\Sigma norm} = \frac{T_{\Sigma} - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (26)$$

14.3. nobīdes kritērijam

$$\Delta t_{sumnorm} = \frac{\Delta t - \Delta t_{min}}{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}} \quad (27)$$

15.solis. Aprēķināt kopējo mērķa funkcijas vērtību

$$F = \alpha_Q Q_{norm} + \alpha_\Theta \Theta_{norm} + \alpha_{T_s} T_{\Sigma norm} + \alpha_{\Delta} \Delta t_{sumnorm} \quad (28)$$

Dubultās populācijas imūnais algoritms transporta plūsmu vadībai

Nomenklatūra

A(0) – sākotnējā antiķermeņu populācija

M(0) – sākotnējā atmiņas populācija

$N_c > n$ - vesels skaitlis, klonu izmērs

T_p^C - klonu pavairošanas operators

T_M^A - līdzības attīstīšanas operators

T_s^C - klonu izvēles operators

T_M^U - atmiņas papildināšanas operators

T_A^U - antiķermeņu papildināšanas operators

T% - atgriezeniskās saites koeficients

s - atmiņas populācijas izmērs

Solis1. Inicializācija. Pēc nejaušības principa tiek veidota inicializācijas jeb sākotnējā antiķermeņu populācija $A(0) = \{a_1(0), a_2(0), \dots, a_n(0)\}$. Tāpat pēc nejaušības principa tiek veidota sākotnējā atmiņas populācija $M(0) = \{m_1(0), m_2(0), \dots, m_s(0)\}$. Aprēķina līdzību visiem antiķermeņiem no kopām A(0) un M(0). Sākotnēji $k = 0$.

Solis2. Klonu pavairošana. No kopas A(k) pielietojot klonu pavairošanas operatoru T_p^C iegūst kopu Y(k).

$$Y(k) = T_p^C(A(k)) = \{T_p^C(a_1(k)), T_p^C(a_2(k)), \dots, T_p^C(a_n(k))\} \quad (29)$$

kur $Y_i(k) = T_p^C(a_i(k)) = I_i \times a_i(k)$, $i = 1, 2, \dots, n$, pie kam I_i ir q_i dimensiju vienības vektors.

$$q_i(k) = \left\lfloor N_c \times \frac{\text{affinity}(a_i(k))}{\sum_{j=1}^n \text{affinity}(a_j(k))} \right\rfloor, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (30)$$

$q_i(k)$ vērtība ir proporcionāla līdzības mērvienībai. Pēc klonu pavairošanas populācija kļūst vienāda ar sekojošo

$$Y(k) = \{Y_1(k), Y_2(k), \dots, Y_n(k)\}, \quad (31)$$

kur $Y_i(k) = \{y_{ij}(k)\} = \{y_{i1}(k), y_{i2}(k), \dots, y_{iq_i}(k)\}$, $y_{ij}(k) = a_i(k)$, $j = 1, 2, \dots, q_i$, $i = 1, 2, \dots, n$

Solis3. Līdzības attīstīšana. No kopas Y(k) pielietojot līdzības attīstīšanas operatoru T_M^A iegūst kopu Z(k)

$$Z(k) = \{Z_1(k), Z_2(k), \dots, Z_n(k)\}, \quad (32)$$

kur $Z_i(k) = \{z_{ij}(k)\} = \{z_{i1}(k), z_{i2}(k), \dots, z_{iq_i}(k)\}$, $z_{ij}(k) = T_M^A(y_{ij}(k))$, $j = 1, 2, \dots, q_i$, $i = 1, 2, \dots, n$

Solis4. Novērtēšana. Līdzības aprēķināšana visiem kopas $Z(k)$ elementiem

Solis5. Klonu izvēle. Pielietojot kopas $Z(k) \cup A(k)$ klonu izvēles operatoru T_S^C iegūst kopu $A(k+1)$.

Definē, ka $\forall i = 1, 2, \dots, n$; $z_i^*(k) \in Z_i(k)$ ir vislabākais antiķermenis kopā $Z_i(k)$, tad

$$a_i(k+1) = T_S^C(Z_i(k) \cup a_i(k)) = \begin{cases} z_i^*(k) & \text{if } \text{affinity}(a_i(k)) \leq \text{affinity}(z_i^*(k)) \\ a_i(k) & \text{if } \text{affinity}(a_i(k)) > \text{affinity}(z_i^*(k)) \end{cases} \quad (33)$$

Nākamā populācija tiek aprēķināta kā

$$A(k+1) = T_S^C(Z(k) \cup A(k)) = \{T_S^C(Z_1(k) \cup a_1(k)), T_S^C(Z_2(k) \cup a_2(k)), \dots, T_S^C(Z_n(k) \cup a_n(k))\} = \{a_1(k+1), a_2(k+1), \dots, a_n(k+1)\}, \quad (34)$$

kur $a_i(k+1) = T_S^C(Z_i(k) \cup a_i(k))$, $i = 1, 2, \dots, n$

Solis6. Atmiņas populācijas papildināšana. Papildinot kopu $M(k)$ izmantojot atmiņas papildināšanas operatoru T_M^U iegūst jaunu atmiņas populāciju $M(k+1)$

Definē, ka $a^*(k+1) \in A(k+1)$ ir labākais antiķermenis populācijā $A(k+1)$, tad aprēķina atšķirību (attālumu) starp $a^*(k+1)$ un katru kopas $M(k)$ elementu. Ja atšķirība (attālums) starp $m_j(k)$ un $a^*(k+1)$ ir minimāla un tā vērtība ir δ_{j0} tad ir divas iespējas. Pirmā, $\delta_{j0} \leq \delta_0$ kur δ_0 ir minimālā atšķirība (attālums) starp katriem diviem kopas $M(k)$ elementiem, tad salīdzina $a^*(k+1)$ un $m_j(k)$ līdzību šādi

$$m_j(k+1) = \begin{cases} a^*(k+1) & \text{if } \text{affinity}(a^*(k+1)) > \text{affinity}(m_j(k)) \\ m_j(k) & \text{else} \end{cases} \quad (35)$$

Otrā gadījumā, ja $\delta_{j0} > \delta_0$, tad antiķermeni $a^*(k+1)$ pievieno atmiņas populācijai un izdzēš sliktāko vērtību atmiņas populācijā. Rezultātā iegūst

$$M(k+1) = \{m_1(k+1), m_2(k+1), \dots, m_s(k+1)\} \quad (36)$$

Solis7. Antiķermeņu populācijas papildināšana. To veic savstarpēji mijiedarbojoties $M(k+1)$ un $A(k+1)$ ar antiķermeņu papildināšanas operatoru T_A^U . Sliktākos t antiķermeņus no kopas $A(k)$ aizstāj ar nejauši izvēlētiem $t = \lfloor T\% \times s \rfloor$ antiķermeņiem no $M(k+1)$ kopas.

Solis8. Pārtraukšanas kritērija pārbaude. Ja pārtraukšanas kritēriju nosacījumi ir apmierināti, algoritms tiek pārtraukts. Ja nē, tad $k = k+1$ un iet uz Solis2.

Genētiskais algoritms transporta plūsmu vadībai

Solis 1. Inicializācija. Inicializē sarakstu nobīdes kopu: $SNK = \{\Delta t^1, \Delta t^2, \dots, \Delta t^p\}$

$\Delta t^i = \{\Delta t_1^i, \Delta t_2^i, \dots, \Delta t_n^i\}$ - i-tā nobīžu kopa,

kur

p – populācijas izmērs (pāra skaitlis);

n – transporta līdzekļu skaits,

Δt_j^i - j-tā transporta līdzekļa nobīde no sākotnējā saraksta

$i = 1 \dots p$; $j = 1 \dots n$

Solis 2. Novērtēšana. Aprēķina (novērtē) pēc mērķa funkcijas:

$$MF = \{F(\Delta t^1), F(\Delta t^2), \dots, F(\Delta t^p)\}; \quad (37)$$

Solis 3. Sakārtošana Sakārtot sarakstu nobīžu kopas pēc novērtējuma:

$$\overline{SNK} = \{\overline{\Delta t^1}, \overline{\Delta t^2}, \dots, \overline{\Delta t^p}\} \quad F(\overline{\Delta t^1}) = \min(MF), \quad F(\overline{\Delta t^{i-1}}) \leq F(\overline{\Delta t^i}), \quad i = 2, p \quad (38)$$

Solis 4. Elites veidošana. Izvēlēties labākās nobīžu kopas elites kopas veidošanai

$$SNK_{elite} \subset \overline{SNK}; \quad (39)$$

Solis 5. Selekcijas procedūra. Tiek izvēlēts nejaušas selekcijas algoritms

$$SNK_{sel} = \overline{SNK}; \quad (40)$$

5.1. ģenerē gadījuma skaitli $g \in [1, p]$

5.2. papildina selekcijas kopu SNK_{sel} ar g -to elementu no nobīžu kopas un no nobīžu kopas atņem g -to elementu.

$$SNK_{sel} = SNK_{sel} \cup \{\overline{\Delta t^g}\}, \quad \overline{SNK} = \overline{SNK} \setminus \{\overline{\Delta t^g}\} \quad (41)$$

5.3. Ja $\overline{SNK} = \emptyset$ tad selekcijas kopas papildināšana pabeigta. Pretējā gadījumā iet uz solis 5.1.

Ar šo procedūru tiek iegūta rekombinēta kopas SNK elementu kopa

$$SNK_{sel} = \{< \Delta \hat{t}^1, \Delta \hat{t}^2 >, \dots, < \Delta \hat{t}^{p-1}, \Delta \hat{t}^p >\} \quad (42)$$

Solis 6. Krustošanas procedūra. Tiek izvēlēta viena punkta krustošanas (Single point crossover, SPX)

6.1. solis: Definē bitu b , kurš sadala hromosomu s divās daļās

6.2. solis: No sarakstu nobīžu kopas SNK_{sel}^i kur i – paaudzes kārtas numurs izvēlas pāri:

$$< \Delta t^{j^i}, \Delta t^{(j+1)^i} >$$

6.3. solis: Ģenerē jaunus bitus sarakstu nobīdēm izmantojot šādu likumu:

$$b_k^{j^{i+1}} = \begin{cases} b_k^j, & ja \quad k \leq b \\ b_k^{j+1}, & ja \quad k > b \end{cases}$$

$$b_k^{(j+1)^{i+1}} = \begin{cases} b_k^j, & ja \quad k > b \\ b_k^{j+1}, & ja \quad k \leq b \end{cases} \quad (43)$$

kur k – bita indekss hromosomā ; $k = 1, 2, \dots, z$; kur z ir bitu skaits sarakstu nobīdes kopā

6.4. solis Nākošās paaudzes sarakstu nobīžu kopas sastāv no aprēķinātajiem bitiem

$$\Delta t^{j^{i+1}} = \{b_1^{j^{i+1}}, b_2^{j^{i+1}}, \dots, b_z^{j^{i+1}}\}$$

$$\Delta t^{(j+1)^{i+1}} = \{b_1^{(j+1)^{i+1}}, b_2^{(j+1)^{i+1}}, \dots, b_z^{(j+1)^{i+1}}\} \quad (44)$$

6.5. solis Ja $j + 1 = p$, tad procedūru beidz ar jaunas $(i+1)$ paaudzes sarakstu nobīžu kopu:

$$SNK^{i+1} = \{\Delta t^{1^{i+1}}, \Delta t^{2^{i+1}}, \dots, \Delta t^{p-1^{i+1}}, \Delta t^{p^{i+1}}\} \quad (45)$$

Pretējā gadījumā iet uz 6.2. solis

Solis 7. Mutācijas procedūra. Nejaušu izmaiņu ieviešana algoritma darbības laikā.

Nepieļauj visu populācijas elementu vienveidību.

7.1. Ģenerē gadījuma skaitli $g = rand(1; 1/\mu)$

kur μ - mutācijas koeficients (tiek pieņemts 1/100)

7.2. Gēns mutē pēc šādas sakarības

Ja $b_k^j = 0$ tad

$$b_k^i = \begin{cases} 0, & ja \quad g > 1 \\ 1, & ja \quad g = 1 \end{cases} \quad (46)$$

pretējā gadījumā

$$b_k^i = \begin{cases} 1, & ja \quad g > 1 \\ 0, & ja \quad g = 1 \end{cases} \quad (47)$$

Solis 8. Novērtēšana. Novērtēt jauno populāciju pēc mērķa funkcijas:

$$MF^{j+1} = \{F(\Delta t^{1^{j+1}}), F(\Delta t^{2^{j+1}}), \dots, F(\Delta t^{p^{j+1}})\}; \quad (48)$$

Solis 9. Sakārtošana pēc novērtējuma. Sakārtot jauno populāciju pēc novērtējuma:

$$\overline{SNK}^{j+1} = \{\overline{\Delta t^{1^{j+1}}}, \overline{\Delta t^{2^{j+1}}}, \dots, \overline{\Delta t^{p^{j+1}}}\}; \quad F(\overline{\Delta t^{j+1}}) = \min(MF), \quad F(\overline{\Delta t^{i-1^{j+1}}}) \leq F(\overline{\Delta t^{i^{j+1}}}), \quad i = 2, p \quad (49)$$

Solis 10. Jaunās paaudzes savienošana ar eliti:

$$SNK = (SNK_{elite} + \overline{SNK}^{j+1}) \quad (50)$$

Solis 11. Izdzēšana. Izdzēs pēdējos indivīdus no savienotās populācijas, ja jaunā populācija ir lielāka par noteikto izmēru:

$$SNK = SNK \setminus \{\Delta t^{p+1}, \Delta t^{p+2}, \dots\} \quad (51)$$

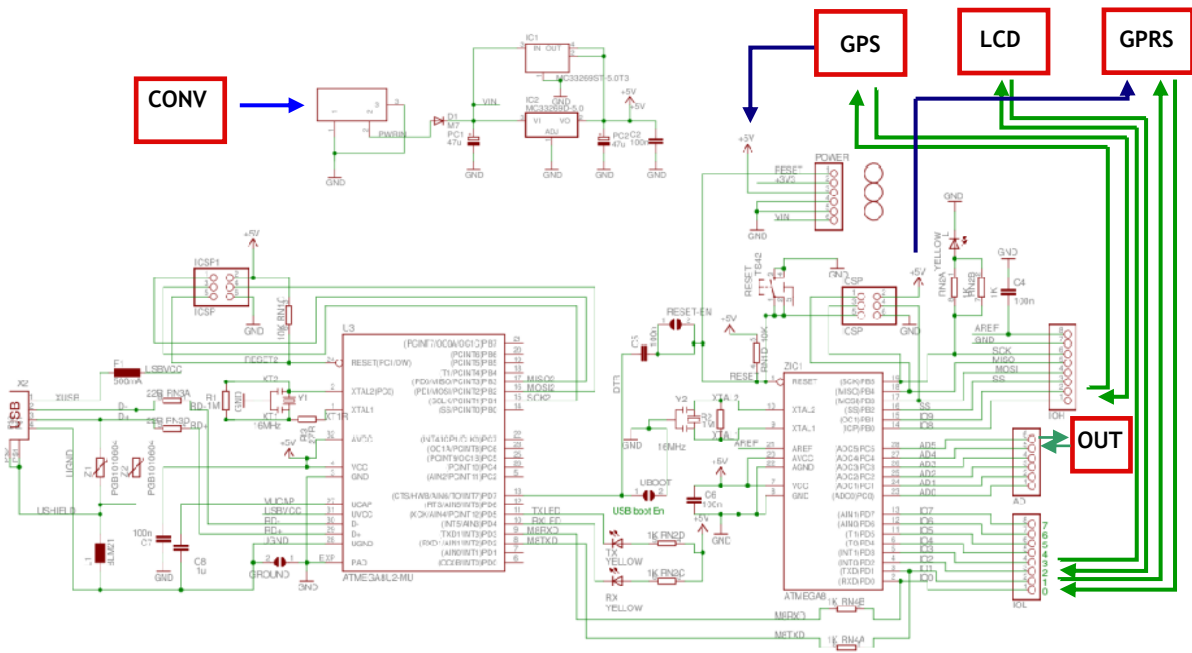
IEBŪVĒTO IEKĀRTU PIELIETOŠANAS IESPĒJAS SARAKSTU UZDEVUMU RISINĀŠANAI UN TO INTEGRĒŠANA TRANSPORTA SISTĒMĀ

Nemot vērā iepriekšējo pozitīvo pieredzi sakarā ar programmējamo loģisko kontrolleru izmantošanu intelektuālās transporta sistēmas vadīšanai, daudzās šai tēmai veltītās publikācijas zinātnisko rakstu krājumos, RTU aizstāvētos promocijas darbus un saņemtos patentus par kontrolleru un satelītu navigācijas izmantošanu dzelzceļa transporta vadīšanai promocijas darbā tiek piedāvāts transporta vienību vadīšanai izmantot izstrādāto iebūvētās iekārtas prototipu, kura sastāv no šādiem galvenajiem komponentiem:

- kontrollers
- GPS signāla uztvērējs
- GPS uztvērēja antena
- GSM/GPRS raidītājs
- GSM/GPRS antena
- displejs
- konvertors

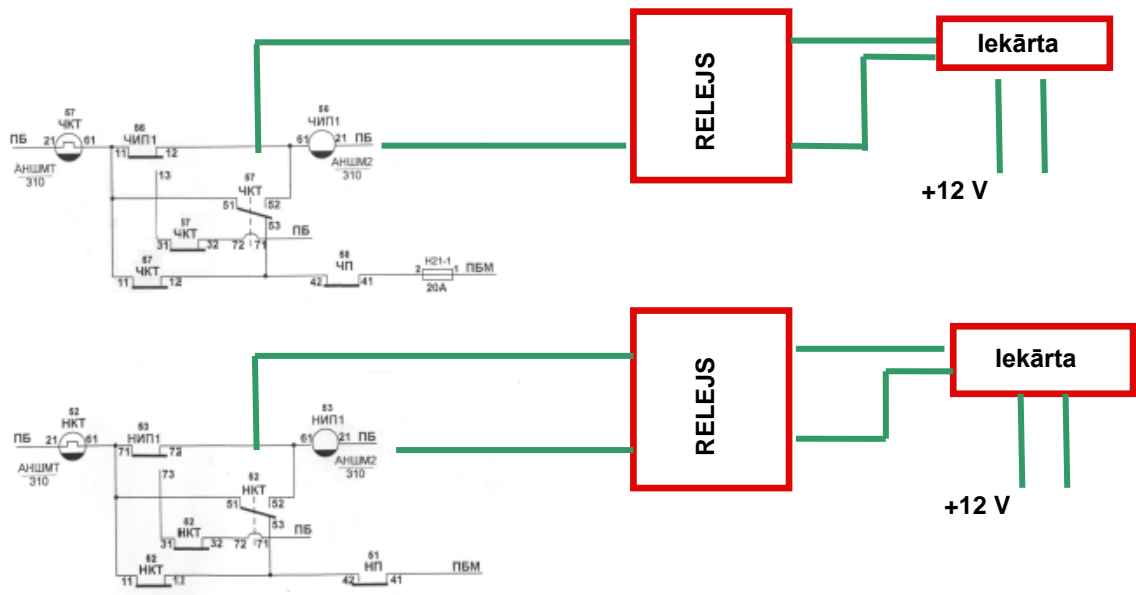
Kā kontrollers izvēlēts uzņēmuma ARDUINO ražotais kontrollers Arduino UNO R3. GPS signāla uztvērējs izvēlēts ražotāja VINCOTECH A1080-B globālās pozicionēšanas modulis ar atbilstošu antenu. GSM/GPRS raidītājs izvēlēts Sagem Hilo GSM/GPRS modulis un atbilstoša GSM raidītāja antena. Displejs izvēlēts ražotāja Seed Studio Serial LCD1602 displejs.

Visu iebūvētās iekārtas komponentu montāžas elektriskā shēma parādīta attēlā Att. 2



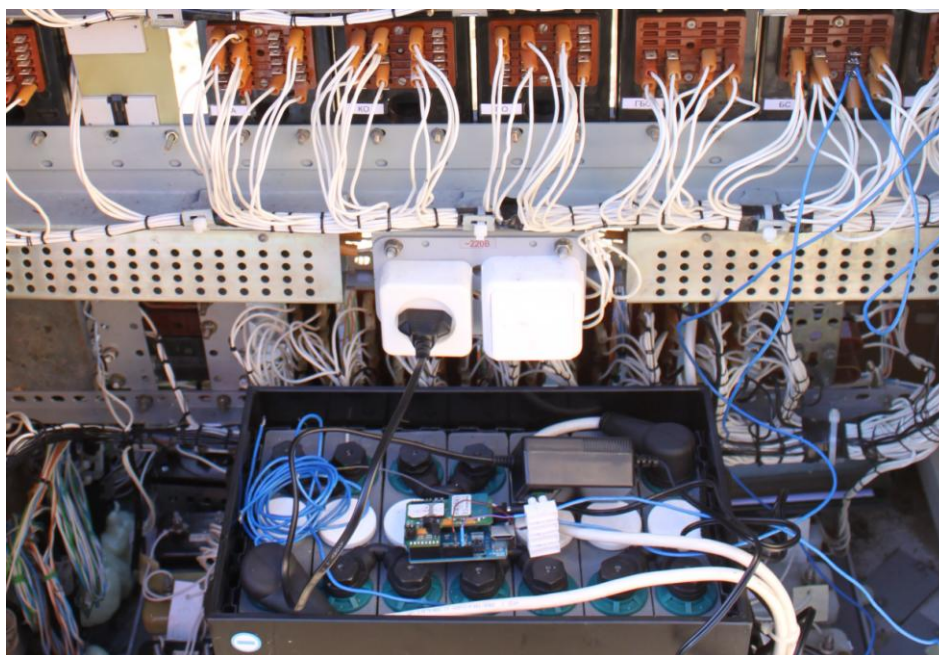
Att. 2. Iebūvētās iekārtas komponentu montāžas shēma

Pārbrauktuvju aizvēršanu nodrošina sadales skapja ŠRU-M shēmā esošie pāra un nepāra virzienos atrodošos pārbrauktuvju barjeru aizvēršanas slēdži. Barjeru aizvēršana notiek brīdī, kad vilciens uzbrauc uz sliežu ķēdes un normāli ieslēgtie slēdži pārtrauc elektrisko ķēdi. Caur normāli ieslēgtiem relejiem paralēli pievienojot pie šiem slēdžiem iebūvēto iekārtu pārbrauktuves aizvēršanu nosaka vadības centra komanda. Šinī gadījumā pārbrauktuves vadība notiek caur raidītājiem pārraidot vadības centra ģenerēto signālu attālināti bez papildus vadu instalēšanas no sliežu ķēdēm uz sadales skapi. Pārbrauktuves vadības iebūvētās iekārtas montāžas shēma parādīta Att. 3



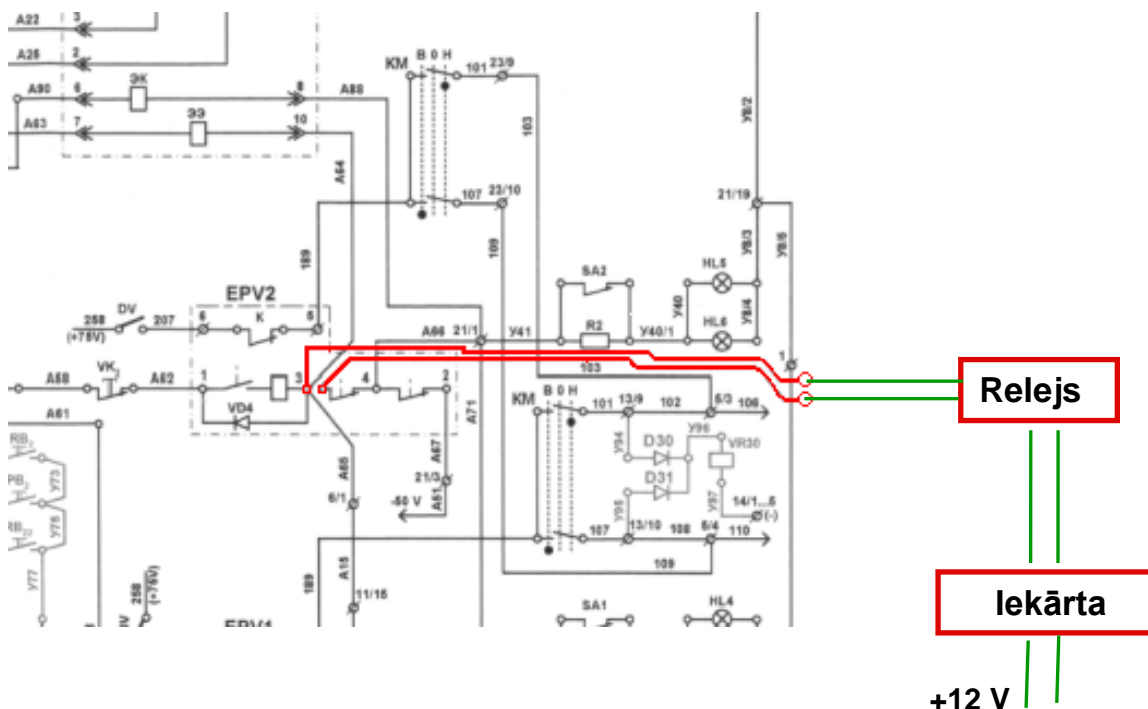
Att. 3. Pārbrauktuves vadības iebūvētās iekārtas elektriskā shēma

Iebūvētās iekārtas pieslēgšana pie pārbrauktuves vadības slēdžiem sadales skapī ŠRU M parādīta Att. 4



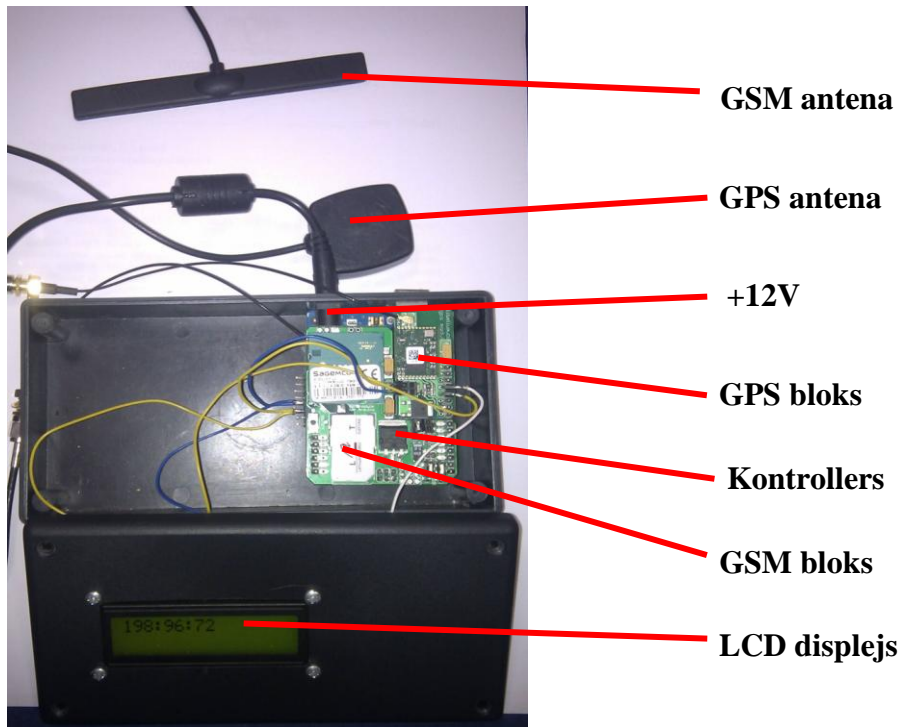
Att. 4. Iebūvētās iekārtas pieslēgšana sadales skapī

Att. 5 ir parādīts tas lokomotīves E62 elektriskās shēmas ķēdes posms, ar kura palīdzību tiek aktivizēta avārijas bremzēšana. Pārtraucot šo ķēdi un pievienojot iebūvēto iekārtu kā parādīts Att. 5 ir iespējams sadursmes iespējamībai sasniedzot kritisko robežu un saņemot par šīs robežas sasniegšanu atbilstošu signālu no vadības centra, aktivizēt vilciena avārijas bremzēšanu bez vilciena mašīnista iejaukšanās.



Att. 5. Vilciena avārijas bremzēšanas aktivizēšanas elektriskā shēma

Izgatavotais iebūvētās iekārtas prototips attēlots Att. 6



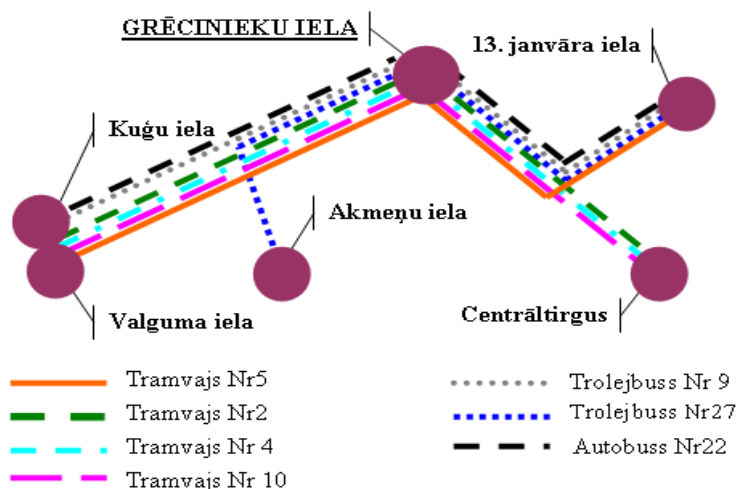
Att. 6. Iekārtas prototips un tā galvenās sastāvdaļas

SABIEDRISKĀ TRANSPORTA DATORMODELĒŠANAS EKSPERIMENTU REZULTĀTI

Izstrādāto algoritmu pārbaudei tiek izveidoti divi datormodeļi pārbrauktuves šķērsošanas un sabiedriskā elektrotransporta kustības vadības uzdevumiem.

Datormodelis elektrotransporta kustības vadības algoritma pārbaudei

Algoritmu darbības pārbaudei tiek definēti visu pieturā „Grēcinieku iela” apkalpoto transporta līdzekļu maršruti, braukšanas ilgums no vienas pieturas līdz otrai, katram maršrutam tiek definēts transporta līdzekļu skaits un ierašanās pieturās intervāli. Datormodeļa shēma ir parādīta Att. 7

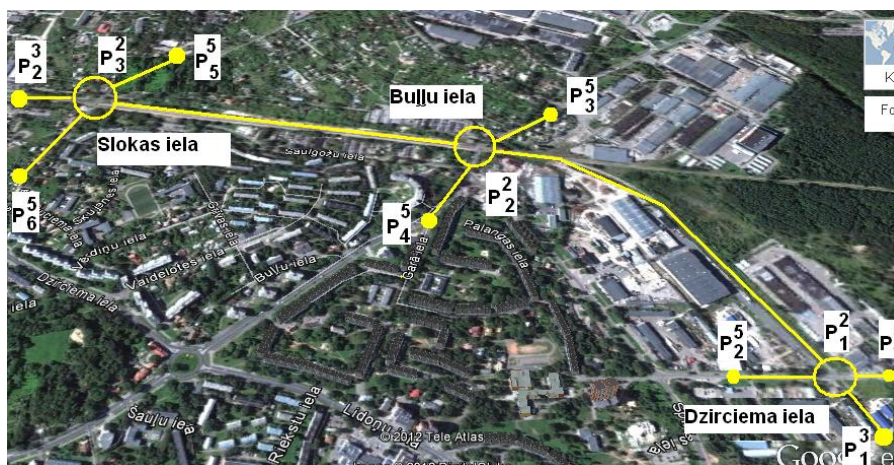


Att. 7. Datormodeļa elektrotransporta uzdevumam shematiskais attēlojums

Datormodelis pārbrauktuves šķērsošanas vadības algoritma pārbaudei

Algoritmu darbības pārbaudei tiek definētas: pārbrauktuvi, autobusu, vilcienu, pieturu, kustības sarakstu un maršrutu kopas.

Datormodeļa shematiskais attēlojums parādīts Att. 8



Att. 8. Datormodeļa pārbrauktuves šķērsošanai shematiskais attēlojums

Evolucionāro algoritmu pielietojums mērķa funkcijas vērtības aprēķināšanai

Lai uzkrātu datus analīzei un novērtēšanai ar statistiskajām novērtēšanas metodēm mainot dažādus evolucionāro algoritmu raksturojošos parametrus ir veiktas katram algoritmam astoņas eksperimentu sērijas pa 30 eksperimentiem katrā sērijā. Kopā ir veikti 2880 eksperimenti. Eksperimentu sērijās tiek mainīta; mērījumu nolasīšanas precizitāte, pieļaujamā nobīde no sākotnējā saraksta, pieļaujamā autobusu un vilcienu ātruma nobīde, populācijas un elites izmērs, mutācijas koeficients, atmiņas bibliotēkas izmērs, klonu skaits.

EKSPERIMENTU REZULTĀTU NOVĒRTĒJUMS IZMANTOJOT HIPOTĒŽU STATISTISKĀS NOVĒRTĒŠANAS METODI

Pārbaudei izvirzītās hipotēzes

Nulles hipotēzes:

H01: Ģenētiskā algoritma piedāvātais saraksts ir labāks par esošo sarakstu

H02: Imūnā algoritma piedāvātais saraksts ir labāks par esošo sarakstu;

un alternatīvās hipotēzes:

H11: Ģenētiskā algoritma piedāvātais saraksts nav labāks par esošo sarakstu

H12: Imūnā algoritma piedāvātais saraksts nav labāks par esošo sarakstu.

Elektroenerģijas patēriņa uzdevums

Katrai eksperimentu sērijai tiek aprēķinātas vidējās kritēriju vērtības un standartnovirzes gan ar imūno algoritmu (IA) gan ar ģenētisko algoritmu (GA) iegūtajiem sarakstiem. Oriģinālā saraksta un pārbaudāmo algoritmu vidējās kritēriju vērtības parādītas Tab. 1

Tab. 1. Rezultāta kritēriju vidējās vērtības

Kritērijs	Oriģinālais	IA	GA
Mērķa funkcijas vērtība	0.246489	0.19643	0.15277
Pārklāšanās varbūtība	0.99987	0.95468	0.74253
Papildus patērētā enerģija Kwh	17.89	0.077	0.17
Sarakstu nobīde min	0	296.42	214.08
Patērētais mašīnlaiks s		2454.48	1895.86

Pielietojot imūno algoritmu datoreksperimentā iegūtās kritēriju vidējās un standartnovirzes vērtības apkopotas Tab. 2

Tab. 2. Imūnā algoritma kritēriju vidējās vērtības un standartnovirzes

Kritērijs	Vidējā vērtība	Standartnovirze
Mērķa funkcijas vērtība	0.19643	0.01752
Pārklāšanas varbūtība	0.95468	0.08751
Papildus patērētā enerģija Kwh	0.077	0.007
Sarakstu nobīde min	296.42	0.13
Patērētais mašīnlaiks s	2454.48	377.54

Imūnā algoritma pielietojuma rezultātu statistikas Z-testa vērtējums papildus elektroenerģijas patēriņa uzdevumam apkopots Tab. 3

Tab. 3. Imūnā algoritma statistikas Z-testa vērtējums

Kritērijs	Ticamības līmenis	Testa intervāls	Pārbaudāmā vērtība	Rezultāts
Mērķa funkcija	99.90%	(0.189 ; 0.2039)	0.2465	H0 nevar tikt noraidīta ar varbūtību 99.90%
Pārklāšanās varbūtība	99.90%	(0.9175 ; 0.9919)	17.8905	H0 nevar tikt noraidīta ar varbūtību 99.90%
Papildus Elektroenerģija	99.90%	(0.0741 ; 0.0801)	0.9999	H0 nevar tikt noraidīta ar varbūtību 99.90%

Pielietojot ģenētisko algoritmu datoreksperimentā iegūtās kritēriju vidējās vērtības apkopotas Tab. 4

Tab. 4. Ģenētiskā algoritma kritēriju vidējās vērtības

Kritērijs	Vidējā vērtība	Standartnovirze
Mērķa funkcijas vērtība	0.15277	0.00472
Pārklāšanās varbūtība	0.74253	0.02359
Papildus patērētā enerģija Kwh	0.17	0.015
Sarakstu nobīde min	214.08	2.83
Patērētais mašīnlaiks s	1895.86	33.90

Ģenētiskā algoritma pielietojuma rezultātu statistikas Z-testa vērtējums elektroenerģijas patēriņa uzdevumam apkopots Tab. 5

Tab. 5. Ģenētiskā algoritma statistikas Z-testa vērtējums

Kritērijs	Ticamības līmenis	Testa intervāls	Pārbaudāmā vērtība	Rezultāts
Mērķa funkcija	99.90%	(0.1508 ; 0.1548)	0.2465	H0 nevar tikt noraidīta ar varbūtību 99.90%
Pārklāšanās varbūtība	99.90%	(0.7325 ; 0.7526)	17.8905	H0 nevar tikt noraidīta ar varbūtību 99.90%
Papildus elektroenerģija	99.90%	(0.165 ; 0.1784)	0.9999	H0 nevar tikt noraidīta ar varbūtību 99.90%

Genētiskā un imūnā algoritma salīdzinājums pēc eksperimentu datiem

Lai salīdzinātu un pārbaudītu, kurš no diviem algoritmiem, imūnais vai ģenētiskais, ir labāks, vispirms ir jāpārbauda vai algoritmu darbības rezultātā iegūtās datu izlases empīriskās sadalījumu funkcijas ir vienādas. Tādējādi var noteikt labāko algoritmu pēc tiem kritērijiem, kuru sadalījumu funkcijas nav vienādas.

Veicot algoritmu pārbaudi ar Hī-kvadrāta un Kolmogorova-Smirnova testiem var secināt, ka algoritmi pilsētas elektrotransporta uzdevumam ir salīdzināmi pēc visiem kritērijiem, izņemot elektroenerģijas patēriņa kritēriju, jo abi algoritmi piedāvā vienādus risinājumus un tādēļ tie netiek salīdzināti.

Algoritmu salīdzināšanai aprēķinātās pilsētas elektrotransporta uzdevuma kritēriju vidējās vērtības ir apkopotas tabulā Tab. 6

Tab. 6. Elektrotransporta uzdevuma kritēriju vērtības

Kritērija vidējā vērtība	IA	GA	GA salīdzinājums ar IA
Mērķa funkcijas vērtība	0.19643	0.15277	22,23%
Pārklāšanās varbūtība	0.95468	0.74253	22,22%
Sarakstu nobīde min	296.42	214.08	27,78%
Patērētais mašīnlaiks s	2454.48	1895.86	22,76%

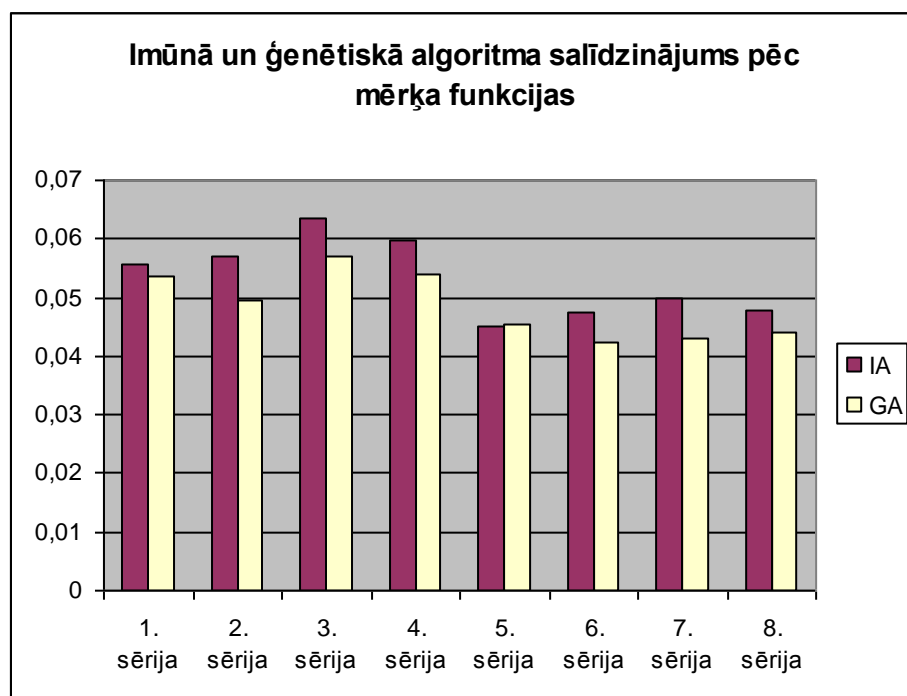
Veicot algoritmu pārbaudi ar Hī-kvadrāta un Kolmogorova-Smirnova testiem var secināt, ka algoritmi pārbrauktuves šķērsošanas uzdevumam ir salīdzināmi pēc mērķa funkcijas kritērija, pēc vienlaicīguma, pēc saraksta nobīdes un pēc patērētā mašīnlaika, jo pēc šiem kritērijiem algoritmu rezultāti atšķiras. Pēc sadursmes varbūtības un pēc dīkstāves kritērija abi algoritmi piedāvā vienādus risinājumus un tādēļ tie netiek salīdzināti.

Algoritmu salīdzināšanai aprēķinātās pārbrauktuves šķērsošanas uzdevuma kritēriju vidējās vērtības ir apkopotas tabulās un attēlos:

- pēc mērķa funkcijas kopējās vērtības Tab. 7, Att. 9

Tab. 7. Mērķa funkcijas vērtības

	IA	GA	GA salīdzinājums ar IA
1. sērija	0,05550	0,05368	3,27%
2. sērija	0,05708	0,04951	13,26%
3. sērija	0,06354	0,05709	10,15%
4. sērija	0,05990	0,05406	9,75%
5. sērija	0,04496	0,04556	-1,32%
6. sērija	0,04749	0,04243	10,64%
7. sērija	0,04988	0,04312	13,54%
8. sērija	0,04772	0,04397	7,86%
Vidējā vērtība			8,40%

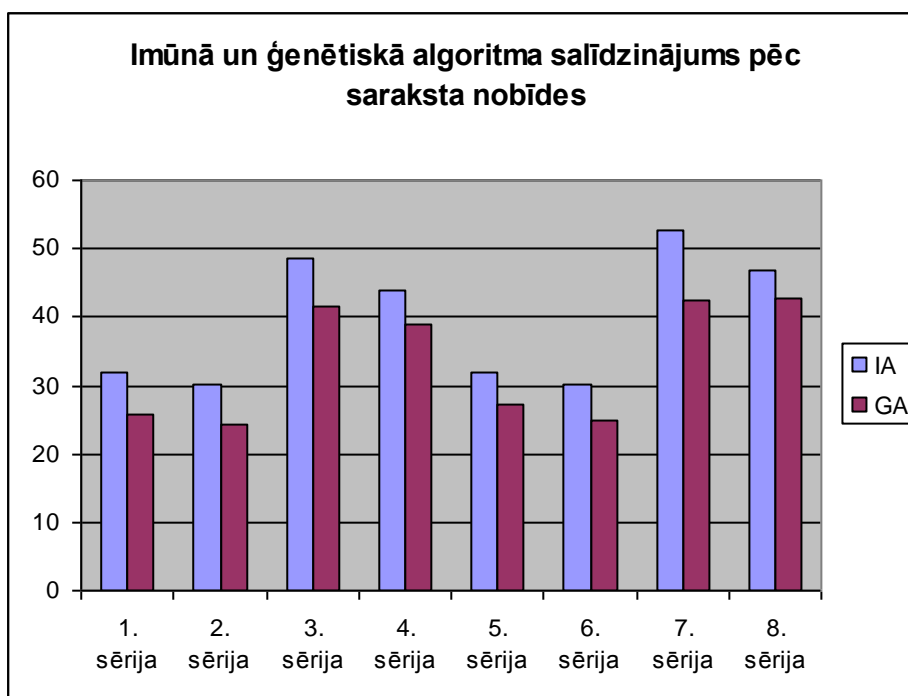


Att. 9. Algoritmu salīdzinājums pēc mērķa funkcijas kopējās vērtības

- pēc sarakstu nobīdes kritērija vērtības Tab. 8, Att. 10

Tab. 8. Sarakstu nobīdes vērtības

	IA	GA	GA salīdzinājums ar IA
1. sērija	31,77	25,72	19,04%
2. sērija	30,04	24,40	18,77%
3. sērija	48,52	41,68	14,08%
4. sērija	43,76	38,96	10,96%
5. sērija	31,96	27,12	15,15%
6. sērija	30,23	24,84	17,84%
7. sērija	52,65	42,56	19,16%
8. sērija	46,91	42,67	9,04%
Vidējā vērtība			15,50%

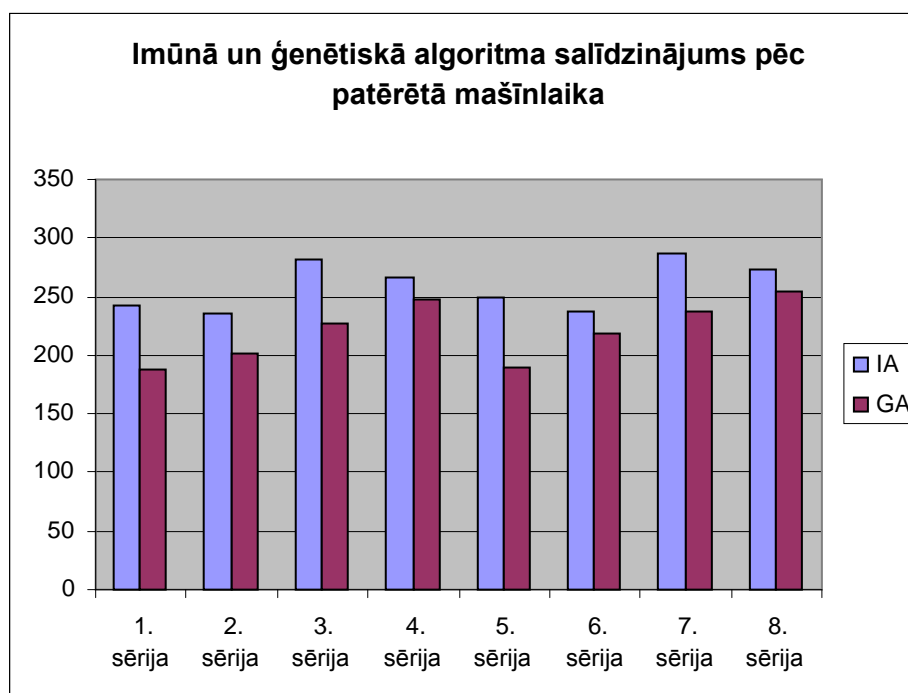


Att. 10. Algoritmu salīdzinājums pēc sarakstu nobīdes kritērija vērtības

– pēc patērētā mašīnlaika Tab. 9, Att. 11

Tab. 9. Patērētā mašīnlaika vērtības

	IA	GA	GA salīdzinājums ar IA
1. sērija	241,76	188,64	21,97%
2. sērija	235,91	201,94	14,40%
3. sērija	282,51	226,83	19,71%
4. sērija	265,94	247,97	6,76%
5. sērija	249,14	189,99	23,74%
6. sērija	237,88	219,17	7,86%
7. sērija	286,29	237,84	16,92%
8. sērija	273,74	255,15	6,79%
Vidējā vērtība			14,77%



Att. 11. Algoritmu salīdzinājums pēc patērētā mašīnlaika

SECINĀJUMI

Analizējot iegūtos rezultātus var secināt, ka promocijas darba mērķis ir sasniegts. Promocijas darba izstrādes gaitā ir veikts sekojošais:

1. Analizēta literatūrā aprakstītā informācija par transporta sistēmu vadīšanu, sistēmas modelēšanu un intelektuālo iebūvēto iekārtu izmantošanu transporta sistēmas datu plūsmu vadīšanai.
2. Izstrādāts transporta sistēmas objektu vadības matemātiskais modelis, definēti un aprakstīti konstantie un mainīgie sistēmas elementi
3. Izpētītas sarakstu teorijas un evolucionāro algoritmu pielietošanas iespējas daudzstadiju paralēlo un secīgo transporta uzdevumu risināšanai
4. Definēti pieci galvenie pilsētas transporta sistēmas vadību ietekmējošie kritēriji un kopējā mērķa funkcija drošai transporta sistēmas vadīšanai
5. Izstrādāts algoritms mērķa funkcijas katra kritērija, kā arī kopējās mērķa funkcijas vērtības aprēķināšanai
6. Izstrādātie algoritmi mērķa funkcijas atsevišķo kritēriju vērtības aprēķināšanai ir universāli un var tikt savstarpēji variēti atkarībā no uzstādītā uzdevuma
7. Izstrādāta iebūvētā iekārta izmantojot programmējamus loģiskos controllerus transporta sistēmas katras atsevišķās vienības vadīšanai
8. Izstrādāts transporta sistēmas datormodelis dažāda tipa transporta plūsmu vadības modelēšanai
9. Veiktas vairākas datoreksperimenta sērijas algoritmu aprobācijai
10. Veikta datoreksperimenta rezultātu analīze un hipotēžu pārbaude
11. Veikta dažādu algoritmu salīdzināšana ņemot vērā to veidoto sarakstu ietekmi uz drošuma pakāpi un dīkstāves samazināšanu

Promocijas darba laikā veiktie eksperimenti un iegūtie rezultāti ļauj izdarīt sekojošus secinājumus:

1. Izstrādāto transporta sistēmas vadības algoritmu pielietošana transporta vadības datormodelī dod iespēju:
 - nodrošinot secīgu transporta vienību ierašanos pieturās un novēršot to kustības sarakstu pārklāšanos, samazināt pilsētas elektrotransporta pārtērēto elektroenerģiju par 99,32 % salīdzinot ar to elektroenerģijas daudzumu, kuru elektrotransporta izlieto pie esošā saraksta ar pārklāšanos
 - veicot kustības sarakstos izmaiņas un mainot autobusu un vilcienu kustības ātrumu ir iespējams palielināt dzelzceļa pārbrauktuvju caurlaides spēju par 49,46 % un dod iespēju samazināt transporta dīkstāves laiku pie pārbrauktuvēm par 99,96%, t.i. nodrošināt autotransportam pārbrauktuvju šķērsošanu praktiski bez apstāšanās
 - būtiski samazināt sliežu un autotransporta sadursmju varbūtību no pašreizējās vērtības 0,946267 līdz 0,00028
2. Sarakstu teorija un evolucionārie algoritmi ir piemēroti transporta sistēmas vadības uzdevumu risināšanai, jo 100% apstiprinās hipotēze par to, ka ģenētiskā un imūnā algoritma piedāvātie kustības saraksti ir labāki par esošajiem kustības sarakstiem
3. Iebūvēto iekārtu izmantošana transporta līdzekļu vadītājiem sniedz rekomendējoša rakstura informāciju par iespējamo sadursmes varbūtību un piemērotāku kustības ātruma izvēli, kā arī sadursmes varbūtībai sasniedzot kritisko robežu spēj bez cilvēka iejaukšanās iedarbināt avārijas bremzēšanas sistēmu dzelzceļa transportā
4. Pēc abu evolucionāro algoritmu izstrādāto sarakstu novērtējuma vidējo vērtību salīdzināšanas var secināt, ka ģenētiskā algoritma piedāvātais saraksts pārbrauktuves šķērsošanas uzdevumam ir labāks par imūnā algoritma piedāvāto sarakstu vidēji par:
 - 8,40% pēc mērķa funkcijas kritērija
 - 4,12% pēc vienlaicīguma kritērija
 - 15,5% pēc saraksta nobīdes kritērija
 - 14,77% pēc patērētā mašīnlaika kritērija
5. Analizējot pilsētas elektrotransporta uzdevuma datus var secināt, ka ģenētiskā algoritma piedāvātais saraksts ir labāks par imūnā algoritma piedāvāto sarakstu vidēji par:
 - 22,2% pēc mērķa funkcijas kritērija
 - 22,2% pēc sarakstu pārklāšanās kritērija
 - 27,78% pēc saraksta nobīdes kritērija
 - 22,76% pēc patērētā mašīnlaika kritērija
6. Salīdzinot evolucionāros algoritmus var secināt, ka ģenētiskais algoritms piedāvā labākus sarakstus nekā imūnais algoritms pēc visiem mērķa funkcijas kritērijiem

IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

1. Alps I., Gorobecs M., Ļevčenkova A., Ribickis L. "Sarakstu teorijas modelēšana intelektuālajās elektriskajās transporta sistēmās" // RTU zinātnisko rakstu krājums „Enerģētika un Elektrotehnika” sērija 4, sējums 23, Latvija, Rīga, 2008, 184 -194 lpp.
2. Alps I., Gorobetz M., Levchenkov A., Ribickis L. "Modeling of Scheduling Theory in Intelligent Electric Transport Systems" //In proceedings of Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2008), Lithuania, Panevezys, 2008, 28-37 lpp.
3. Alps I., Gorobetz M., Levchenkov A. „Algorithm for Multi-Stage Scheduling in Intelligent Electric Transport System” //RTU zinātniskie raksti “Mašīnzinātne un transports” sērija 6, sējums 32, Latvija, Rīga, 2009, 92 – 99 lpp.

4. Alps I., Potapov A., Gorobetz M., Levchenkov A. „Algorithm for Public Electric Transport Schedule Control for Intelligent Embedded Devices”// In proceedings of RTU 51st International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering” Latvia, Riga, 2010, 155 – 160 lpp.
5. Alps I., Gorobetz M., Levchenkov A. „Algorithm for Increasing Traffic Capacity of Level-Crossing Using Scheduling Theory and Intelligent Embedded Devices ” In proceedings of RTU 52nd International Scientific Conference “Power and Electrical Engineering” Latvia, Riga, 2011, 129-136 lpp.
6. Alps I., Gorobetz M., Levchenkov A. „Algorithm for Multi-Stage Scheduling in Intelligent Electric Transport System” ” //In proceedings of 8th International Symposium “Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering”, Estonia, Tartu, 2010, 109 – 115 lpp.
7. Alps I., Gorobetz M., Levchenkov A. „Intelligent Embedded Devices for Multistage Scheduling Tasks in Public Electric Transport” //In proceedings of 5th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS’2010), Lithuania, Panevezys, 2010.
8. Alps I., Gorobetz M., Levchenkov A. „Algorithm for Increasing Traffic Capacity of Level-Crossing Using Scheduling Theory” //In proceedings of 6th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS’2011), Lithuania, Panevezys, 2011, 99-108 lpp.
9. Arhipova I., Bāliņa S., „Statistika ekonomikā”, mācību līdzeklis, Datorzinību centrs, Rīga, 2008, 352 lpp.
10. Beinarts I. Izplūdušās loģikas kontrolleru algoritmu izpēte pasažieru transporta salona siltuma komforta vadībai. Promocijas darbs. Rīga, RTU, 2011, 171 lpp.
11. Berežņojs A. Transporta plūsmas modeļu vadošo parametru ietekmes uz pilsētas ceļu kustības vadības efektivitāti izpēte. Promocijas darbs. Rīga, TSI, 2008. 256 lpp.
12. Borisovs A. Mākslīgā intelekta metodes. Rīgas Tehniskā universitāte. Automātikas un skaitļošanas tehnikas fakultāte. Rīga, RTU, 1993, 75 lpp.
13. Bazaras Ž., Bagdonas V. “Problem of the Train Traffic Schedule Optimal Addition”// Proceedings of the 9th International Conference “Transport Means”. Kaunas: Technologija, 2005, 274–277 lpp.
14. Borisov, A. N. Genetic algorithms, genetic programming, genetic machine learning, lecture slides. Transport and Telecommunications Inst. Riga, TTI, 2004, 251 lpp.
15. Barth, A. Franke U. „Tracking oncoming and turning vehicles at intersections” //In proceedings of international IEEE 13 conference, Lille, France, 2010, 861 – 868 lpp.
16. Bracciali A. “Wayside Train monitoring Systems: A State-of-the-Art and Running Safety Implications”//In proceedings if the First ilternational Conference on Railway Technology: research, Development and Maintenance. LasPalmas de Gran Canaria, Spain 18-20 April 2012, 231-247 lpp.
17. Brooks G. N. and White C. R. An Algorithm for Finding Optimal or Near Optimal Solutions to the Production Scheduling Problem// J. Ind. Eng. 16.1965, 34 - 40 lpp.
18. Burstall R. M. A heuristic method for a jobscheduling problem// Oper. Res. Quart. Stanford, UK,1966, 291 - 304 lpp.
19. Cīrulis J. „Matemātiskā loģika un kopu teorija”, Zvaigzne ABC, 2008, 278 lpp
20. Conway R.W, Maxwell W.L., Miller L.W. “Theory of Scheduling” Dover, published by Addison-Wesley Publishing company, Mineola N.Y. 11501, USA, 2003.
21. Chen J. and Mahfouf M. „A Population Adaptive Based Immune Algorithm for Solving Multi-objective Optimization Problems”, Lecture Notes in Computer Science, 2006.
22. Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010, Strasbourg, France, 13 lpp.

23. "ERTMS Level 1: Trackside on the Zaragoza-Huesca project". Official website Alstom.com. September 2004.
24. European Railway Agency, Railway Safety Performance in the European Union 2010, Espace International, 299 Boulevard de Leeds, Lille, France, 64 lpp.
25. Gorobecs Mihails Ģenētisko algoritmu izpēte elektriskā transporta optimālai vadībai. Promocijas darbs. Rīga, RTU, 2008, 189 lpp.
26. Gromule V. Autoostas pakalpojumu kvalitātes monitoringa sistēma pasažieru loģistikā centra koncepcijas realizācijai multimodālā transporta sistēmā. Promocijas darbs. Rīga : TSI, 2010, 158 lpp.
27. Grundspenķis, J., Ievads intelektuālās sistēmās, RTU, 1993, 158 lpp.
28. Garey M.R. and Johnson D. S. „Computers and Intractability: A guide to the Theory of NP-Completeness”. Bell Laboratories Murray Hill, New Jersey, USA, 1979., 145 lpp.
29. Gen M., Cheng R. “Genetic algorithms and engineering design” John Wiley & Sons, New York, USA, 1997, 79 lpp.
30. Gao J. and Fang L. „A Novel Artificial Immune System for Multiobjective Optimization Problems”, Lecture Notes in Computer Science, 2009.
31. Gorobetz M. Intelligent Agent Approaches for Energy Saving in Public Electric Transport Systems. //In: Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS), Jurmala, Latvia, 6 October 2006
32. Gorobetz M., Kunicina N., Levchenkov A. Back-Propagation Algorithm For Intelligent Agents In Electric Transport Systems. //In. Proceedings of International Conference on Knowledge Engineering and Decision Support, Lisbon, Portugal, 2006, 321-328 lpp.
33. Gorobetz M., Kunicina N., Levchenkov A. „Visual Modeling of Power Processes Control in Mechatronics Systems” //In Proceedings of 11th International Conference. Mechanika, Kaunas, Lithuania, 2006, 186-192 lpp.
34. Gorobetz M., Kunicina N., Levchenkovs A., Tihomirova N. „Decision Making Modelling in Mechatronics Systems for Transport Control”//In Proceedings of 6th International Conference "Transport Systems Telematics", Katowice, Poland, 2006, 171-180 lpp.
35. Gorobetz M., Kunicina N., Levchenkovs A., Uteshev I. Intelligent Agents Networks for Power Processes Control in Mechatronics Systems. //In Proceedings of 2nd International Conference on ‘Electrical/Electromechanical Computer Aided Design & Engineering’, Stuttgart, Germany, 2006, 1-13 p.
36. Gorobetz M. Electronic Intelligent Agents for Control of Mechatronics System. //In: Rīgas Tehniskās universitātes raksti. Enerģētika un Elektrotehnika. Sērija 4, sējums 20. 2007. 178-189. lpp.
37. Gorobetz M., Baltskars P., Levchenkovs A., Kunicina N., Vinogradova B. Algorithms for Safety Assessment in Railway Transport //In Proceedings of 15th International Symposium „Towards more competitive European rail system”, Žilina, Slovākija, 2007.
38. Gorobetz M., Levchenkov A. „Evolutionary Algorithms and Dynamic Parameters for Public Electric Transport Modeling” //In Proceedings of 16th Mediterranean Conference on Control and Automation, Ajaccio, France, 25-27 June 2008, 215-219 p
39. Gorobetz M., Levchenkov A. „Modelling of Stochastic Parameters for Control of City Electric Transport Systems Using Evolutionary Algorithm” //In Proceedings of International Workshop on 22th European Conference on Modelling and Simulation, Nicosia, Cyprus, 3-6 June 2008, 207-212 p.
40. Gorobetz M., P.Balckars, A. Levchenkov, L.Ribickis. Modelling of Neural Network Controller for Scheduling Task in Intelligent Transport Systems //In Proceedings of 16th International Symposium „Towards more competitive European rail system”, Zilina, Slovakia, 4-5 June 2008, 279-289 p.
41. Gorobetz M., Research of Genetic Algorithms For Optimal Control of Electric Transport. Doctorate work, 2008, 189 lpp.

42. Gorobetz M., Alps I., Levchenkov A. "Mathematical Formulation of Public Electric Transport Scheduling Task for Artificial Immune Systems" //In proceedings of RTU 50th International Scientific Conference "Power and Electrical Engineering" Latvia, Riga 2009, 159 – 164 lpp
43. Greivulis J., Levchenkov A., Gorobetz M. „Modelling Of Artificial Neural Network Controller For Electric Drive with Linear Torque Load Function” //In Proceedings of 7th International Conference Engineering for Rural Development 2008, Jelgava, Latvia, 81-87 p.
44. Graham Ronald, Combinatorial Scheduling theory Mathematics Today: Twelve Informal Essays, Springer-Verlag, N.Y. (1978), 183-211.
45. GSM-R Frequency workshop. Information published on 19 May 2009 in the UIC electronic newsletter "UIC eNews" Nr 143.
46. Guan-Chun L., Chung-Huei C. "A multi-modal immune algorithm for the job-shop scheduling problem" proceedings of Elsevier information sciences 179, 2009.
47. Haikin S, Van Veen B. "Signals and Systems. Second edition", John Veelay and Sons (Asia) Pte.Ltd 2004, 559 lpp.
48. Haouari M. and Ladhari T. A branch and bound based local search for the flowshop problem. Journal of the Operational Research Society, 2003
49. Holzmann F. Improving Road Safety. Adaptive Cooperation between Driver and Assistant. Springer. Berlin.2008
50. Ishibuchi H., Yoshida T., and Murata T. Balance between genetic search and local search in memetic algorithms for multiobjective permutation flowshop scheduling. IEEE Transaction on Evolutionary Computation, 2003.
51. Jagdish K.Patel, Campbell B.Read "Handbook of The Normal Distribution", Southern Methodist University, Dallas, US, 1972, 94 lpp.
52. Klūga A. "Satelītu rādionavigācijas sistēmas" 2010
53. Krievs O., Ribickis L. Izplūdušās loģikas kontroleri elektropiedziņas vadības sistēmās // RTU 42.SZTK materiālu krājums. Rīga, RTU, 2001, 28 lpp.
54. Krūmiņš O. Inteliģento transporta sistēmu izveides principi un realizācijas iespējas. Promocijas darbs. Rīga: RTU, 2010 - 171 lpp.
55. Krūmiņš O., Ribickis L., Raņķis I. Transporta automātiskās kustības sistēmas – tramvaja modelis. RTU zinātnisko rakstu krājums "Enerģētika un elektrotehnika.", 4. sērija, 15. sējums, Rīga, 2005, 57.- 64. lpp.
56. Kuņicina N. Programmu aģentu modelēšanas metožu izstrāde elektropiegādes un transporta loģistikas sistēmās. Promocijas darbs. RTU, 2004 113lpp
57. Larry Henley Jackson County Herald-Tribune, September 16, 2009
58. Ļevčenkovs A., Gorobets M., Ribickis L. Vizuālorientētas programmēšanas pamati industriālajā elektronikā. Rīga RTU 2010, 522lpp
59. Ļevčenkovs A., Gorobets M., Raņķis I., Ribickis L., Balckars P, Potapovs A., Alps I., Korago I., Vinokurovs V. Patents "Iekārta drošai autotransporta pārbrauktuvju šķērsošanai izmantojot satelītu navigācijas sistēmas" Rīga, Latvija, P-11-102.
60. Levchenkov A.. M. Gorobetz, Multiple Criteria Decision-Making Using Genetic Algorithms for Transportation Systems. //In Proceedings of International Conference on Multiple Criteria Decision-Making, January 7-12, 2008, Auckland, New Zealand, 41 p.
61. Luger G. F. Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving, Williams, 2003, 863. P.
62. Merkurjevs J. Sistēmu imitācijas modelēšanas tehnoloģija, Rīga: RTU, 2008, 120 lpp.
63. Musilek P., Lau A., Reformat M., Wayard-Scott L. "Immune programming" proceedings of Elsevier information sciences 179, 2006.
64. Petuhova Natālija. Temporālie datu modeļi dzelzceļa transporta informācijas sistēmās. Promocijas darbs. Rīga: TSI, 2010. - 164 lpp.

65. Pinedo Michael. Scheduling theory, algorithms, and systems. Integre Technical Publishing Co., Inc. 2001.
66. Raņķis I., Bražis V. Elektrotehnoloģiskās iekārtas. – Rīga, Rīgas Tehniskā universitāte, 2005. – 108 lpp.
67. Ribickis L., Ļevčenkova A., Gorobecs M. Sistēmu teorijas pamati industriālās elektronikas modelēšanā. - Rīga: RTU, 2008. – 100 lpp.
68. Ribickis L., Ļevčenkova A., Kuņicina N., Gorobecs M.. Ievads dinamisko procesu modelēšanā mehatronikas sistēmās. Mācību grāmata. Rīga, RTU, 2006.
69. Ribickis L., Raņķis I., Bražis V. Elektrotransporta rekuperācijas iespējas Rīgas pilsētā. Rīgas Domes zin.-tehn. konferences materiāli, 2001. – 4. lpp.
70. Ribickis L., Vītols A. Maiņstrāvas elastīgo pārvades sistēmu jaudas plūsmas kontrolleris – UPFC. – Rīga, RTU zinātniskie raksti "Enerģētika un elektrotehnika", 4. sērija, 10. sējums, 59.- 64.lpp.
71. Rankis I., Gorobetz M., Levchenkov A. Optimal Electric Vehicle Speed Control By Intelligent Devices. Rīgas Tehniskās universitātes raksti. Enerģētika un Elektrotehnika. Sērija 4, sējums 16. 2006.
72. Ribickis L., Rankis I. Electrical drives static characteristics and methods of speed control. – Rīga, Rīgas Tehniskā universitāte, 1995. – 107 lpp.
73. Ribickis L., Gorobetz M., Levchenkov A. Intelligent Electric Vehicle Motion and Crossroad Control. //In Proceedings of 12th International Power Electronics and Motion Control Conference. Portoroz, Slovenia, 2006 – 1239 - 1244 p.
74. Takahaši A. Ģenētiskie algoritmi sarežģītu funkciju optimizācijā:promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zin. grāda iegūšanai. Rīgas Tehniskā universitāte. Datorzinātnes un informācijas tehnoloģiju fak. Datorvadības, automātikas un datortehnikas inst. Rīga : RTU, 2004. 218 lpp.
75. Russel S. J., Norvig P. Artificial Intelligence. A Modern Approach, 2nd edition. Prentice Hall, 2006
76. Russel S. J. Neural Smithing: Supervised Learning in Feedforward Artificial Neural Networks, MIT Press Cambridge, MA, USA 1998.
77. "Railway Gazette: UK's first ETCS Level 2 signalling goes live". Retrieved 2010.11.07
78. Tapan P. Bagchi „Multiobjective scheduling by genetic algorithms” Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA, 1999, 358 lpp
79. Tejinder, S. „MegProp System for City Rail-roads”// in proceedings of international IEEE 13 conference 2010 Page(s): 901 – 906.
80. Thompson S., Stevens A., Maxwell A., Wood K., Guidelines for safe and effective vehicle routing, TRL Reports.2006.
81. T'kindt V. and Billaut J.C. Multicriteria Scheduling – Theory, Models and Algorithms. SpringerVerlag, 2002.
82. Tsuchida, A. Bhuiyan, M.S. Oguri, K. Estimation of drivers' drowsiness level using a Neural Network Based 'Error Correcting Output Coding' method //in proceedings of international IEEE 13 conference 2010 Page(s): 1887 – 1892.
83. Uteševs Igors. Elektriskā sliežu transporta iebūvētās bezvadu bremzēšanas iekārtas vadības algoritmu izstrāde, izmantojot pozicionēšanas informācijas sistēmas. Promocijas darbs. Rīga: RTU, 2010 - 139 lpp.
84. Yamada T. A pruning pattern list approach to the permutation flowshop scheduling problem. Essays and Surveys in Metaheuristics.2002.
85. Yong Z. and Sannomiya N. An improvement of genetic algorithms by search pace reductions in solving largescale flowshop problems. EEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, 121C(6): 10101016, 2001.
86. Ying and CJ.Liao. An ant colony system for permutation flowshop sequencing. Computers and Operational Research, 2004.

87. Бурдюк В. Я., Шкурба В. В. Теория расписаний. Задачи и методы решений// Кибернетика 1971- N 1- С. 89 - 102.
88. Гордон В. С., Танаев В. С. О минимаксных задачах теории расписаний с одним прибором// Изв. АН БССР. Сер. физ.- матем., 1983.- N 3.- С. 3 9.
89. Ильницкий, Александр Леонидович. Алгоритмы решения многоресурсных задач теории расписаний и их применение. - Киев 1985, 136 с.
90. Корякин Р.А. „Вероятностный анализ алгоритмов построения кратчайших расписаний для многостадийных систем” 2005 Новосибирск, 98 с.
91. Кучумов Р. В. Автоматизация оперативного управления движением поездов на железнодорожных станциях. Диссертация. Санкт-Петербург, 2009 - 252 с.
92. Комплексное локомотивное устройство безопасности. Инструкция по техническому обслуживанию. 36260-00-00 ИО (УТВ. МПС РФ 26.04.1999 N ЦТ-ЦШ-659)
93. Лазарев, Александр Алексеевич „Методы и алгоритмы решения задач теории расписаний для одного и нескольких приборов и их применение для задач комбинаторной оптимизации”, Москва, 2007, 426 с.
94. Маслов, Михаил Геннадьевич „Разработка моделей и алгоритмов составления расписаний в системах административно-организационного управления”. – Москва, 2004, 217 с.
95. Матвеев С.И., Коугия В.А. Высокоточные цифровые модели пути и спутниковая навигация железнодорожного транспорта. 2005. — 290 с. ISBN 5-89035-227-X
96. Мохонько В. П. Микропроцессорная система обеспечения безопасности функционирования железнодорожных поездов. Диссертация. Самара, 2000 - 42 с.
97. Рыков, Иван Александрович Алгоритмы с оценками качества для задач календарного планирования, упаковки и выбора подмножества векторов, 2009
98. Танаев В. С. Некоторые оптимизируемые функции одностадийного производства// ДАН БССР 9.- 1965.- N 1.- С. 11-14.
99. Танаев В. С., Гордон В. С., Шафранский Я. М. Теория расписаний. Одностадийные системы.- М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984,- 384
100. Танаев В. С., Сотсков Ю. Н., Струсевич В. А. Теория расписаний. Многостадийные системы.-М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989.- 328 с.
101. Танаев В. С., Левин Г. М. Об оптимальном поведении систем с частично ограниченной памятью// Изв. АН БССР, сер. физ.- мат. наук.- 1967.- N 3.- С. 82 88.

IVARS ALPS

**INTELEKTUĀLĀ ELEKTROTRANSPORTA VADĪBAS SISTĒMU SARAKSTU
PROBLĒMU MODELĒŠANA NEPAREDZĒTOS GADĪJUMOS**

Promocijas darba kopsavilkums

Parakstīts iespiešanai 2012.09.11. Reģ. apl. Nr. 2-0282.
Formāts 60x84/16. Ofseta papīrs. Ofseta papīrs. 2,25 iesp.l.,
1,74 uzsk.izd.l. Metiens 30 eks. Pasūt. Nr. 106.
Iespiests RTU tipogrāfijā, Rīga LV-1658, Kaļķu ielā 1.