

ŅOSARAKSTU TEORIJAS MODELĒŠANA INTELEKTUĀLĀS ELEKTRISKĀ TRANSPORTA SISTĒMĀS

MODELLING OF SCHEDULING THEORY IN INTELLIGENT ELECTRIC TRANSPORT SYSTEMS

Ivars Alps

Rīgas Tehniskā universitāte, EEF
Industriālās Elektronikas un Elektrotehnikas Institūts
Address: Kaļķu iela 1, LV-1658 Rīga, Latvija
e-mail: ivarsa@com.lmt.lv

Mihails Gorobecs, M.sc.ing, pētnieks

Rīgas Tehniskā universitāte, EEF
Industriālās Elektronikas un Elektrotehnikas Institūts
Address: Kaļķu iela 1., LV-1658 Rīga, Latvija
e-mail: mgorobetz@latnet.lv

Anatolijs Ļevčenkovs, Dr.sc.ing, profesors

Rīgas Tehniskā universitāte, EEF
Industriālās Elektronikas un Elektrotehnikas Institūts
Address: Kaļķu iela 1, LV-1658 Rīga, Latvija
e-mail: levas@latnet.lv

Leonīds Ribickis, Dr.hab.sc.ing, profesors, LZA akadēmiķis

Rīgas Tehniskā universitāte, EEF
Industriālās Elektronikas un Elektrotehnikas Institūts
Address: Kaļķu iela 1., LV-1658 Rīga, Latvija
e-mail: leonids.ribickis@rtu.lv

Atslēgvārdi: Saraksta teorija, modelēšana, elektriskais transports, neironu tīkls

Ievads

Šajā darbā tiek pētīts neironu tīkla modelis līdzstrāvas dzinēja ātruma regulēšanai. Šī darba izpētes galvenais mērķis ir maksimālā neironu tīkla pielietošana līdzstrāvas dzinēja ātruma regulēšanai laboratorijas apstākļos.

Regulēšanai lieto neironu tīklu bez atgriezeniskās saites ar atgriezenisku kļūdu izplatīšanu (feed-forward back-propagation).

Kā apmācības metode tiek pielietots *Levenberg-Marquardt* atgriezeniskās kļūdas izplatīšanas algoritms. Neironu tīklu apmāca saglabāt līdzstrāvas dzinēja ātrumu noteiktā intervālā.

Modelēšanas rezultāti rāda, ka neironu tīkla kontrolleri ir iespējams pielietot līdzstrāvas dzinēja ātruma regulēšanai.

Uzdevuma formulēšana

Šī darba izpētes mērķis ir modelēt saraksta teorijas metodes pielietojumu intelektuālajā elektriskā transporta sistēmā ar neironu tīkla vadību.

Darba izpētes objekts ir sabiedriskā elektriskā transporta sistēma.

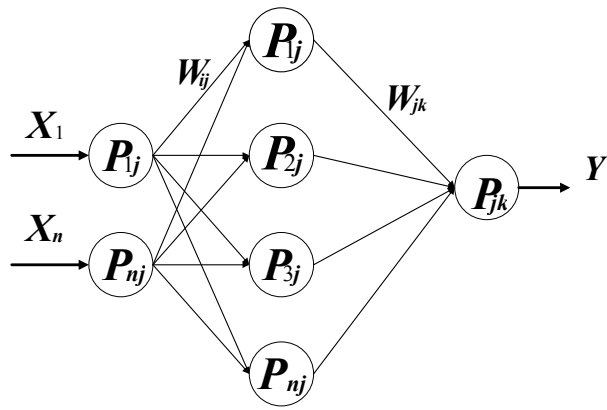
Mērķa sasniegšanai jāizpilda sekojoši uzdevumi: izpētīt elektriskā transporta sistēmas struktūru, izpētīt saraksta teorijas metodes, izpētīt neironu tīklu pielietojumu elektrotransporta vadībai, izpētīt programmēšanas un modelēšanas iespējas Matlab vidē, realizēt saraksta teorijas metodes programmējamu modeli Matlab vidē, izstrādāt grafisko lietotāja saskarni transporta kustības sarakstam, izveidot elektriskā transporta līdzstrāvas dzinēja modeli Simulink vidē, izveidot modeli neironu tīkla regulatoram, apmācīt neironu tīkla bez atgriezeniskās saites modeli ātruma regulēšanai pēc saraksta.

Risinājuma metodes

Darbā tiek ierosināts lietot sekojošu neironu tīkla struktūru 1. att.

Neironu tīkla matemātiskā modeļa pamatā ir neironu struktūra. Katram neironam ir savs ievaddatu komplekts, savs ievaddatu svarīgums, aktivizācijas funkcija un izejas jauda, kura parasti ir bināra vērtība, ja izejas neironi ir perceptroni ar ierobežotu pārveidošanas funkciju vai arī reāla vērtība, ja tiek lietota diferencēta pārveidošanas funkcija.

Neironu tīkls sastāv no vairākiem slāņiem. Katram slānim var būt noteikts vai brīvs neironu skaits. Neironu tīkls dod iespēju analizēt objektu atkarībā no ievadītajiem parametriem un noteikt iepriekš noteiktu klasi izvadām. Tas nozīmē, ka neironu tīklam jābūt spējīgam noteikt iepriekš definētas klases.



1. att. Neironu tīkla uzbūve

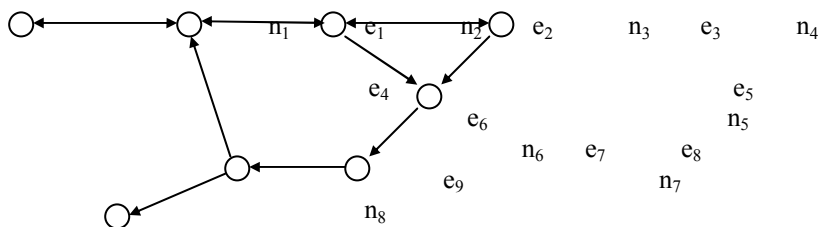
Matemātiskais modelis

Transporta tīkla matemātiskais modelis

Grafs (att..2.) – $G(N,E)$, kur

1. Mezgli: $N = \{n_1, n_2, \dots, n_v\}$;

2. loki – apakškopa no mezglu kopas Dekarta reizinājuma: $E = \{e_1, e_2, \dots, e_l\}$;
 $e_j = \langle n_a, n_b \rangle, \quad j = \overline{1, l}, \quad a, b = \overline{1, v}, \quad a \neq b, \quad E \subseteq N \times N$



2. att. Transporta tīkla piemērs

3. Pasažieru transporta maršruti – cikliskais apakšgrafs G :

$$Routes = \{route_1, \dots, route_y\}$$

$$route_k = \langle \langle node_1, edge_1 \rangle, \dots, \langle node_x, edge_x \rangle, \langle node_1, edge_1 \rangle \rangle,$$

$$k = \overline{1, y} \quad x \in \overline{1, v}, \quad z \in \overline{1, l},$$

$$node_i \in N, \quad edge_j \in E,$$

4. Katram maršruta posmam – $route_stage_r = \langle node, edge \rangle \in route_k$ – ir sekojoši parametri:

a. $l \in \mathfrak{R}$ – garums;

b. $sp \in \mathfrak{R}$ – ātruma ierobežojums;

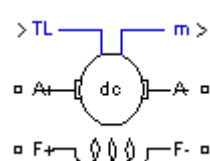
c. $type \in \{ "L", "X", "S", \dots \}$ – posma tips – iela, krustojumi, pieturas, ...;

d. $cycle = \langle red_cycle, green_cycle \rangle, \quad red_cycle, green_cycle \in \mathfrak{R}$

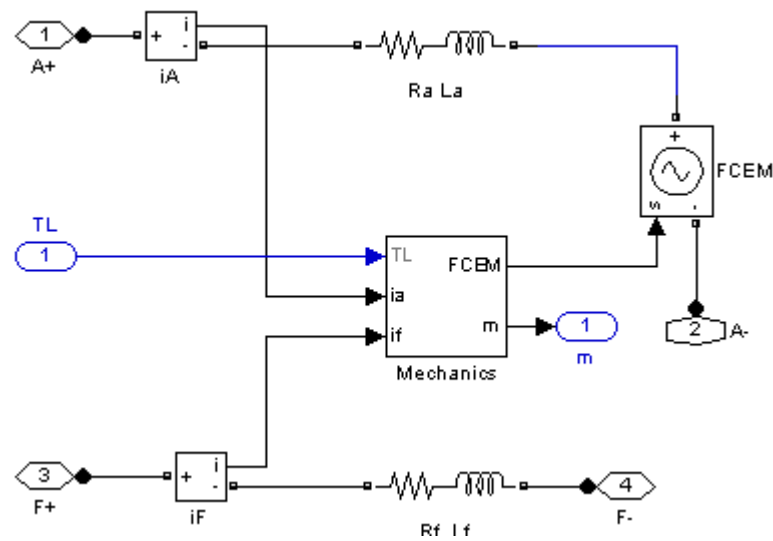
Krustojumu papildus parametri, tādi kā sarkanās gaismas degšanas laiks, zaļās gaismas degšanas laiks.

Elektrotransporta līdzstrāvas dzinēja matemātiskais modelis

Līdzstrāvas dzinēja attēlošana un tā elektriskā shēma Simulink vidē ir attēlota 3. att. un 4. att.



3. att. Līdzstrāvas dzinējs Simulink vidē



4. att. Līdzstrāvas dzinēja elektriskā shēma Simulink vidē

Elektrotransporta līdzstrāvas dzinējs tiek realizēts ar četrām elektriskām ieejām/izejām (A+, A-, F+, F-), vienu signālu TL – slodzes moments un signālu izvadi mērījumiem m.

Mērījumu vektors satur četras vērtības sekojošā secībā:

1. Rotācijas ātrums – ω (rad/s)
2. Enkura strāva – I_a (A)
3. Ierosmes strāva – I_f (A)
4. Dzinēja moments – T (Nm)

Ierosmes pieslēgšana notiek pie kontaktiem (F+, F-). Līdz ar to ir iespējams realizēt gan virknē, gan paralēli slēgto, gan arī neatkarīgo ierosmi. Slodzes moments uz dzinēja ass ir realizēts ar TL.

Enkura strāva (A+, A-) sastāv no virknē slēgtas induktivitātes L_a un pretestības R_a ar pretelektrodzinējspēku PEDS (angl. CEMF). PEDS ir atkarīgs no dzinēja ātruma:

$$E = K_E \omega \quad (1)$$

kur K_E ir sprieguma konstante un ω - dzinēja rotācijas ātrums.

Līdzstrāvas dzinējā sprieguma konstante K_E ir proporcionāla ierosmes strāvai I_f :

$$K_E = L_{af} \cdot I_f \quad (2)$$

kur L_{af} ir ierosmes-enkura savstarpējā induktivitāte.

Elektromagnētiskais moments T_e , kuru rada līdzstrāvas dzinējs, ir proporcionāls enkura strāvai I_a :

$$T_e = K_T I_a \quad (3)$$

kur K_T ir momenta konstante. Zīmes momentiem T_e un TL ir sekojošas:

$$T_e, \quad TL > 0 \text{ - dzinēja režīmā;} \quad (4)$$

$$T_e, \quad TL < 0 \text{ - ģeneratora režīmā.} \quad (5)$$

Momenta konstante ir vienāda ar sprieguma konstanti:

$$K_T = K_E \quad (6)$$

Enkura ķēde ir virknes slēgta $R_a L_a$ zars ar vadāmo sprieguma avotu un strāvas mērīšanas bloku. Ierosmes ķēde tiek realizēta ar RL zaru.

Mehāniskā daļa tiek aprakstīta ar sekojošu izteiksmi:

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - \text{sgn}(\omega) \cdot TL - B_m \cdot \omega - T_f \quad (7)$$

kur J – inerces koeficients, B_m – berzes koeficients, T_f – kulona berzes moments.

Saraksta matemātiskais modelis

1. Procesoru P kopums – pieturas un krustojumi, kur $P = \{P^1, P^2\}$, $P \in N$, kur
 Pieturas: $P^1 = \{p_1^1, p_2^1, \dots, p_s^1\} \subset P$
 Krustojumi: $P^2 = \{p_1^2, p_2^2, \dots, p_c^2\} \subset P$
2. Darbu kopa U – transports, kur $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$
3. Katram transporta līdzeklim ir saraksts: $\forall u \in U, \quad \sigma_u : P^1 \rightarrow \{t_{u1}, t_{u2}, \dots, t_{us}\} \subset \mathfrak{R}$

4. Katrai pieturai ir saraksts: $\forall p \in P^1, \sigma_p : U \rightarrow \{t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{pm}\} \subset \mathfrak{R}$

Neironu tīkla matemātiskais modelis

1. Ievaddati neironu tīklam: $X = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$
2. Mākslīgā neironu tīkla slēpto slāņu kopa: $L = \{l^1, l^2, \dots, l^k\}$
3. Katras j-tās slēptā slāņa neironu kopa: $P^j = \{p^1, p^2, \dots, p^r\}$
4. Neironu tīkla izvades kopa: $Y = \{y^1, y^2, \dots, y^m\}$
5. Katras j-tās kārtas i-tā neirona svars: $W_i^j = \{w^{i1}, w^{i2}, \dots, w^{in}\}$
6. Katras j-tās kārtas i-tā neirona nobīde: b^i
7. J-tās kārtas katra i-tā neirona summēšana: $s^i = \sum(W_i^j * X) + b^i$
8. J-tās kārtas visu neironu pārveidošana : $F^j(s^j)$

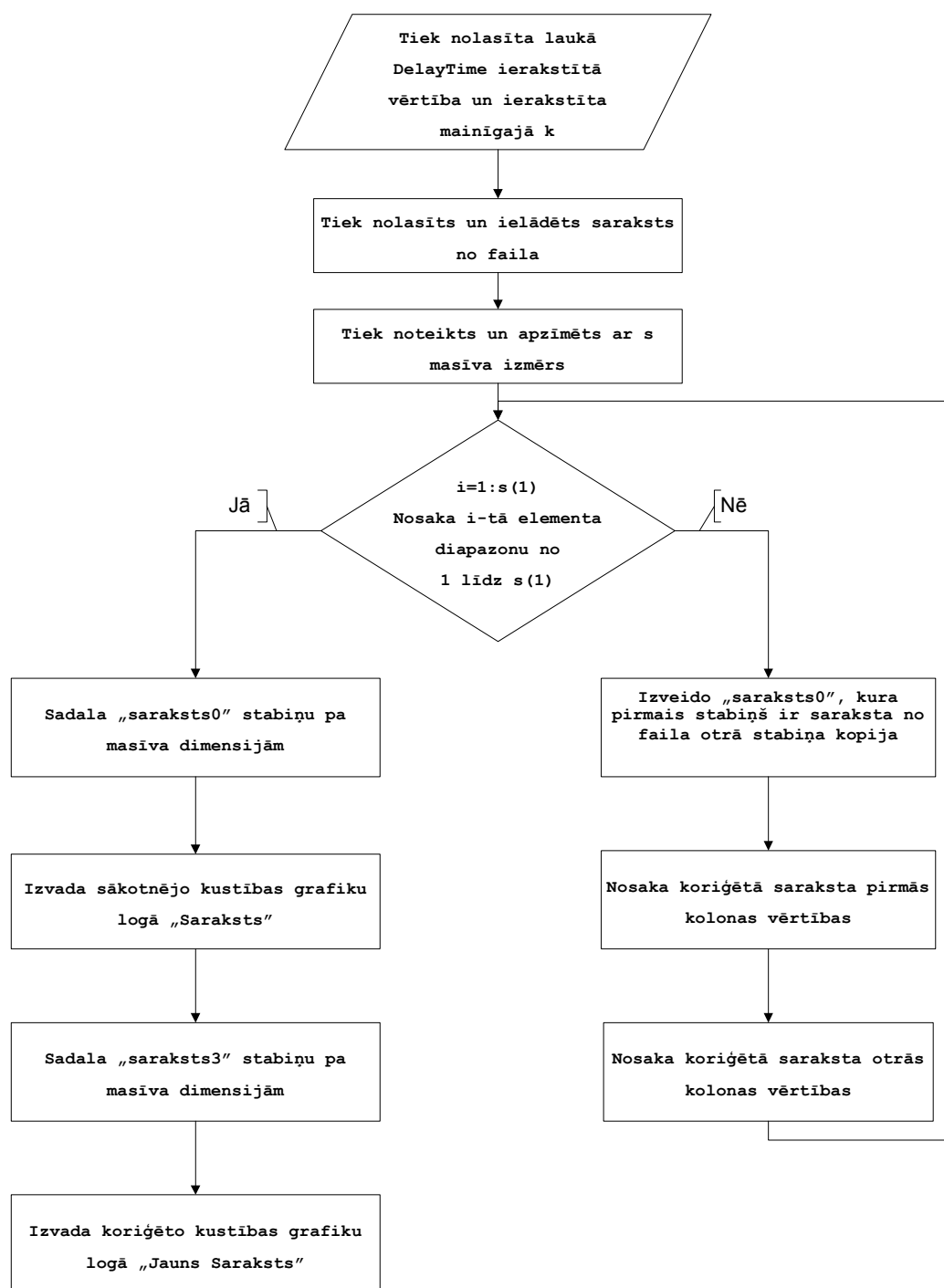
Problēmas risināšanas algoritms

Saraksta koriģēšanas algoritms

Saraksta koriģēšanas algoritma blokshēma ir attēlota 5. att.

Neironu tīkla apmācības algoritms

Šajā izpētes darbā tiks lietots *Levenberg-Marquardt* ar kļūdu atgriezenisku izplatību apmācības algoritms. Šī tīkla apmācības funkcija atjaunina svara un nobīdes vērtības atbilstoši *Levenberg-Marquardt* optimizācijai.



5. att. Saraksta koriģēšanas algoritma blokshēma

Levenberg-Marquardt algoritms parasti tiek lietots ar:

- 1) neironu tīklu bez atgriezeniskās saites
- 2) *Cascade-forward* tīklu
- 3) *Elman* tīklu u.c.

Levenberg-Marquardt algoritms var apmācīt jebkuru tīklu tik ilgi, kamēr tam ir svars, kamēr tas ir pieslēgts tīklam un pārveidošanas funkcijai ir atvasināta funkcija.

Neironu tīklu bez atgriezeniskās saites pielieto lai aprēķinātu Jakobi jX darbībai, ievērojot svaru un dažādas nobīdes X .

Katras izmaiņas ir saskaņā ar *Levenberg-Marquardt* formulu:

$$jj = jX * jX$$

$$je = jX * E$$

$$dX = -(jj + I * \mu) / je$$

kur E ir visas kļūdas un I ir identifikācijas matrice.

Piemērotā vērtība μ ir palielināta līdz augstāk norādītās izmaiņas dod samazinātu vērtību. Tad tiek veiktas izmaiņas tīklam un μ ir samazināts.

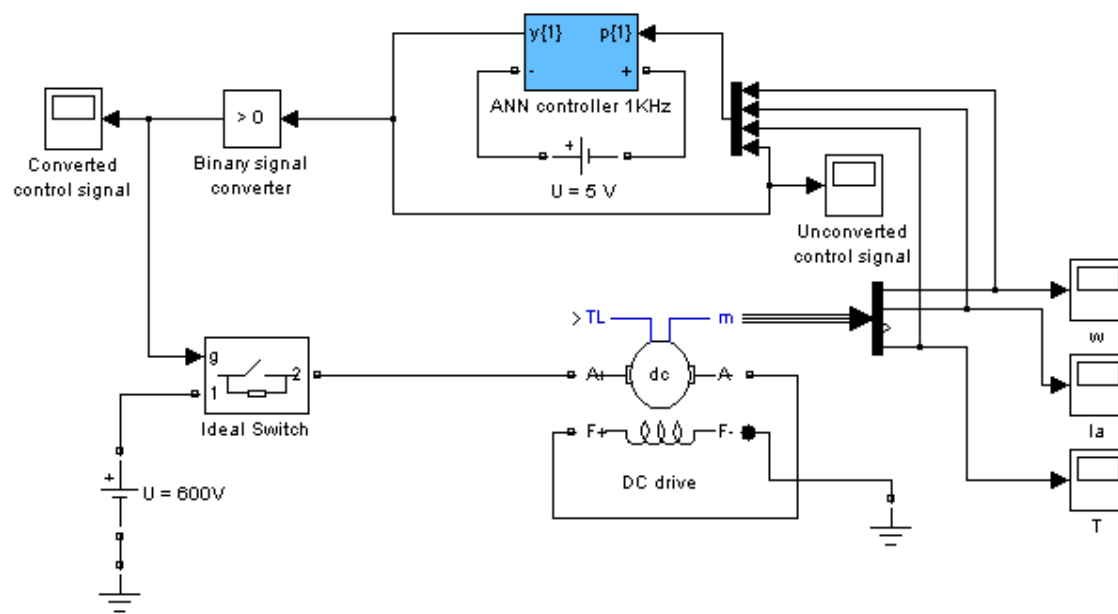
Algoritms pārstāj darboties tādā gadījumā, ja izpildās viens no nosacījumiem:

1. Maksimālais atkārtojumu skaits ir sasniegts
2. Maksimālais laiks ir sasniegts
3. Darbība ir minimizēta līdz mērķa sasniegšanai
4. Darbības rādītājs noslīd zem minimuma
5. μ vērtība pārsniedz maksimālo

Datoreksperiments

Līdzstrāvas dzinēja modelēšana

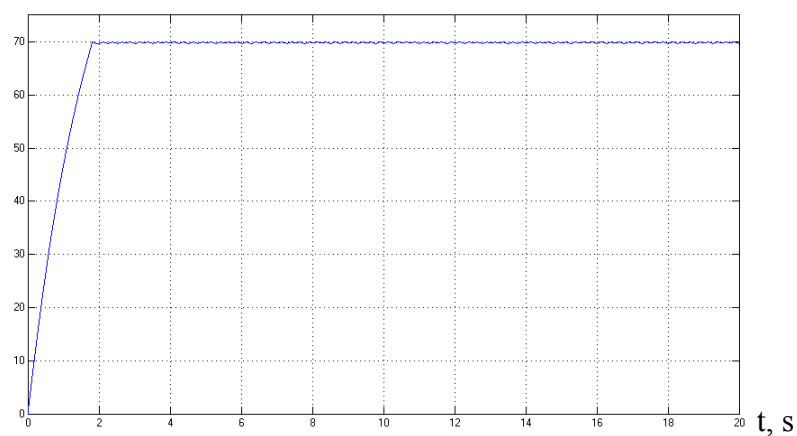
Vispārēja līdzstrāvas dzinēja shēma ar mākslīgu neironu tīkla kontrolleri, izveidota datorprogrammas Matlab vidē, ir attēlota 6. att.



6. att. Līdzstrāvas dzinēja ar neironu tīkla kontrolleri modelis

Modelēšanas rezultāts parādīts 7. att.

ω , rad/s



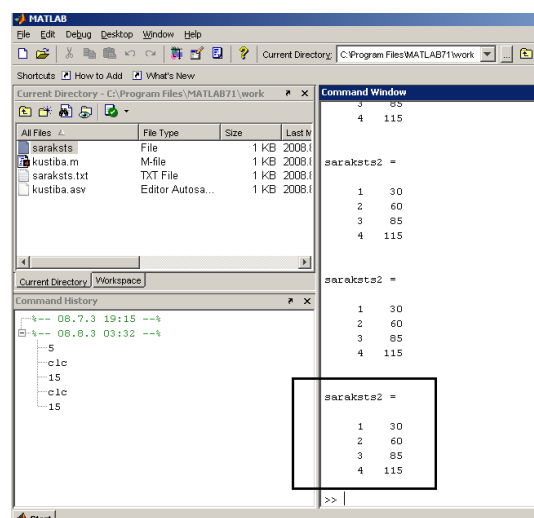
7. att. Rotācijas ātruma regulēšana ar 1kHz apmācītu neironu tīklu

Modelis darbojas ar jebkuru frekvenci, bet reālajā dzīvē šim parametram ir raksturīgi būt vienādam ar sensoru, slēdžu, datu apjomu, neironu tīkla lielumiem.. Tādēļ ir nepieciešams rast optimālo laika intervālu novērošanai un digitalizēšanai. Pārāk īss laika intervāls var prasīt ievērojamus datorresursus analīzei, pārāk ilgs laika intervāls var būt bīstams. Laika intervāliem ir maksimuma un minimuma ierobežojumi. Minimums ir ierobežots ar visu elektronisko ierīču reaģēšanas laiku, bet maksimums ir ierobežots ar drošības kritērijiem.

Saraksta modelēšana

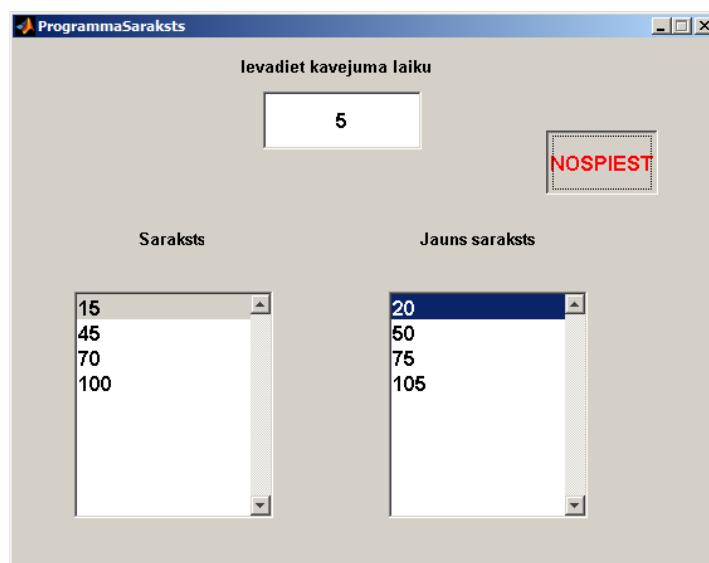
Dots transporta līdzekļa pienākšanas laiks pieturās pēc kustības uzsākšanas: 1. pieturā – pēc 15 min, 2.pieturā – pēc 45 min, 3.pieturā – pēc 1h un 10 min (70min), 4.pieturā – pēc 1h un 40 min (100min).

Sastādot šim uzdevumam atbilstošu programmu Matlab vidē iegūst atrisinājumu, kurš redzams 8. att.



8. att. Koriģēta saraksta izveidošana Matlab vidē

Matlab vidē izveidotā grafiskā lietotāja saskarne (GUIDE) neironu tīkla kontrollera apmācībai ir attēlota 9. att.



9. att. Lietotāja saskarne un datu sagatavošana neironu tīkla kontrollera apmācībai

Secinājumi

Ar Matlab vidē sastādītas programmas palīdzību ir iespējams atrisināt jautājumu par sabiedriskā transporta kustības grafika koriģēšanu. Datoreksperiments norāda uz to, ka Matlab vidē sastādīta programma var tikt lietota sabiedriskā transporta kustības nodrošināšanai.

Modelēšanas rezultāti norāda uz iespēju lietot neironu tīkla kontrolleru līdzstrāvas dzinēju vadīšanai. Neironu tīkls spēj radīt nevis vienu signālu, bet gan virkni vadības signālu.

Neironu tīkla kontrolleri var tikt lietoti gan vadīšanai, gan bīstamu situāciju paredzēšanai un brīdināšanai par to iespējamību. Neironu tīkla pielietošana var novērst iespējamās avārijas un negadījumus, kā arī neironu tīkls var tikt pielietots sabiedriskajā elektrotransportā ātruma optimālai vadīšanai.

Literatūra

1. Luger G. F. Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving, Williams, 2003, 863. p
2. S. J. Russel, P. Norvig. Artificial Intelligence. A Modern Approach, 2nd edition. Prentice Hall, 2006, 1408 p.
3. 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. 127-137. lpp.
4. M. Gorobetz, A. Levchenkov. Modelling Of Artificial Neural Network Controller For Electric Drive //In Proceedings of 10th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSIM), Cambridge, UK 1-3 Aprīlis 2008

Alps I., Gorobets M., Ļevčenkova A., Ribickis L. Sarakstu teorijas modelēšana intelektuālās elektriskā transporta sistēmās

Šis pētījums balstās uz saraksta teorijas lietojumu praksē, izmantojot neironu tīkla kontrollera apmācību intelektuālās elektriskā transporta sistēmas vadībai.

Uz neironu tīkla bāzētās intelektuālās elektroniskās ierīces līdzstrāvas dzinēja regulēšanai ļauj analizēt ievadītos datus un dot atbilstošus signālus bez cilvēka iejaukšanās. Līdzstrāvas dzinēji tiek plaši izmantoti sabiedriskajā transportā: tramvajos, trolejbusos un elektriskajos vilcienos. Šādas sistēmas vadības modelēšana virtuālajā laboratorijā dod iespēju izvairīties no fiziska modeļa radīšanas, aizstājot to ar līdzstrāvas dzinēja modeli un neironu tīkla vadītāju ar visām reālā elektriskā objekta īpašībām. Neironu tīkla kontrolleri var tikt lietoti gan elektrodzinēju vadīšanai, gan bīstamu situāciju novērsīšanai. Sabiedriskā transporta sistēmas elektriskās daļas modelēšanai laboratorijas apstākļos ir izmantojama programmas Simulink vide. Pētījumu gaitā Matlab vidē izstrādātās programmas var izmantot intelektuālā elektriskā transporta neironu tīkla apmācībai un sabiedriskā transporta kustības grafika koriģēšanai.

Alps I., Gorobetz M., Levchenkov A., Ribickis L. Modeling of scheduling theory in intelligent electric transport systems

This research is based on scheduling theory in practical use with neural network controller training to control intelligent electric transport system.

On neural network based intelligent electronic units for DC drive control give possibility to analyze input data and generate signals without human factor. Dc drives are widely used in public transport, such as trams, trolleys and electric trains. Modeling of such system in virtual laboratory give possibility to avoid creating a physical model, replacing it by DC drive model and neural network controller with all real electric object properties. Neural network controller may be used as for control as for forecasting and warning about dangerous situation. Simulink environment may be used for modeling electric part of public transport in virtual laboratory. Over the research developing programs in Matlab environment may be used for neural network training and for adjusting schedule for public transport.

Алпс И., Горобец М., Левченко А., Рыбицкий Л. Моделирование теории расписаний в интеллектуальных системах электроtransporta

Это исследование основано на практическом использовании теории расписаний для использования в обучении нейронного контроллера для интеллектуального управления электроtransportной системой.

Интеллектуальные электронные устройства на базе нейронной сети для управления электроприводом постоянного тока могут анализировать входные данные и исходя из этих данных генерировать выходной сигнал без влияния человеческого фактора. Двигатели постоянного тока широко используются в общественном транспорте: трамваях, троллейбусах и электропоездах. Моделирование таких систем в виртуальной лаборатории дает возможность избежать создания физической модели двигателя нейронного тока и контроллера с нейронной сетью, заменив их на виртуальные модели со свойствами, которые соответствуют реальным электрическим объектам. Контроллер с нейронной сетью может быть использован как для управления так и для прогнозирования и предупреждения опасных ситуаций и состояний системы. Для моделирования электрической части системы общественного транспорта в виртуальной лаборатории использовалась среда Simulink. Программы, разработанные во время исследования в среде MatLab, могут быть использованы для обучения нейронной сети и составления расписания для общественного транспорта.