

ISSN 1407-7345

RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTES
ZINĀTNISKIE RAKSTI

SCIENTIFIC PROCEEDINGS
OF RIGA TECHNICAL UNIVERSITY

4. SĒRIJA

**ENERĢĒTIKA
UN ELEKTROTEHNIKA
POWER AND ELECTRICAL
ENGINEERING**

5. SĒJUMS

IZDEVNIECĪBA "RTU", RĪGA 2002

SATURS

<i>Priekšvārds</i>	3
<i>Dolģicers A., Sauhats A.</i> Mikroprocesoru releju aizsardzību un automātikas iekārtu izstrādes, ievešanas un ekspluatācijas pieredze	7
<i>Krišāns Z., Oļeņikova I., Mutule A.</i> Elektrisko tīklu optimizācijas datorprogrammas LDM-VZ'01 lietotāju apmācības programma un metodika	14
<i>Vanags A., Briedis J., Maņņitko A.</i> Jaudas un elektroenerģijas zudumi 330 kV pārvades līniju ekrāntosēs, veidotās ar optiskās šķiedras kabeli ..	24
<i>Rozenkrons J., Ločmelis J.</i> Vēja elektrostacijas sagaidāmās saražotās elektroenerģijas prognozēšana ar īslaicīgiem vēja parametru mērījumiem	32
<i>Nazaričevs A.</i> Elektrostaciju un apakšstaciju elektroiekārtu apkope un remonts, ievērojot tehnisko stāvokli	40
<i>Makarovs A., Kuzņecova M.</i> Elastīga starpsistēmu saite uz vadāmo ferromagnētisko elementu bāzes.....	46
<i>Jasiūnas K., Čeponis Ž.</i> Papīra – eļļas kompleksās izolācijas resursa izpēte	52
<i>Survilo J.</i> Strāvmaiņu kļūdu ietekmes samazināšana mikroprocesoru ierīcēs.....	59
<i>Survilo J., Dolģicers A.</i> Programmatiska strāvmaiņu kļūdu korekcija mikroprocesoru ierīcēs	65
<i>Raņķis I., Žiravecka A., Daņilovskis V.</i> Trīsfāzu – vienfāzes tiešā matricpārveidotāja darbība taisngrieža režīmā	72
<i>Krievs O., Ribickis L.</i> Izplūdušās loģikas controlleru pielietojums industriālajā elektronikā un elektropiedziņā	77
<i>Matīss I., Purviņš A.</i> Fizikālo īpašību testēšana objektos ar neregulāru ģeometrisku formu (1.daļa: metodikas pamatojums un lietošanas sfēra)	86
<i>Matīss I., Purviņš A.</i> Fizikālo īpašību testēšana objektos ar neregulāru ģeometrisku formu (2.daļa: kalibrētu traucējošo faktoru metodikas eksperimentāla pārbaude)	95
<i>Uškalovs R., Greivulis J.</i> Šķidrumu ar īpašām elektriskajām struktūrām pielietojums Braila displeja izveidē.....	110

CONTENTS

<i>Preface</i>	3
<i>Dolgicers A., Sauhats A.</i>	
Experience of development, implementation and running of microprocessor devices for real protection and automation in power systems	7
<i>Krishans Z., Oleinikova I., Mutule A.</i>	
Instruction program and methods for consumers of electrical networks optimization software LDM-VZ' 01	14
<i>Vanags A., Briedis J., Mahnitko A.</i>	
Losses of capacity and electric power in the shield wires, formatted with optical fibre cable of 330 kV transmission lines	24
<i>Rozenkrons J., Ločmelis J.</i>	
Estimation of expected wind energy converter production using short term wind parameters measurements	32
<i>Nazarychev A.</i>	
Maintenance of the electric equipment of power stations and substations with the respect to their technical condition	40
<i>Makarov A., Kuznethova M.</i>	
Flexible alternating current transmission systems on the basis of controlled ferromagnetic elements	46
<i>Jasiūnas K., Čeponis Ž.</i>	
The researches of complex oil/paper insulation resource	52
<i>Survilo J.</i>	
Diminishing of current transformer error influence in microprocessor devices	59
<i>Survilo J., Dolgicers A.</i>	
Current transformer error correction in microprocessor devices by means of program amendment	65
<i>Rankis I., Zhiravecka A., Danilovskis V.</i>	
Three phase-one phase matrix converter's operation in the mode of a rectifier	72
<i>Krievs O., Ribickis L.</i>	
Application of fuzzy logic controllers in industrial electronics and electrical drives.....	77
<i>Matiss I., Purvins A.</i>	
Testing of physical properties of objects with irregular geometry (part 1: basic principles and application).....	86
<i>Matiss I., Purvins A.</i>	
Testing of physical properties of objects with irregular geometry (part 2: experimental validation tests of calibrated disturbing factors procedure)	95
<i>Uskalovs R., Greivulis J.</i>	
Using electrorheological fluids for Braille display design.....	110

APPLICATION OF FUZZY LOGIC CONTROLLERS IN INDUSTRIAL ELECTRONICS AND ELECTRICAL DRIVES

IZPLŪDUŠĀS LOĢIKAS KONTROLERU PIELIETOJUMS INDUSTRIĀLAJĀ ELEKTRONIKĀ UN ELEKTROPIEDZIŅĀ

O. Krievs, L. Ribickis

Atslēgas vārdi: Izplūdušā loģika, procesu vadība

Ievads

Izplūdušās loģikas idejas autors ir prof. Lotfi Zadē no Kalifornijas Universitātes Berkeleijā, kurš jau 1965. gadā ierosināja procesu vadības teorijā pielietot izplūdušo loģiku [1]. Tomēr neskatoties uz šo tik agri uzsākto darbu, lielākais ieguldījums izplūdušās loģikas vadības sistēmu izstrādē tika veikts 70. gadu vidū, lai gan arī tad pētījumi nesniedzās tālāk par laboratorijas prototipiem. Mūsdienās pateicoties skaitļošanas tehnikas ātrdarbībai kā arī augsti attīstītajai mikroprocesoru un programmatūras bāzei arvien vairāk autoru piedāvā konkurētspējīgus projektus izplūdušās loģikas kontroleru pielietojumam elektropiedziņas vadībā un industriālajā elektronikā.

Izplūdušā loģika apskata spriešanas un skaitļošanas metodiku, kas balstās uz izteikumu patiesumvērtībām no intervāla $[0,1]$ tradicionālo patiesumvērtību "paties" un "nepaties" (1 vai 0) vietā, uz kurām balstīta binārā loģika, kas ir pamatā lielākai daļai mūsdienu skaitļošanas sistēmu. Jāatzīmē, ka izplūduma jēdziens ir attiecināms uz situācijām, kurās neprecizitātes cēlonis nav stohastiska rakstura, bet gan klase vai klases, kurām nav stingri definētu robežu, atbilstoši izplūdušās kopas jēdziens ir pamatjēdziens, kas ļauj kvantitatīvi traktēt izplūdumu. Ar izplūdušo kopu saprot klasi, kas satur piederības pakāpes starpvērtības starp pilno piederību un nepiederību, respektīvi, izplūdušā kopa A objektu telpā $X=\{x\}$ tiek raksturota ar piederības funkciju μ_A , kura katram elementam piekārto skaitli $\mu_A(x)$ no slēgta intervāla $[0,1]$, kas ir šī elementa piederības pakāpe dotajai izplūdušajai kopai.

Būtiska loma vairākos pielietojumos, sevišķi izplūdušajā vadībā, ir vēl vienam izplūdušās loģikas pamatjēdzienam - lingvistiskajam mainīgajam. Lingvistiskais mainīgais, kā norāda nosaukums, ir mainīgais, kura vērtības ir dabiskās vai mākslīgās valodas vārdi vai teikumi, piemēram, temperatūra ir lingvistiskais mainīgais, ja tā vērtības ir "augsta", "vidēja", "zema" utt., kas pēc būtības ir klases bez stingri definētām robežām, jeb izplūdušās kopas.

Izplūdušā loģika tādējādi var kalpot par teorētisko bāzi cilvēka domāšanas principu un lingvistisko aprakstu iestrādei vadības sistēmās. Te parādās izplūdušās loģikas pievilcība - iespēja pārvērst lingvistiskos aprakstus, veselo saprātu ar datoru kontrolējamā sistēmā.

1. Izplūdušās loģikas kontrolera izmantošanas priekšrocības

Procesa vadības mērķis ir uzturēt vēlamu sistēmas stāvokli regulējot tās ieejas (vai ieeju) mainīgos saskaņā ar noteiktu likumu kopu, kas apraksta aplūkojamās sistēmas darbību. Lai iegūtu atbilstošu korigējošo ieejas signālu, balstoties uz regulēšanas kļūdu un saskaņā ar klasisko vadības teoriju, nepieciešams sistēmas matemātiskais modelis. Kļūdas apstrādei

lielākā daļa rūpniecisko kontroleru, kurus izmanto elektropiedziņas vadības sistēmās, izmanto proporcionāli integrējošos (PI), vai proporcionāli integrāli diferenciējošos (PID) korekcijas posmus kā iebūvētus regulatorus, vai arī kā programmējamā loģiskā kontrolera (PLK) sastāvdaļu, vadību realizējot saskaņā ar vienādojumiem:

$$X_{IZ} = k \cdot e + \frac{1}{T_i} \cdot \int e \cdot dt, \quad (1)$$

vai:

$$X_{IZ} = k \cdot e + \frac{1}{T_i} \cdot \int e \cdot dt + T_d \cdot \frac{de}{dt}, \quad (2)$$

kur X_{IZ} – koriģējošais regulatora izejas signāls, e – regulēšanas kļūda, ko apstrādā regulators, k , T_i un T_d (atbilstoši - pastiprināšanas koeficients, integrēšanas un diferencēšanas laika konstantes) - korekcijas posma parametri, kurus uzstāda ar mērķi optimizēt regulatora pārejas procesa raksturlīkni – minimizēt pārregulējumu, piergulēšanās laiku un stacionāro kļūdu, un kuru analītiskai noteikšanai nepieciešamas sistēmas matemātiskais modelis. Taču matemātiskā modeļa sintēze sarežģītu nelineāru sistēmu gadījumā ir visai problemātiska, tāpēc minētie parametri bieži tiek atrasti empīriski. PID kontroleri darbojas efektīvi, ja kontrolējamā iekārta vai process ir praktiski lineāri, jo tādā gadījumā sistēmas aprakstam tiek izveidots linearizēts matemātiskais modelis (vai vismaz tā izveidē pielietotas monotonas funkcijas). Tomēr sarežģītu sistēmu gadījumā PID kontroleri var būt neefektīvi, tieši tā iemesla dēļ, ka šādās situācijās ir grūti izveidot apmierinošu atbilstošu matemātisko modeli. Tam par iemeslu var būt:

- ievērojamas nelinearitātes kontrolējamajā procesā;
- neprecīzi dati par iekārtas vai procesa parametriem;
- iekārtas vai procesa parametru fluktuācijas darbības laikā.

Lai risinātu vadības problēmas, kas saistās ar minētajiem traucējošajiem faktoriem, ir izstrādātas dažādas adaptīvās vadības metodes, kas paredz PID regulatora parametru automātisku pieskaņošanu sistēmas darbības laikā. Tomēr šādam PID regulatoram raksturīgs visai sarežģīts darbības algoritms, tāpēc, lai uzturētu vēlamo regulēšanas procesa dinamiku, tam nepieciešama augsti attīstīta mikroprocesoru bāze, kas sadārdzina tā izmaksas.

Šo iemeslu dēļ, sarežģītu elektropiedziņas sistēmu (un ne tikai) vadībā pēdējā laikā plaši tiek pielietoti izplūdušie kontroleri¹. Izplūdušās loģikas kontrolera (ILK) darbībai nav nepieciešams precīzs matemātiskais modelis, bet gan efektīvi noformulēta izplūdušo likumu kopa, kas nosaka vēlamo procesa vadības stratēģiju. Gluži tāpat kā klasiskajos kontroleros, arī ILK ieejā var tikt padots regulēšanas kļūdas signāls e un tā izmaiņas ātrums de , tikai tie jāpārvērš lingvistiskā formā – tas ir, ar noteiktu piederības pakāpi jāpiekārt izplūdušām kopām (kļūdu e , piemēram, var piekārtot izplūdušajām kopām NEGATĪVA LIELA, NEGATĪVA VIDĒJA, NEGATĪVA MAZA, NULLE, POZITĪVA MAZA, kur katras e vērtības piederību katrai kopai raksturo piederības pakāpe intervālā $[0,1]$). Pašu procesu, kad kādi sistēmas mainīgie tiek pakārtoti vienai vai vairākām izplūdušajām kopām, sauc par fazifikāciju², bet inverso izplūdušās kopas viennozīmīgu skaitlisko interpretēšanu - par defazifikāciju. Tālākai regulēšanas kļūdas e apstrādei ILK izmanto vadības likumu kopu, kas satur *ja-tad* formā izteiktus vadības likumus, kuri, savukārt, nosaka, kā lingvistiskais ieejas lielums ietekmē izejas izplūdušās kopas veidošanos – tātad arī korekcijas signālu kontrolera

¹ angl. fuzzy controller

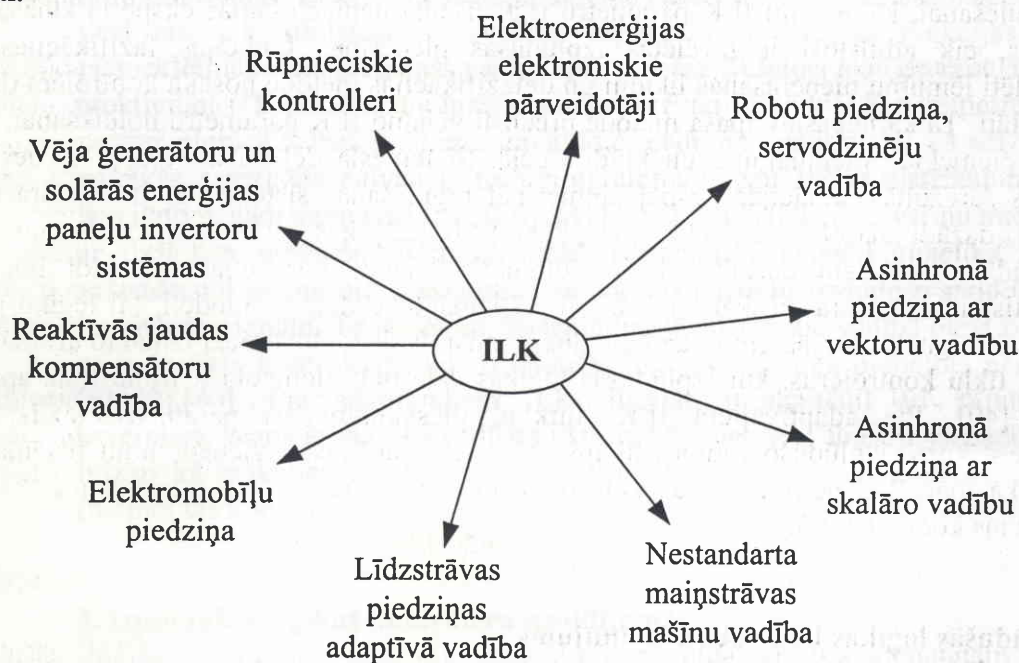
² fazifikācija un defazifikācija – atbilstoši angl. fuzzification and defuzzification

izejā. Tas padara ILK projektēšanu un pieskaņošanu daudz vienkāršāku, jo sarežģīta matemātiskā modeļa vietā jāoperē ar lingvistisko likumu sistēmām, kas veidotas pēc analogijas ar cilvēcisko spriestspēju.

Izplūdušās vadības sistēmas uzrāda labas statistiskās un dinamiskās īpašības un ir noturīgas pret sistēmas parametru fluktuācijām. Atbilstoši jau ieskicētajām problēmām, kas saistītas ar PID regulatoru izmantošanu, un, ņemot vērā izplūdušās vadības sniegtās priekšrocības, ir izkristalizējušies vairāki ILK pielietošanas veidi. Tos var izmantot atsevišķi vai kombinējot ar klasiskajiem PID (vai PI) regulatoriem:

- Izplūdušās loģikas daļa pierēgulē darba punktu, kas ir tuvu uzdotajam un tālāko regulēšanu veic PID (vai PI) regulators;
- Izplūdušās loģikas daļa nodrošina adaptīvā PID kontrolera parametru pieskaņošanu atkarībā no slodzes un regulējamās sistēmas parametru svārstībām;
- Sistēmas vadību pilnībā nodrošina tradicionālais vai adaptīvais ILK, kurš darbības laikā nepārtraukti optimizē vadības likumu bāzes struktūru.

Pateicoties jau iepriekš uzskaitītajām ILK priekšrocībām (t.i., spēju realizēt sarežģītu nelineāru sistēmu vadību ar labiem statistiskajiem un dinamiskajiem rādītājiem, neizmantojot to matemātisko modeli), tiem ir rasts pielietojums visdažādākajās industriālās elektronikas un elektropiedziņas sfērās. 1. attēlā ir parādītas pielietojuma sfēras, kurās sasniegti nozīmīgākie rezultāti.

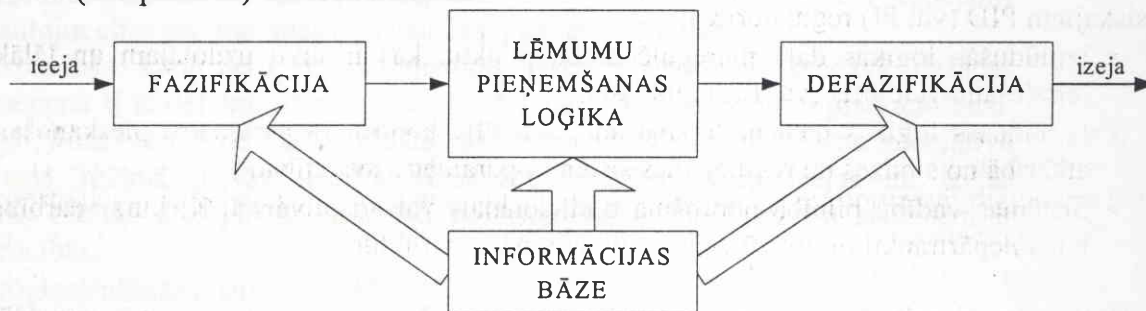


1.att. Izplūdušās loģikas kontroleru (ILK) pielietojuma sfēras industriālajā elektronikā un elektropiedziņā

2. Izplūdušās loģikas kontrolera funkcionālais sastāvs

Var izšķirt trīs ILK pamatklases: tradicionālos, adaptīvos un iebūvētos ILK. Tomēr visu minēto izplūdušo kontroleru pamatā ir tradicionālais ILK, kas sastāv no četriem galvenajiem elementiem:

- no lingvistisko vadības likumu kopas un datu bāzes sastāvošas informatīvās bāzes, kurā definētas vadības likumu formēšanā kā arī fazifikācijas un defazifikācijas procesā izmantotās izplūdušās kopas,
- skaitļošanas bloka (lēmumu pieņemšanas loģikas), kurš realizē izplūdušo vadību,
- fazifikācijas bloka, kurš interpretē no procesa ieejā saņemto informāciju izplūdušā formā,
- defazifikācijas bloka, kurš pēc izplūdušās vadības posma atgriež procesā skaitlisku (neizplūdušu) vadības lielumu.



2.att. Izplūdušā kontrolera struktūra

2. attēlā ir parādīta izplūdušā kontrolera funkcionālā shēma. Izplūdušo likumu bāzes noformulēšanai, kā arī citu ILK parametru iestādīšanai nepieciešamas eksperta zināšanas, jo tieši tas, cik atbilstoši ir izvēlētas izplūdušās piederības funkcijas fazifikācijas daļai, piemēklēti lēmumu pieņemšanas likumi un defazifikācijas metode nosaka kontrolera darbības efektivitāti. Tā kā nepastāv īpaša metode precīzai vēlamo ILK parametru noteikšanai, tad tos parasti piemēklē “mēģinājumu un kļūdu” ceļā. Šī iemesla dēļ kā arī tādēļ, ka tiešie ILK vairākās sarežģītās situācijās nespēj apmierināt regulēšanas sistēmai izvirzītās prasības, ir izveidoti dažādi adaptīvie ILK [10], [41], [11], [20], [22], kas vai nu vadības likumu sistēmā ar dažādām metodēm darbības laikā automātiski ienes korekcijas, tādējādi nodrošinot automātisku kontrolera pieskaņošanu, vai arī izmanto uzdodošo modeli, lai iegūtu papildu koriģējošo signālu. Te jāpiemin, ka izplūdušajā adaptīvajā vadībā bieži izmanto arī mākslīgos neironu tīklu kontrolerus, kur izplūdušās loģikas daļa tiek pielietota neironu tīkla apmācībā [6],[12],[40]. Pie adaptīvajiem ILK, turklāt, pieskaitāmi arī parametriskie izplūdušie kontroleri, kuros izplūdušo vadības likumu bāzē ietverta lineāru vienādojumu sistēma, kuru, līdzīgi kā mākslīgo neironu tīklus kontrolera pieskaņošanas nolūkos, iespējams “apmācīt” (mainot tās koeficientus).

3. Izplūdušās loģikas kontrolera izpildījums

Izplūdušo kontroleri iespējams izveidot uz aparatūras vai programmatūras bāzes. Tā kā vairākus ILK parametrus konstrukcijas laika gaitā var būt nepieciešams būtiski mainīt (fazifikācijas parametrus, vadības likumu bāzi, defazifikācijas metodi), tad priekšroku biežāk dotu ILK izpildījumam programmatūras veidā. Jāpiebilst, ka šajā gadījumā cieš kontrolera ātrdarbība, taču, ņemot vērā daudz lielākās vadāmā procesa termiskās un mehāniskās laika konstantes, šis trūkums nav būtisks. Turklāt, izplūdušo kontroleru realizācijai pieejams plašs programmatūras klāsts, atbilstoši kam iespējams darbības cikls var mainīties no dažām milisekundēm līdz mikrosekundēm, atkarībā no nepieciešamās ātrdarbības un algoritma sarežģītības. Vairākas plaši pazīstamas kompānijas (Motorola, Intel, Siemens, Omron, Apronix, u.c.) jau rūpnieciski ražo mikroprocesorus, kas ir piemēroti izplūdušo kontroleru

izveidei, un sagaidāms, ka tuvākajā nākotnē plaša sērijveida ražošana tiks uzsākta arī īpašiem izplūdušās loģikas procesoriem.

ILK programmatūras izpildījums visai bieži ir balstīts uz programmēšanas valodu C vai C++. Ir izstrādāts speciāls C valodas preprocesors *Fuzz-CTM*, kas jebkuram C valodas kompilatoram ļauj operēt ar izplūdušo loģiku. Šāds preprocesors spēj operēt ar izplūdušajiem likumiem un izplūdušajām piederības funkcijām, paredz darbu ar klasiskajām defazifikācijas metodēm un piedāvā iespēju izstrādāt jaunas defazifikācijas metodes, kā arī spēj izsaukt parastās C funkcijas no izplūdušajām un otrādi. Protams, ILK uz izplūdušo likumu bāzes iespējams realizēt arī izmantojot citas programmēšanas valodas, piemēram Matlab.

Mūsdienīgas izplūdušo kontroleru programmatūras izstrādes sistēmas piedāvā dažādas iespējas konstruējamā ILK defektu uziešanai un novēršanai, kā arī parametru pieskaņošanai. Kompāniju Togai, FuzzTech, Fide u.c. izstrādātās sistēmas nodrošina projektēšanu interaktīvā vidē. Interaktīvajā režīmā pastāv iespēja vizualizēt sakarības starp ieejas un izejas mainīgajiem, kas būtiski atvieglo šo sakarību noformulēšanu. Piedāvātajām sistēmām ir vairākas priekšrocības:

- atviegloti programmēšanas darba apstākļi,
- ātra prototipu izveide,
- pilnībā integrētas izplūdušo sistēmu un to projektēšanā pielietoto tradicionālo metožu grafiskās modelēšanas funkcijas,
- vadības likumu un piederības funkciju pieskaņošanas, papildināšanas, kā arī defektu uziešanas un novēršanas iespējas kontrolera darbības laikā.

Pēc izplūdušās sistēmas izveidošanas pastāv arī iespēja automātiski ģenerēt izplūdušā kontrolera programmas kodu. Izmantojot, piemēram, *FuzzyTech* piedāvāto projektēšanas sistēmu, visa izplūdušā kontrolera programma šajā gadījumā kļūst par C++ izsaukamu apakšprogrammu, kas iekļauta galvenajā C++ programmā (8 vai 16 bitu izpildījumā), kura vada personālā datora interfeisa iekārtas, kas, savukārt, ir savienotas ar devējiem un spēka shēmas vadību. Šī projektēšanas sistēma, turklāt, ir spējīga pārveidot minēto C++ kodu vairākās populārāko mikrokontroleru asamblera valodās, tādējādi piedāvājot iespēju izplūdušā kontrolera programmas kodu ielādēt tradicionālajos mikrokontroleros.

Ja ir pieejams vadāmā procesa vai iekārtas modelis, to var piesaistīt ILK projektēšanas sistēmai un veikt pieskaņošanas, kā arī defektu uziešanas un novēršanas procedūras, kontrolerim vēl neesot ieslēgtam procesa (iekārtas) vadības sistēmā.

Secinājumi

Izplūdušās loģikas kontroleru priekšrocības salīdzinājumā ar tradicionālajām vadības tehnikām slēpjas apstākļi, ka tie, sarežģīta matemātiskā modeļa vietā, izmantojot lingvistisku sistēmas aprakstu, spēj nodrošināt kvalitatīvu vadību nelineārās sistēmās ar parametru variācijas problēmu. Izplūdušās vadības sistēmas projektēšana šādos gadījumos ir daudz vienkāršāka, kā tiem pašiem mērķiem paredzētas tradicionālās adaptīvās vadības sistēmas izstrāde, jo pamatojas uz lingvistisko likumu sistēmām, kas veidotas pēc analogijas ar cilvēku spriestspēju. Izplūdušās vadības sistēmas rezultātā uzrāda labas regulēšanas statiskās un dinamiskās īpašības un ir noturīgas pret sistēmas parametru fluktuācijām.

Pastāv vairāki izplūdušās loģikas kontroleru pielietošanas veidi - tos iespējams izmantot atsevišķi vai kombinēt ar klasiskajiem PID regulatoriem, kā arī pielietot dažādas metodes izplūdušās lēmumu pieņemšanas procesam. Izplūdušajā adaptīvajā vadībā bieži izmanto arī

mākslīgos neironu tīklu kontrolerus, kur izplūdušās loģikas daļa tiek pielietota neironu tīkla apmācībā.

Izplūdušās loģikas kontroleru projektēšanai un realizācijai pašreiz ir pieejams plašs programmatūras un aparatūras klāsts. Vairākas plaši pazīstamas kompānijas (Motorola, Intel, Siemens, Omron, Aptronix, u.c.) jau rūpnieciski ražo mikroprocesorus, kas ir piemēroti izplūdušo kontroleru izveidei, un sagaidāms, ka tuvākajā nākotnē plaša sērijveida ražošana tiks uzsākta arī īpašiem izplūdušās loģikas procesoriem. Programmatūras jomā liela uzmanība tiek pievērsta vizuālā interfeisa nodrošinājumam, kā arī projektēšanas standarta operāciju un klasiskās metodikas automatizācijai, kas būtiski atvieglo programmēšanas darbu. Šķiet, ka vislielākā izplūdušās loģikas vadības pievilcība slēpjas iespējā pārvērst lingvistiskos aprakstus - cilvēka veselo saprātu ar datoru kontrolējamā sistēmā.

Literatūra

1. L.A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Info. & Ctl.*, Vol. 8, 1965. -p. 338-353.
2. Kaczmarek T., Brock S., Kaminski R. A Fuzzy Tuning of the Speed Controller Designed for the Robot Drive. – 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 5., Prague, 8.-10.Sept.1998. –p. 89-90.
3. Rukonuzzman M., Kurokawa M., Nakaoka M. A Fuzzy-Controlled Space Vector Modulation VSI for Induction Motor Load.– International Power Electronics Conference (IPEC-Tokyo 2000), Proceedings, Tokyo, 3.-7.Apr.2000. –p. 952-957.
4. Cataliotti A., Poma G. A Fuzzy-Logic Control System for an Induction Motor Drive Compensating the Variation of Rotor Resistance. – 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 5., Prague, 8.-10.Sept.1998. –p. 213-217.
5. Boyagoda P., Nakaoka M. A Neural Network Based Positional Tracking Controller for Servo Systems. - IEEE Industry Applications Conference, Vol.4.Phoenix, 3.-7. Oct.1999. –p. 2380-2385.
6. Volosencu C. A Neuro-Fuzzy Speed Controller for Electrical Drives.– 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 6., Prague, 8.-10.Sept.1998.-p. 185-187.
7. Very C.C.A., Shaw I.S., van Wyk J.D., Barnard .M. A New Approach to Control Non-Standard Induction Machines, Using A Fuzzy Logic Algorithm. -20th International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation (IECON'94)Vol 2., Bologna, 5.-9.Sept.1994. –p.1315-1316.
8. Cecati C., Rotondale N. A New Induction Motor Drive with Fuzzy Logic CC-PWM. - IEEE Industry Applications Conference, Vol.4.Phoenix, 3-7 Oct.1999. –p.674-679.
9. Krzeminski Z., Jaderko A. A Speed Observer System of Induction Motor with Magnetizing Curve Identification.- 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 6., Košice, 5.-7. Sept.2000. – p. 109-110.
10. Romeral L., Aldabas E., Arias A., Bordonau J. A Very Simple Self-Tuning PID Speed Controller. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 6., Košice, 5.-7. Sept.2000. –p. 203-208.

11. Pirjan D., Ivanov S., Sente P., Trifa V. Adaptive Fuzzy Logic Controller for an Induction Motor Supplied By a PWM Voltage Source Inverter. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 6., Košice, 5.-7. Sept.2000. -p. 76-81.
12. Razik H., Baghli L., Rezzoug A. Adaptive Neuro-Fuzzy Speed Control of an Induction Motor. - 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 3., Prague, 8.-10.Sept.1998. -p. 34-35.
13. Yesong L., Gang P., Yi Q. Auto-Tuning Strategy Using Fuzzy Inference in AC Servo System. - 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 4., Prague, 8.-10.Sept.1998. -p. 45-49.
14. Naunin D., Karaali C. Cascaded Position Control for an Intelligent Synchronous Servodrive Using Fuzzy Logic. - 5th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'93), Brighton, 13.-16.Sept.1993. -p. 447-452.
15. Zavišlak R. Comparison of Several Fuzzy-PI "Anti-Windup" Strategies for PM Motor Speed Regulation. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 6., Košice, 5.-7. Sept.2000. -p. 87-88.
16. Kazmierkowski M.P. Control Strategies for PWM Rectifier/Inverter-Fed Induction Motors. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 1., Košice, 5.-7. Sept.2000. -p. 69-70.
17. Stasi S., Salvatore L. Design Method of Fuzzy Controllers for Speed and Current Control Loops of DC Motor Drives. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 6., Košice, 5.-7. Sept.2000. -p. 152-153.
18. Uddin M. N., Rahman M. A. Digital Implementation and Performance Analysis of Fuzzy Logic Algorithm for IPMSM Drive. - International Power Electronics Conference (IPEC-Tokyo 2000), Proceedings, Tokyo, 3.-7.Apr.2000. -p. 1140-1145.
19. Sen P.C. Dynamically Robust Control- a New Technique for Power Converter Control. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 1., Košice, 5.-7. Sept.2000. -p. 79-80.
20. Mrad F., Deeb G. Experimental Comparative Analysis of Conventional, Fuzzy Logic, and Adaptive Fuzzy Logic Controllers. - IEEE Industry Applications Conference, Vol.4.Phoenix, 3.-7. Oct.1999. -p. 664-673.
21. Rubaai A., Ricketts D. Experimental Verification of a Hybrid Fuzzy Controller for a high Performance Brushless DC Drive System. - IEEE Industry Applications Conference, Vol.4.Phoenix, 3-7 Oct.1999. -p. 1041-1047.
22. Fetyko J., Kron S. Fuzzy Adaptive Feedback and Feedforward Speed Controller for Tracking Control of Servo Drives. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 6., Košice, 5.-7. Sept.2000. - p. 178-179.
23. Bitoleanu A., Pirjan D., Popescu M., Ivanov S. Fuzzy Control of DC Motor and Resonant Chopper System. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 1., Košice, 5.-7. Sept.2000. -p. 69.

24. Simones M.G Fuzzy Control Systems for Power Electronics Engineers. – 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000) Tutorial T5., Košice, 5.-7. Sept. 2000. –p. 133.
25. Torico J. A., Bim E. Fuzzy Logic Space Vector Current Control of Three-Phase Inverters. – 2000 IEEE 31st Annual Power Electronics Specialists Conference, Conference Proceedings, Galway, 18.-23.Jun.2000. –p. 147-152.
26. Bebic M., Jeftenic B. Fuzzy Logic Speed Controller for a Variable Frequency AC Drive System. – 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 5., Prague, 8.-10.Sept.1998. –p. 184-189.
27. Ibrahim Z., Levi E., Williams D. Fuzzy Logic Versus PI Speed Control of Servo Drives: a Comparison. – 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 4., Prague, 8.-10.Sept.1998. –p. 34-39.
28. Yoshitsugu J., Inoue K., Nakaoka M. Fuzzy Logic-Based Learning Auto-Tuning Scheme Using α Parameter Ultimate Sensitivity Method for AC Servo System. – 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 5., Prague, 8.-10.Sept.1998. –p. 229-230.
29. Zawirski K. Fuzzy Robust Speed Control for Permanent Magnet Synchronous Motor Servodrive. – 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 5., Prague, 8.-10.Sept.1998. –p. 94-98.
30. Vas P., Stronach A.F., Neuroth M. Fuzzy, Pole-Placement and PID Controller Design for High-Performance Drives. - IEEE/KTH, Stockholm, 18.-22.Jun.1995. –p. 1-6.
31. Riid A., Jartsev P., Ruestern E. Genetic Algorithms in Transparent Fuzzy Modeling. - BEC 2000, Tallin, 8.-11.Oct.2000. 91. –p. 94.
32. Jelonkiewicz J., Przybyl A. High Efficient Induction Motor Drive for Light Vehicle. – 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 4., Prague, 8.-10.Sept.1998. –p. 177-178.
33. Sundareswaran K., Palani S. High Performance AC Voltage Controller Fed-Induction Motor Drive Using Fuzzy Logic Estimator. – International Power Electronics Conference (IPEC-Tokyo 2000), Proceedings, Tokyo, 3.-7.Apr.2000. –p. 1146- 1153.
34. Forrai A., Hashimoto S., Funato H., Kamiyama K. Implementation of a Fuzzy Controller for Vibration Supression – Application for Flexible Structures. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 7., Košice, 5.-7. Sept.2000. –p. 29-34.
35. Schoeder D. – Intelligent Observation and Control in Motion Control. International Power Electronics Conference (IPEC-Tokyo 2000), Proceedings, Tokyo, 3.-7.Apr.2000. –p. 590-595.
36. Borisovs A., Dubrovskis L., Aļeksējeva L. u.c. Izplūdušī loģika, Iespējamību teorija un to pielietojumi.– Rīga: RTU, 1995.-135.lpp.
37. Yoshitsugu J., Inoue K., Nakaoka M. Load Speed Observer-based Fuzzy Auto-tuning Implementation for AC Speed Servo System with Two-mass Mechanical Motion System. – IEEE Industry Applications Conference, Vol.4.Phoenix, 3.-7. Oct.1999. –p. 645-652.
38. Borisovs A., Dubrovskis L., Kuļešova G. u.c.Mākslīgie neironu tīkli: arhitektūra, algoritmi un pielietojumi. – Rīga: RTU, 1998.-110.lpp.

39. Wu Z., Naunin D. Neuro-Fuzzy Control of Servo Drives Including Fuzzy Flux Observer Algorithms. – International Power Electronics Conference (IPEC-Tokyo 2000), Proceedings, Tokyo, 3.-7.Apr.2000. –p. 1154-1159.
40. Wu T.-F., Yang C.-H., Chen Y.-K., Liu Z.-R. Photovoltaic Inverter Systems with Self-Tuning Fuzzy Control Based on an Experimental Planning Method. - IEEE Industry Applications Conference, Vol.4.Phoenix, 3.-7. Oct.1999. –p. 1887-1894.
41. Salvatore L., Stasi S., Dell'Aquila A., Cupertino F. Robust Control of Vector-Controlled Induction Motor Drives. – 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC'98), Proceedings Vol 5., Prague, 8.-10.Sept.1998. –p. 25-26.
42. Hong B. Robust Fuzzy Control for a Class of Dynamic Systems with Unmeasurable Disturbances. – 20th International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation (IECON'94)Vol 3., Bologna, 5.-9.Sept.1994. –p. 1718-1719.
43. Orłowska-Kowalska T., Krzysztof J., Krzysztof S. Robustness of Fuzzy-Logic Control with Simple Parameter Adaption for DC Motor Drive System. - 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE-PEMC 2000), Proceedings Vol 6., Košice, 5.-7. Sept.2000. –p. 82-83.

Oskars Krievs, Mg. Student, B.sc.Ing.

Riga Technical University, Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives

Adress: Kronvalda b. 1-317, LV 1010 Riga, Latvia

Phone:+371 7089918, Fax: +3717820378

E-mail: oskarsk@e-apollo.lv

Leonids Ribickis, Professor, Dr.habil.sc.ing.

Riga Technical University, Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives

Adress: Kaļķu 1, LV 1050 Riga, Latvia

Phone:+371 7089400, Fax: +371 7820094

E-mail: ribickis@adm.rtu.lv

Krievs O., Ribickis L. Izplūdušās loģikas kontroleru pielietojums industriālajā elektronikā un elektropiedziņā
Sniegts materiāla izvērtējums par izplūdušās loģikas kontroleru pielietojumu industriālajā elektronikā un elektropiedziņas vadības sistēmās. Veicot pētījumu apzināti pazīstamāko pasaulē atzīto energoelektronikas un elektropiedziņas konferenču pēdējo gadu materiāli.

Krievs O., Ribickis L. Application of fuzzy logic controllers in industrial electronics and electrical drives
The results of the research conducted on application of fuzzy logic controllers in industrial electronics and electrical drives. The papers of the latest most reputed international conferences on power electronics and electrical drives in industrial applications have been reviewed within this research.

Криевс О., Рибичкий Л. Применение контроллеров нечеткой логики в промышленной электронике и в системах управления электроприводом

Дано обобщение результатов исследований по применению контроллеров нечеткой логики в системах управления электроприводом. При исследовании темы рассматривались материалы последних лет наиболее известных в мире конференций по энергоэлектронике и электроприводу.