

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Agris ŅIKITENKO

**HIBRĪDAS INTELEKTUĀLAS SISTĒMAS
IZSTRĀDĀŠANA UN REALIZĀCIJA**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2006

1. Vispārējs darba raksturojums

1.1 Pētījuma pamatojums

Mākslīgais intelekts ir salīdzinoši jauna modernās zinātnes nozare, kuras galvenie pētāmie objekti ir problēmu risināšana un zināšanu atspoguļošana. Gan lēmumu pieņemšanas jomā, gan zināšanu atspoguļošanas jomā pēdējo desmitgažu laikā ir radītas daudz dažādas tehnoloģijas, metodes un pieejas, kas ļauj risināt noteiktu klašu problēmas ar lielākām vai mazākām sekmēm. Mākslīgā intelekta metodes tiek pielietotas praktiski visās tautsaimniecības nozarēs, bet īpaši intensīvi medicīnā, militārajā sfērā, ražošanā, biznesā, u.c. Sistēmas ar mākslīgā intelekta tehnoloģiju pielietojumu no gada uz gadu kļūst aizvien sarežģītākas, dodot iespēju risināt arvien plašāku problēmu loku.

Darba kontekstā intelektuālās sistēmas ir iedalāmas divās klasēs - autonomās un neautonomās intelektuālās sistēmās. Autonomas sistēmas pretstatā neautonomām sistēmām spēj darboties, izmantojot savu pieredzi, bez cilvēka iejaukšanās, vai palīdzības [1]. Autonomu intelektuālu sistēmu izveide ir saistīta ar plašu problēmu loku gan no lēmumu pieņemšanas viedokļa, gan arī no zināšanu ieguves un atspoguļošanas viedokļa, jo autonomām sistēmām ir patstāvīgi jāiegūst, jāorganizē zināšanas, kā arī patstāvīgi jāpieņem lēmumi. Tādejādi ir neizbēgamas situācijas, kurās lēmums jāpieņem, balstoties uz nepietiekamām zināšanām un ierobežotu informāciju par ārējo vidi [1]. No zināšanu atspoguļošanas viedokļa autonomu sistēmu īpatnība ir tā, ka zināšanu vienību savstarpējā saistīšana notiek patstāvīgi - automātiski, bez cilvēka (eksperta) dalības šajā procesā. Tādejādi autonomu intelektuālu sistēmu izstrāde parasti ir ievērojami sarežģītāka nekā tādu sistēmu izstrāde, kuras nav autonomas, vai kuru autonomija ir ļoti ierobežota.

Uzdevums kļūst vēl sarežģītāks, ja autonoma intelektuāla sistēma tiek izstrādāta darbam sarežģītās vidēs, kas raksturojamas ar lielu mainību (dinamiku), vāju prognozējamību, lielu skaitu elementu, daudzveidīgām saitēm starp elementiem, utt.. [1, 2, 3]. Tas nozīmē, ka lēmumu pieņemšanas process, kā arī zināšanu atspoguļošanas shēma kļūst sarežģītāka kā no strukturālā, tā arī no vadības viedokļa.

Lai arī mākslīgajā intelektā ir radītas dažādas tehnikas un metodes, tās var iedalīt divās galvenajās grupās - simbolu apstrādes tehnikas (angliski *Symbolic*) un ciparu apstrādes tehnikas (angliski *Subsymbolic* vai *Emergent*). Simbolu apstrādes tehnikas parasti ir ar centralizētu vadību un darbojas ar stingri definētiem simboliem. Kā piemēru var minēt

ekspertu sistēmas [4, 5]. Ciparu apstrādes tehnikas ir balstītas uz decentralizētu struktūru, kuras elementi ir cieši saistīti savā staipa. Kā vienas, tā otras grupas tehnikām ir savas priekšrocības un trūkumi, taču, lai izveidotu vispārīgi intelektuālas (angliski *Generally intelligent*) sistēmas, parasti priekšroka tiek dota simbolu apstrādes tehnikām [4]. Pateicoties simbolu pielietojumam, šīs tehnikas spēj darboties ar dažādas detalizācijas pakāpes zināšanām, kā arī cilvēks salīdzinoši vienkārši interpretē apstrādājamās zināšanas. Tādēļ darbā galvenā uzmanība tiek pievērsta simbolu apstrādes jeb uz zināšanām balstītām sistēmām. Tas nozīmē, ka darba ietvaros ir aplūkota tikai tā daļa no mākslīgā intelekta spriešanas tehnikām, kuras dod iespēju apstrādāt cilvēkam salīdzinoši vienkārši saprotamu informāciju. Tas paplašina izstrādājamās sistēmas pielietojumu, taču uzliek noteiktus ierobežojumus galvenokārt zināšanu atspoguļošanai, kurai jānodrošina iespēja cilvēkam interpretēt sistēmā izmantotās zināšanas. Lai izstrādātu autonomu intelektuālu sistēmu (kā arī jebkuru citu informācijas vai tehnisku sistēmu), ir nepieciešams noteikt sistēmas īpašības, balstoties uz vides īpatnībām, kurā tā darbosies [6, 7]. Pieaugot vides sarežģītībai, pieaug prasības pret sistēmas funkcionalitāti, kuras realizācija ar kādas konkrētas metodes palīdzību ir apgrūtināta.

Pašlaik mākslīgajā intelektā viens no perspektīvākajiem virzieniem, kas pēdējo gadu laikā ir guvis ļoti strauju attīstību, ir "hibrīdas intelektuālas sistēmas". Šī virziena pamatā ir vairāku mākslīgā intelekta tehnoloģiju (pieeju, metožu) apvienošana vienā [8, 9]. Tas ļauj novērst katras atsevišķās metodes, vai tehnoloģijas trūkumus, kompensējot tos ar citas metodes priekšrocībām, kā arī piešķirt izveidotajai sistēmai jaunas funkcionālas iespējas [8, 9]. Sevišķi aktuāls ir jautājums par dažādu spriešanas mehānismu kombinēšanu, paaugstinot intelektuālas sistēmas spriešanas un adaptēšanās spējas [8, 10].

1.2 Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir izveidot autonomas intelektuālas sistēmas struktūru, to praktiski realizēt un veikt tās darbības eksperimentālu pārbaudi un novērtējumu sarežģītās vidēs, lai nodrošinātu pilnīgu atbilstību prasībām pret šādu sistēmu. Darbā aplūkotās galvenās mākslīgā intelekta tehnikas nenodrošina atbilstību izvirzītajām prasībām. Tādēļ izstrādājamajai struktūrai, pamatojoties uz aplūkoto mākslīgā intelekta tehniku atbilstības izvirzītajām prasībām kopsavilkumu un tajā dotajiem paskaidrojumiem, ir jāapvieno induktīvas, deduktīvas, gadījumos sakņotas un asociatīvas spriešanas tehnikas, tādejādi veidojot hibrīdu

intelektuālu sistēmu un nodrošinot atbilstību minētajām prasībām. Balstoties uz iespējamo hibrīdu intelektuālu sistēmu struktūru īpašību analīzi, ir jāizvēlas vispiemērotākā struktūra, un tā praktiski jārealizē. Ir jāveic praktiski eksperimenti, lai pētītu un novērtētu izvēlētas struktūras un tai atbilstošo tehniku darbības efektivitāti un īpatnības, kā arī iespējamo praktisko pielietojumu.

Promocijas darbam ir šādi uzdevumi:

- Jāizanalizē sarežģītu vižu uzbūves un uzvedības īpatnības, lai noteiktu un novērtētu autonomas intelektuālas sistēmas īpašības veiksmīgai darbībai šādās vidēs;
- Jāsniedz autonomas intelektuālas sistēmas vispārīgu īpašību raksturojums, kuru realizācija nepieciešama veiksmīgas un efektīvas autonomas intelektuālas sistēmas darbībai sarežģītās vidēs;
- Jāveic galveno uz zināšanām balstītu tehnoloģiju apskats, lai novērtētu iespējas izmantot jau esošus risinājumus autonomas intelektuālas sistēmas darbībai sarežģītās vidēs;
- Jāveic autonomas intelektuālas sistēmas kodola struktūras izstrāde, izmantojot uz zināšanām balstītas spriešanas tehnikas;
- Jāveic autonomas intelektuālas sistēmas praktiska realizācija, izmantojot izstrādāto sistēmas kodola struktūru;
- Jāveic praktiski eksperimenti, izmantojot izstrādāto intelektuālo sistēmu, lai novērtētu tās efektivitāti, priekšrocības un trūkumus, kā arī analizētu sistēmas praktiskā pielietojuma iespējas;
- Jāsniedz sistēmas darbības un iespējamā praktiskā pielietojuma novērtējums;

Pētījumu veikšanai izmantotās metodes:

- Teorētiskie pētījumi pamatojas uz
 - o sarežģītu vižu,
 - o induktīvās, deduktīvās un gadījumos sakņotas spriešanas,
 - o mākslīgo neironu tīklu, asociatīvās spriešanas, evolūcijas teorijā sakņotu metožu un hibrīdu intelektuālu sistēmu struktūru īpašību analīzi.
- Eksperimentālie pētījumi pamatojas uz sistēmas darbības efektivitātes izmaiņu analīzi atkarībā no sistēmas struktūrā ietvertu tehniku darbības parametru vērtībām.

1.3 Promocijas darba zinātniskais jauninājums un autora ieguldījums

Darba **zinātniskais jauninājums** ir autonomas intelektuālas sistēmas struktūra, kas praktiski realizēta programmatūras un robotizētas sistēmas veidā. Izstrādātā sistēma pamatojas uz apkopoto informāciju par sarežģītu vižu īpašībām un tām atbilstošas autonomas intelektuālas sistēmas nepieciešamās funkcionalitātes analīzes rezultātiem, kas kalpo par pamatu darbā aplūkoto mākslīgā intelekta metožu īpašību kopsavilkumam. Darbā analizētas hibrīdu intelektuālu sistēmu struktūras un to pielietojuma īpatnības autonomas intelektuālas sistēmas izstrādei darbībai sarežģītās vidēs.

Darba **praktiskā vērtība** ir izstrādātā autonomas intelektuālas sistēmas struktūra un realizētais sistēmas prototips, kas apvieno induktīvās, deduktīvās, gadījumos sakņotas un asociatīvas spriešanas tehnikas. Minēto tehniku apvienojums vienā autonomā intelektuālā sistēmā ļauj sistēmai efektīvi darboties sarežģītās vidēs bez ārējas (cilvēka) palīdzības. Izstrādājot darbu, ir iegūti šādi praktiski **rezultāti**:

- Apkopota un analizēta informācija par sarežģītu vižu īpašībām un to ietekmi uz autonomas intelektuālas sistēmas funkcionalitāti;
- Apkopotas autonomas intelektuālas sistēmas funkcijas, balstoties uz sarežģītu vižu īpašībām;
- Analizētas vairāku mākslīgā intelekta tehniku īpašības un funkcionalitāte atbilstoši nepieciešamajai autonomas intelektuālas sistēmas funkcionalitātei, lai tā efektīvi darbotos sarežģītās vidēs;
- Izveidots analizēto mākslīgā intelekta tehniku funkcionalitātes atbilstības kopsavilkums nepieciešamajai autonomas intelektuālas sistēmas funkcionalitātei darbam sarežģītās vidēs;
- Analizēta vairāku hibrīdu intelektuālu sistēmu struktūru atbilstība autonomas intelektuālas sistēmas nepieciešamajai funkcionalitātei darbam sarežģītās vidēs, kā arī doti ieteikumi par analizēto struktūra izmantošanas īpatnībām autonomu intelektuālu sistēmu izstrādei;
- Pamatojoties uz sarežģītu vižu īpašībām, no tām izrietošām prasībām pret autonomu intelektuālu sistēmu un esošo mākslīgā intelekta tehniku analīzes rezultātiem, ir izstrādāta un praktiski realizēta intelektuālas sistēmas struktūra,

kas tai nodrošina vajadzīgo autonomiju un elastību, lai efektīvi darbotos sarežģītās vidēs;

- Izstrādātā struktūra apvieno induktīvo, deduktīvo, gadījumos sakņotu un asociatīvo spriešanu vienā hibrīdā intelektuālā sistēmā, kas nodrošina sistēmas spēju apmācīties, sākot savu darbību ar tukšu zināšanu bāzi (t.s. apmācība no nulles), t.i. uzkrāt zināšanas, izmantojot atbilstošu zināšanu atspoguļošanas shēmu, pielietot šīs zināšanas sistēmas mērķu sasniegšanai, kā arī koriģēt jau esošas zināšanas, pamatojoties uz sistēmas darbības rezultātā iegūto zināšanu pielietošanas atgriezenisko saiti;
- Eksperimentāli pierādīts, ka apvienojot vienotā intelektuālā sistēmā deduktīvās, induktīvās, gadījumos sakņotās un asociatīvās spriešanas tehnikas, sistēma iegūst nepieciešamo elastību efektīvai darbībai sarežģītās vidēs;
- Ir doti ieteikumi par autonomu hibrīdu intelektuālu sistēmu pielietojumu vadības un diagnostikas uzdevumos.

Darba rezultāti publicēti šādos izdevumos

1. A.Nikitenko, J. Grundspenkis, Combining of inductive, deductive and case-based reasoning: towards the development of hybrid intelligent system. Scientific Proceedings of Riga Technical University: 5th series "Computer science, Applied Computer Systems", Riga, RTU Publishing, 2001, Vol. 8, pp. 116 - 123.
2. A.Nikitenko, J.Grundspenkis, The kernel of hybrid intelligent system based on inductive, deductive and case based reasoning. KDS2001 Conference Proceedings, St. Petersburg, 2001, pp. 138. - 146.
3. A.Nikitenko, The structure of an intelligent system for complex environments. Proceedings of Riga Technical University: 5th series "Computer science, Applied Computer Systems (Special Issue)", Doctoral consortium, The 11th International Conference on Information Systems Development, Riga, RTU Publishing, 2002, Vol. 9, pp. 46 - 52.
4. A.Nikitenko, Inductive reasoning algorithms from the perspective of autonomous intelligent systems. Scientific Proceedings of Riga Technical University: 5th series "Computer science, Information Technology and Management Science", Riga, RTU Publishing, 2003, Vol. 14, pp. 10 - 17.

5. A.Nikitenko, A proposed structure for knowledge based hybrid intelligent systems for sophisticated environments. Varna, Bulgaria, KDS 2003 Conference Proceedings, 2003, Vol. 1, pp. 25-31.
6. A.Nikitenko, Robot Control Using Inductive, Deductive and Case Based Reasoning. Varna, Bulgaria, KDS 2005 conference proceedings, 2005, Vol. 2, pp. 418 - 427.
7. A.Nikitenko, Intelligent Agent Control Using Inductive, Deductive and Case Based Reasoning. Riga, Latvia, ECMS 2005 Conference Proceedings, 2005, pp. 486 - 492.

Darba rezultāti ir iekļauti Latvijas Zinātņu padomes granta 2003. gada atskaite (LZP Doktorantūras komisijas 19.05.2003. lēmums Nr. 4-2-1 par doktorantūras granta piešķiršanu).

Personīgais ieguldījums ir visi darba rezultāti, kuros satur šis promocijas darbs. Darba rezultātus autors ieguvis patstāvīgu pētījumu ceļā, izmantojot zinātniskās metodes.

1.4 Promocijas darba struktūra

Darbs sastāv no ievada, piecām nodaļām secinājumiem un literatūras avotu saraksta.

Ievadā ir pamatota veikto pētījumu aktualitāte, noformulēts galvenais pētījumu mērķis un uzdevumi, kā arī sniegts zinātniskā jauninājuma un darba praktiskās vērtības raksturojums.

Otrā nodaļa veltīta problēmas nostādnei. Tajā dots darbā pielietoto terminu skaidrojums, esošās situācijas analīze, kas veltīta galveno mākslīgā intelekta tehniku aprakstam, kā arī pielietojuma vadlīniju analīze. Nodaļā ir dots terminu „sarežģīta vide” un „autonoma intelektuāla sistēma” skaidrojums un definīcijas, kā arī dotas galvenās sarežģītas vides un autonomas intelektuālas sistēmas īpašības darbībai sarežģītās vidēs. Aplūkoto mākslīgā intelekta tehniku pielietojuma analīze ir veikta gan no vispārīga atbilstošās tehnikas pielietojuma, gan no autonomām intelektuālām sistēmām raksturīga skata punkta. Šīs nodaļas kopsavilkums sniedz pētīto mākslīgā intelekta tehniku atbilstības izvirzītajām autonomas intelektuālas sistēmas īpašībām analīzi, kas ļauj secināt, ka neviena no tām pilnībā neatbilst izvirzītajām prasībām. Nodaļā ir parādīts, ka tikai vairāku tehniku kombinācija ļauj sasniegt nepieciešamo funkcionalitāti.

Trešā nodaļa veltīta hibrīdu struktūra apskatam. Tajā ietvertas divas vispārīgas hibrīdu intelektuālu sistēmu klasifikācijas. Nodaļas kopsavilkumā tiek sniegta katras aplūkotās

hibrīdās struktūras īpašību analīze, kas norāda uz struktūru atbilstību izvirzītajām prasībām pret autonomu intelektuālu sistēmu darbību sarežģītās vidēs. Veiktās analīzes rezultāta ir izvēlēta vispiemērotākā hibrīdas intelektuālas sistēmas struktūra.

Ceturrtā nodaļa veltīta vispārīgam intelektuālas sistēmas kodola aprakstam, kas praktiski realizēts robotizētas sistēmas veidā. Nodaļas kopsavilkums sniedz izstrādātās struktūras funkciju atbilstības analīzi izvirzītajām prasībām pret autonomu intelektuālu sistēmu darbībai sarežģītās vidēs. Analīzes rezultāti pamato, ka izstrādātā struktūra ir pilnībā atbilstoša izvirzītajām prasībām.

Piektā nodaļa veltīta izstrādātās sistēmas praktiskās realizācijas detalizētam aprakstam. Nodaļā dotas galvenās datu struktūras un algoritmi.

Sestā nodaļa veltīta eksperimentu ar praktiski izstrādāto sistēmu un iegūto rezultātu aprakstam. Eksperimenti veikti, lai noskaidrotu šādas sistēmas īpašības: spēju apmācīties, apmācības efektivitāti ar pieaugošu zināšanu bāzi (zināšanu bāze tiek papildināta, sistēmai darbojoties), sistēmas darbības efektivitāti, mainot sistēmas parametrus un spriešanas tehniku pielietojumu (tiek izslēgta gadījumos sakņota spriešana), kā arī sistēmas darbības efektivitāti mainīgā vidē, izmantojot optimālu sistēmas konfigurāciju (parametri izvēlēti, balstoties uz iepriekšējo eksperimentu rezultātiem). Veiktie eksperimenti ļauj secināt, ka sistēmas efektivitāte ir būtiski atkarīga no izvēlētajiem darbības parametriem - asociatīvās, gadījumos sakņotas spriešanas izmantojuma, apmācību kopas izmēra, plāna maksimālā garuma (darbību skaita), plāna un likumu uzticamības mēra, kā arī no gadījumu ticamības mēra. Sistēmas efektivitāte ievērojami krīt, ja netiek izmantota gadījumos sakņota spriešanas tehnika. Eksperimenti tomēr pierāda, ka pat tad, kad sistēmas efektivitāte ievērojami samazinās (piemēram, netiek izmantota asociatīvā vai gadījumos sakņota spriešana), tā spēj apmācīties un pielāgoties mainīgas vides apstākļos, izmantojot pārējos spriešanas mehānismus.

Secinājumu daļā ietverti secinājumi, kas balstīti uz veiktajiem eksperimentiem. Pamatojoties uz eksperimentu rezultātiem, nodaļā aplūkotas piedāvātās struktūras priekšrocības un trūkumi, kā arī veikta praktiski izstrādātās sistēmas atbilstības analīze izvirzītajām prasībām pret autonomu intelektuālu sistēmu. Ir analizēts piedāvātās struktūras iespējamais praktiskais pielietojums vadības un diagnostikas uzdevumos. Nodaļā ir sniegts turpmāko pētījumu raksturojums un to nepieciešamības pamatojums. Ir formulēti galvenie virzieni: paplašināt struktūras iespējas spriest par dažāda garuma laika intervāliem, veikt dziļākus pētījumus par iespējam izmantot citus dažādu tehniku realizācijas algoritmus

praktisku sistēmu izstrādei, veikt pētījumus par sarežģītu sensoru izmantošanas iespējām praktisku sistēmu realizācijai.

Promocijas darbs rakstīts latviešu valodā. Tas sastāv no ievada, 6 nodaļām un secinājumiem. Darbā ir 36 tabulas un 50 attēli, kopā 180 lappuses. Bibliogrāfiskais saraksts satur 80 nosaukumus.

2. Darba saturs

Ievadā ir dots mākslīgā intelekta metožu iedalījums divās kategorijās - simbolu apstrādes un ciparu apstrādes metodēs [4, 5]. Promocijas darbā galvenokārt uzmanība tiek pievērsta simbolu apstrādes metodēm, jo tās parasti tiek izmantotas, lai veidotu vispārīgi intelektuālas sistēmas. Simbolu apstrāde metodes ļauj atspoguļot zināšanas tā, lai tās ir saprotamas arī sistēmas lietotājam [4]. Ievada nodaļā ir parādīta galvenā atšķirība starp autonomām un neautonomām intelektuālām sistēmām, spēja darboties, izmantojot savu pieredzi (bez cilvēka iejaukšanās vai palīdzības) [1]. Pieaugot vides sarežģītībai, pieaug prasības pret sistēmas funkcionalitāti, kuras realizācija ar kādas vienas konkrētas metodes palīdzību ir apgrūtināta (vai pat neiespējama). Pašlaik mākslīgajā intelektā viens no perspektīvākajiem virzieniem, kas pēdējo gadu laikā ir guvis ļoti strauju attīstību, ir "hibrīdas intelektuālas sistēmas". Tā pamatā ir vairāku mākslīgā intelekta tehnoloģiju (pieeju, metožu) apvienošana vienā [8]. Promocijas darba aktualitāte ir pamatota ar šī virziena priekšrocībām, kuras ļauj novērst katras atsevišķas metodes vai tehnoloģijas trūkumus, kompensējot tos ar citas metodes priekšrocībām, kā arī piešķirt izveidotajai sistēmai jaunas funkcionālās iespējas [8, 10]. Sevišķi aktuāls ir jautājums par dažādu spriešanas mehānismu kombinēšanu, paaugstinot intelektuālas sistēmas spriešanas un adaptēšanās spējas [8, 10].

2.1 *Darba mērķis, uzdevumi un struktūra*

Pirmajā nodaļā „**Darba mērķis, uzdevumi un struktūra**” definēti promocijas darba mērķis un uzdevumi. Darba mērķis ir izveidot autonomas intelektuālas sistēmas struktūru, to praktiski realizēt un veikt tās darbības eksperimentālu pārbaudi un novērtējumu sarežģītās vidēs, kas nodrošina pilnīgu atbilstību prasībām pret šādu sistēmu. Izstrādājamajai struktūrai, pamatojoties uz aplūkoto mākslīgā intelekta tehniku atbilstības izvirzītajām prasībām kopsavilkumu un tajā dotajiem paskaidrojumiem, ir jāapvieno induktīvas, deduktīvas, gadījumos sakņotas un asociatīvas spriešanas tehnikas, tādējādi veidojot hibrīdu intelektuālu

sistēmu. Balstoties uz iespējamo hibrīdu intelektuālu sistēmu struktūru īpašību analīzi, ir jāizvēlas vispiemērotākā struktūra, un tā praktiski jārealizē. Ir jāveic praktiski eksperimenti, lai pētītu un novērtētu izvēlētajās struktūras un tai atbilstošo tehniku darbības efektivitāti un īpatnības, kā arī iespējamo praktisko pielietojumu.

Promocijas darba mērķa detalizācija un uzdevumi ir doti kopsavilkuma 1.2. nodaļā „Promocijas darba mērķis un uzdevumi”.

2.2 *Problēmas definīcija*

Otrajā nodaļā „**Problēmas definīcija**” dotas galveno promocijas darbā lietoto terminu definīcijas, kas atrodamas literatūrā, tajā skaitā autonomas sistēmas un darbības vides definīcijas, kā arī darbības vides īpašības. Balstoties uz literatūras avotiem, izvirzītas prasības pret autonomu intelektuālu sistēmu darbībai sarežģītās vidēs. Pamatojoties uz izvirzītajām prasībām, kā arī sarežģītu vižu īpašībām, nodaļā veikta visplašāk pielietoto simbolu un ciparu apstrādes tehniku īpašību novērtējums. Novērtējuma rezultātā izveidots īpašību kopsavilkums, kas parāda katras aplūkotās tehnikas atbilstību izvirzītajām prasībām. Par intelektuālu sistēmu darba ietvaros tiek uzskatīta jebkura mākslīgi radīta sistēma, kas spēj izpildīt darbības vai realizēt informatīvos procesus, kuru realizācijai būtu nepieciešama intelektuāla darbība, ja tās realizētu cilvēks [1]. Promocijas darbā izmantotajā literatūrā [11] ir definētas galvenās intelektuālu sistēmu īpašības. Tās ir:

- Reaktivitāte (angliski *reactivity*) - spēja uztvert vidi un savlaicīgi rīkoties atbilstoši sistēmas mērķiem.
- Aktivitāte (angliski *Pro-activeness*) - spēja rīkoties, balstoties uz savu iniciatīvu, lai sasniegtu sistēmas mērķus, ņemot vērā vides izmaiņas.
- Sociāla aktivitāte (angliski *Social behavior*) - spēja sazināties ar citām sistēmām vai cilvēkiem (piemēram, sistēmas lietotāju).

Balstoties uz literatūras avotos sastopamajiem skaidrojumiem [1, 10, 12, 13], promocijas darba ietvaros par autonomu intelektuālu sistēmu tiek uzskatīta jebkura intelektuāla sistēma, kas patstāvīgi spēj pieņemt lēmumus, balstoties uz savu pieredzi un zināšanām, sistēmai izvirzītajiem mērķiem un pieejamām lēmuma alternatīvām. Ir jāuzsver, ka autonomu intelektuālu sistēmu izstrāde parasti ir sarežģītāka, jo prasa iebūvēt mehānismus, kas patstāvīgi (bez ārējas palīdzības vai vadības) spēj pieņemt lēmumus par sistēmas darbību un uzvedību [12]. Promocijas darba otrajā nodaļā ir dotas sarežģītu vižu īpašības, balstoties uz

vides uzbūves vai uzvedības īpašībām, kuras definētas darbā [1]. Taču, lai raksturotu sarežģītu vidi, izmantojot tās uzvedības īpašības, promocijas darbā vide ir aplūkota kā sistēma, jo balstoties uz sistēmu teorijas atziņām, par sistēmu var uzskatīt jebko, kas var tikt aplūkots kā vienots vesels [2, 3, 14]. Pamatojoties uz sarežģītas sistēmas definīciju [3], par sarežģītu sistēmu var tikt uzskatīta tāda sistēma, kas atbilst šādām īpašībām:

- Sarežģītas sistēmas uzvedība ir grūti paredzama vai pat neparedzama.
- Sarežģītas sistēmas ir unikālas, vai līdzīgu sistēmu skaits ir ļoti mazs, t.i. vērā neņemams.
- Sarežģītas sistēmas tiecas saglabāt tās galveno procesu norisi noteiktā veidā - tas nozīmē, ka sarežģītas sistēmas spēj pretoties ārējai iedarbībai, lai nodrošinātu savu procesu normālu norisi.

Pamatojoties uz literatūras avotos uzsvērtajām autonomas intelektuālas sistēmas īpašībām un veikto sarežģītas vides analīzi, promocijas darbā ir definēta nepieciešamā autonomas intelektuālas sistēmas funkcionalitāte, lai nodrošinātu efektīvu sistēmas darbību. Sistēmas pamatīpašības ir šādas:

- Spēja uztvert vidi. Šī īpašība nosaka to, ka sistēmai jābūt noteiktam informācijas uztveres mehānismam, kas pietiekamā apjomā nodrošinātu informāciju lēmuma pieņemšanas procesa vajadzībām [11, 15, 16].
- Spēja veikt darbības. Darbības ir visas tās sistēmas iedarbes vai manipulācijas, kas var tikt izmantotas mērķa sasniegšanai [10, 17, 18].

Intelektuālai sistēmai ir ļoti būtiska spēja pieņemt lēmumu par izejām, ja ir zināmas ieejas [10, 17], Literatūras avotā [1] tiek uzsvērta galvenā autonomas intelektuālas sistēmas īpašība - spēju izmantot savu pieredzi un zināšanas lēmuma pieņemšanas procesā. Lai nodrošinātu sistēmas spēju izmantot tās pieredzi, ir nepieciešams mehānisms, kas ļauj iegūt pieredzi, t.i. apmācīties.

- Spēja apmācīties. Pamatojoties uz sarežģītas vides īpašībām, ir nepieciešams nodrošināt sistēmas spējas adaptēties un apmācīties - iegūt jaunas likumsakarības, izmantojot sistēmas uztveri [19].
- Spēja spriest loģiski, t.i. deduktīvi (secīgi). Ja sistēma spēj iegūt likumsakarības, tad ir nepieciešama arī spēja tās izmantot. Galvenā loģiskās spriešanas īpatnība ir tā, ka tā sniedz formālu mehānismu, kas ļauj no esošām likumsakarībām un faktiem iegūt jaunus faktus jeb jaunas zināšanas [5, 18]. Viens no būtiskākajiem loģiskā sprieduma pielietojumiem ir darbību plānošana [5, 15, 16, 18, 20].

- Spēja izmantot iegūto pieredzi pilnīgi jaunās situācijās. Sarežģītās vidēs pastāv liela iespēja, ka sistēma reti sastapsies ar pilnīgi identiskām situācijām, kurās varēs tieši izmantot tās pieredzi. Tāpēc ir nepieciešams realizēt mehānismus, kas ļauj izmantot sistēmas pieredzi tādās situācijās, kuras sistēma nekad nav pieredzējusi. **Funkciju iekļāvis, pamatojis un tās nepieciešamību eksperimentāli pierādījis darba autors.**

- Spēja spriest asociatīvi. Asociatīvās spriešanas pamatā ir asociatīvās saites, kas saista noteiktus objektu vienotā tīklā, balstoties uz līdzībām starp tiem. Lai atrastu aplūkojamajam līdzīgu objektu, tiek izmantota īpašību kopa, kas, izmantojot asociatīvās saites, aktivizē (ierosina) objektu kopu, kurai sakrīt noteikts skaits īpašību (līdzības mērs) ar aplūkojamo objektu [21]. Līdzības mēra aprēķinam parasti izmanto šādu sakarību [22]:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{j=1}^n \partial(w_{ij} \cdot x_j) \geq T_i \\ 0, & \text{if } \sum_{j=1}^n \partial(w_{ij} \cdot x_j) < T_i \end{cases}, \text{ kur } \partial(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 0 \\ 0, & \text{if } x = 0 \end{cases}$$

Sakarībā:

- \vec{X} - jautājuma vektors jeb aplūkojamais objekts, kurš aprakstīts ar atribūtiem (īpašībām) x_j ;
- \vec{Y} - atbildes vektors ar elementiem y_i , kas norāda vai zināšanu bāzē esošais objekta i apraksts ir līdzīgs jautājuma objektam;
- w_{ij} - konkrēta atribūta svars objektam i ;
- T_i - līdzības sliekšnis - līdzības mēra minimālā vērtība objektam i ;

Šādi asociatīvā spriešana nodrošina spēju spriesta par vidi, izmantojot līdzību [21,22, 23].

Funkciju iekļāvis, pamatojis un tās nepieciešamību eksperimentāli pierādījis darba autors.

- Spēja uztvert notikumu secību. Šī īpašība ir būtiska, jo sniedz iespēju sistēmai noteikt katra konkrēta vides stāvokļa, vai notikuma vietu pārējo notikumu, vai stāvokļu vidū [5], lai sistēma varētu iemācīties vidē pastāvošās cēloņu - seku likumsakarības, jeb, lietojot svešvārdu, kauzalitātes (angliski *Causality*).

- Mērķtiecība. Sistēmai jābūt mērķtiecīgai, lai nodrošinātu tās darbību saskaņā ar sistēmas lietotāja uzstādītajiem mērķiem. Mērķtiecība ir viena no īpašībām, kas raksturo autonomu sistēmu [4, 5, 10],

Pamatojoties uz definētajām nepieciešamajām autonomas intelektuālas sistēmas īpašībām, nodaļā veikta galveno simbolu un ciparu apstrādes tehniku analīze. Pamatojoties uz veikto

mākslīgā intelekta tehniku īpašību analīzi, nodaļā izveidots apskatīto tehniku īpašību kopsavilkums:

Tabula 2.1. Īpašību kopsavilkums

Īpašība / Tehnika	Deduktīva spriešana	Induktīva spriešana	Gadījumos sakņota spriešana	Mākslīgie neironu tīkli	Asociatīva spriešana	Evolūcijas teorijā sakņoti algoritmi
Spēja uztvert vidi	X	X	X	X	X	X
Spēja veikt darbības	X		X	X	X	X
Spēja apmācīties		X	X	X	X	X
Spēja spriest deduktīvi	X			X2*		
Spēja izmantot pieredzi pilnīgi jaunās	X		X	X	X	X
Spēja spriest asociatīvi				X3*	X	
Spēja uztvert notikumu secību		X				
Mērķtiecība	X		X 1*	X4*	X4*	X5*

Apskatītās tehnikas redzamas tabulas 2.1. kolonnu nosaukumos, bet īpašības rindu nosaukumos. Tabulā ar "X" norādīts, ka konkrētajai teknikai īpašība piemīt, bet tukšums norāda, ka īpašība nepiemīt. Ar "*" norādīts, ka īpašība piemīt, bet ir pielietojuma ierobežojumi vai īpatnības, kas paskaidrotas zemāk.

1* - Mērķtiecība izpaužas tehnikas spējā iegūt esošajai situācijai līdzīgu gadījuma aprakstu, kas ietver problēmas risinājumu.

2* - Deduktīvā spriešana var tikt realizēta, izvēloties īpašu neirona tīkla struktūru, apmācības stratēģiju un aktivitātes izplatšanās stratēģiju [24], Parasti uzsvēr neironu tīklu ierobežojumus veikt augsta līmeņa secīgus (deduktīvus) spriedumus, pretēji efektīvai zema līmeņa signālu apstrādei un vadībai [6].

3* - Asociatīvā spriešana var tikt izmantota, ja ir realizēta asociatīvā atmiņa, izmantojot mākslīgos neironu tīklus.

4* - Mērķis tiek uzdots ar apmācības kopu,

5* - Mērķis tiek uzdots ar risinājumu novērtēšanas funkciju.

Balstoties uz veiktās tehniku īpašību analīzes rezultātiem, ir secināts, ka neviena no apskatītajām teknikām nevar nodrošināt visas nepieciešamās autonomas intelektuālas sistēmas īpašības darbībai sarežģītās vidēs. Taču, ja apvieno induktīvās, deduktīvās, gadījumos sakņotas un asociatīvas spriešanas tehnikas, tad tiek apmierinātas visas prasības pret autonomas intelektuālas sistēmas nepieciešamo funkcionalitāti. Tādēļ nākošajā nodaļā veikta hibrīdu struktūru analīze, lai noteiktu, kura no hibrīdajām struktūrām ir vispiemērotākā autonomas intelektuālas sistēmas izstrādei.

2.3 Hibrīdas intelektuālas sistēmas

Trešajā nodaļā „**Hibrīdas intelektuālas sistēmas**” ir dots termina „hibrīda intelektuāla sistēma” skaidrojums, t.i. par hibrīdām intelektuālām sistēmām tiek uzskatītas intelektuālas sistēmas, kurās tiek kombinētas divas, vai vairākas mākslīgā intelekta tehnikas [6]. Promocijas darbā aplūkotas divas hibrīdu intelektuālu sistēmu struktūru klasifikācijas, kas neierobežo struktūras ar konkrētu tehniku izmantošanu.

Funkciju aizvietošanas hibrīdi

Funkciju aizvietošanas hibrīdos tiek realizēta funkcionālā kompozīcija, t.i. vienas tehnikas kāda no funkcijām tiek aizstāta ar citu tehniku. Šādas struktūras izveides motivācija ir saistīta ar tehniku uzlabošanas nepieciešamību, tādejādi samazinot, vai novēršot nevēlamas pamattehnikas īpašības.

Arhitektūra attēlota šādā shēmā:

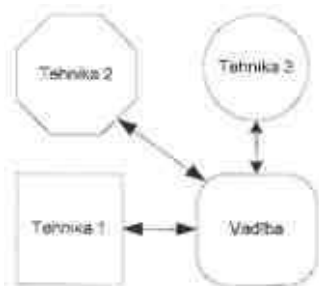


2.1. attēls. Funkciju aizvietošanas arhitektūra

Savstarpēji komunicējoši hibrīdi

Savstarpēji komunicējoši (angliski *Intercommunicating*) hibrīdi ir neatkarīgu, pašpietiekamu jeb apgādātu ar visu nepieciešamo (angliski *self-contained*) intelektuālu moduļu kopums, kas savstarpēji apmainās ar informāciju, lai iegūtu uz mērķi vedošu risinājumu. Neatkarīgie hibrīdas sistēmas moduļi tiek organizēti secīgu darbību veikšanai, piemēram, vispirms atpazīt situāciju, un pēc tam pieņemt lēmumu. Tie var būt arī savstarpēji konkurējoši / sadarbojošies. Šādā gadījumā visi hibrīdas sistēmas moduļi darbojas vienlaicīgi, un vadības modulis ir kā atsevišķi realizēta komponente.

Tas attēlots šādā shēmā:



2.2. attēls. Savstarpēji komunicējoša arhitektūra

Polimorfiski hibrīdi

Polimorfās hibrīdas intelektuālas sistēmas tiek izmantotas gadījumos, kad nepieciešama dažādu mākslīgā intelekta tehniku funkcionalitāte, kas tiek apvienota vienotā arhitektūrā. Šādas arhitektūras izvēles motivācija ir vajadzība risināt tāds uzdevumus, kuros ir nepieciešama daudzfunkcionalitāte.

Šādas struktūras hibrīdas sistēmas spēj darboties, demonstrējot daudzējādu dabu, t.i. spēj demonstrēt dažādu mākslīgā intelekta tehniku uzvedību. Literatūrā [6] šādas pieejas sauc par hameleonu tehnikām, kas spēj mainīt savu funkcionalitāti. Struktūra attēlota šādā shēmā:



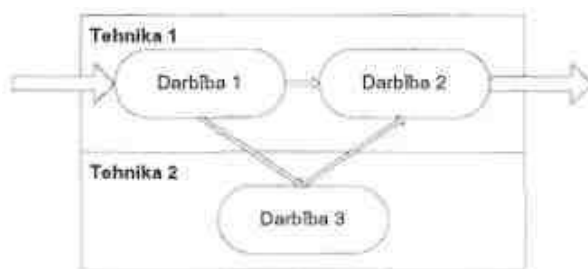
2.3. attēls. Polimorfās struktūras shēma.

Promocijas darbā analizēta vēl viena hibrīdu intelektuālu sistēmu klasifikācija pēc to uzbūves [25], jo tā iever iepriekšējā klasifikācijā neaplūkotas hibrīdu intelektuālu sistēmu struktūras. Tā papildina iepriekš doto klasifikāciju.

Kombinētas hibrīdas intelektuālas sistēmas

Kombinētas (angliski *Combination*) arhitektūras hibrīdas intelektuālas sistēmas ir neatkarīgu, pašpietiekamu intelektuālu moduļu kopums, kas integrē uz zināšanām balstītas un ciparu apstrādes pieejas. Piemēram, tās ir ekspertu sistēmas, kas kombinētas ar mākslīgo neironu tīkliem.

Kombinēta arhitektūra uzskatāmi attēlota šādā shēmā



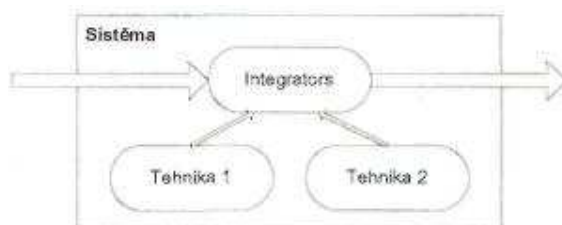
2.4. attēls. Kombinēta arhitektūra

Kā redzams shēmā, lēmuma pieņemšanas process tiek realizēts, kombinējot vairākas tehnikas. Šī tipa arhitektūra ir atbilstoša iepriekš apskatītajai klasifikācijas funkciju aizvietošanas struktūrai, bet ar nosacījumu, ka tiek apvienotas simbolu apstrādes un ciparu apstrādes tehnikas.

Integrētas hibrīdas intelektuālas sistēmas

Šī tipa arhitektūra ir raksturīga ar viena t.s. integrācijas moduļa esamību, kas atkarībā no definētā mērķa un esošajiem mērķa sasniegšanas apstākļiem, sistēmas darbībā iesaista kādus no moduļiem, kuri realizē konkrētu mākslīgā intelekta tehniku.

Uzskatāmi integrētas arhitektūras sistēma attēlota šādā shēmā:

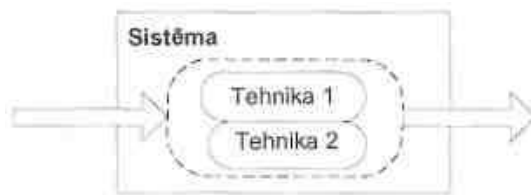


2.5. attēls. Integrētas hibrīdas intelektuālas sistēmas struktūras shēma

Arhitektūra ir atbilstoša iepriekš dotās klasifikācijas savstarpēji komunicējošai struktūrai.

Apvienotas hibrīdas intelektuālas sistēmas

Šīs struktūras hibrīdas intelektuālas sistēmas ir raksturīgas ar to, kas vienas mākslīgā intelekta tehnikas funkcijas tiek realizētas, lietojot citu mākslīgā intelekta tehniku. Piemēram, ekspertu sistēmas skaidrojošās komponentes daļa tiek realizēta neironu tīkla veidā, kas veic iegūto secinājumu klasificēšanu. Uzskatāmi apvienotas arhitektūras sistēma attēlota šādā shēmā:

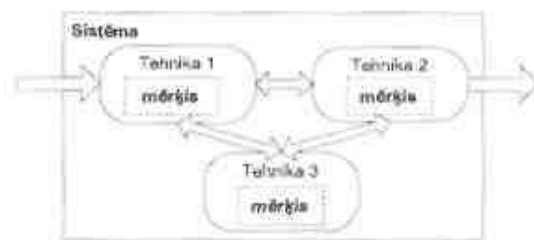


2.6. attēls. Apvienotas hibrīdas intelektuālas sistēmas struktūras shēma

2.6. attēlā redzama hibrīda sistēma, kura veic divas funkcijas. No tām viena realizēta, izmantojot 1. tehniku („Tehnika 1”), bet otra, izmantojot 2. tehniku („Tehnika 2”).

Asociatīvas hibrīdas intelektuālas sistēmas

Šīs struktūras īpatnība ir tā, ka sistēmā ietilpstošie moduļi spēj strādāt gan autonomi, gan sadarbojoties ar citiem sistēmas moduļiem. To, vai moduļi sadarbojas vai nē, nosaka mērķis, t.i. sistēmas moduļi paši nosaka, vai ir šādas sadarbības nepieciešamība, lai sasniegtu mērķi. Uzskatāmi asociatīvas arhitektūras sistēma attēlota šādā shēmā:



2.7. attēls. Asociatīvas hibrīdas intelektuālas sistēmas struktūras shēma

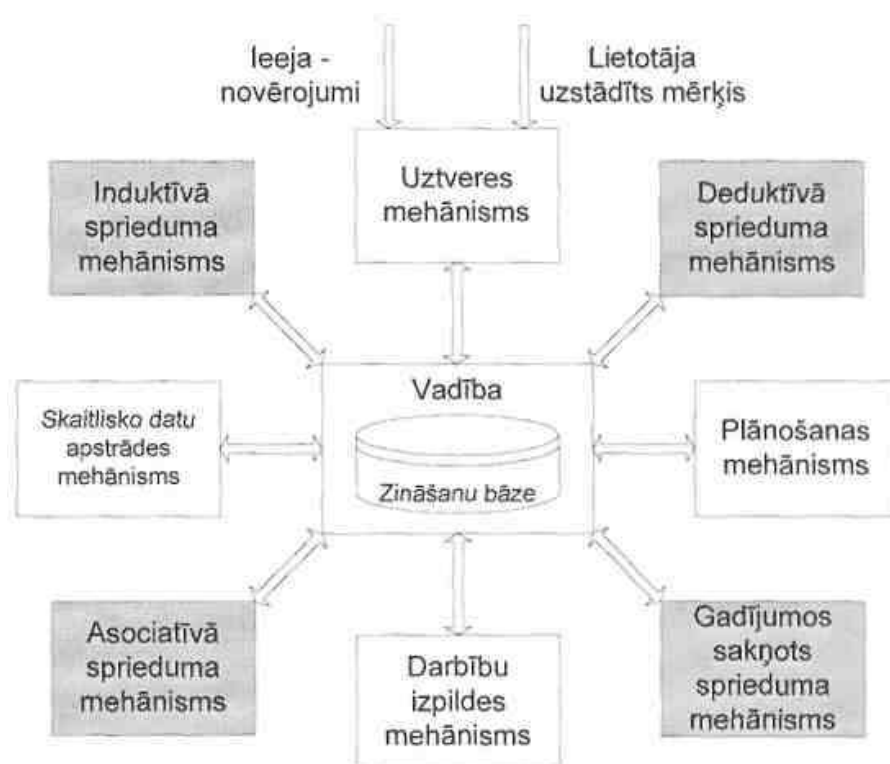
2.7. attēlā redzams, ka katrs sistēmas modulis satur zināšanas par mērķi, kas nosaka, kā moduļi savstarpēji sadarbosies. Literatūras avotā [25] tiek uzsvērts, ka šādas struktūras nav guvušas ievērojamus panākumus praktisku problēmu risināšanā, tādēļ nevar spriest par šādu struktūru efektivitāti.

Pamatojoties uz apskatīto hibrīdo struktūru īpašību analīzi un izvirzītajām prasībām pret autonomas intelektuālas sistēmas nepieciešamo funkcionalitāti, par autonomas hibrīdas intelektuālas sistēmas struktūra, kas atbilst visām iepriekš izvirzītajām prasībām, ir jāizmanto savstarpēji komunicējoša struktūra jeb integrēta struktūra, jo vienīgi tā nodrošina veidu, kā apvienot nepieciešamās mākslīgā intelekta tehnikas, t.i. induktīvās, deduktīvās, gadījumos sakņotas un asociatīvas spriešanas tehnikas, vienotā sistēmā.

2.4 Autonomas intelektuālas sistēmas kodols

Ceturtnā nodaļa „Autonomas intelektuālas sistēmas kodols” veltīta **promocijas darbā izstrādātās** autonomas intelektuālas sistēmas kodola aprakstam un katra izmantotā elementa nepieciešamības pamatojumam.

Sistēmas kodolu veido induktīvās, deduktīvās, gadījumos sakņotas un asociatīvās spriešanas mehānismi (moduļi), kuri, sadarbojoties vienotā sistēmā, nodrošina otrajā nodaļā definēto funkciju un īpašību realizāciju. Promocijas darbā izstrādātā autonomas intelektuālas sistēmas struktūra ir attēlota šādā shēmā:



2.8. attēls. Sistēmas kodola struktūra

Atbilstoši 2.8. attēlā parādītajai struktūrai, vadības mehānisms nodrošina piekļuvi zināšanu bāzei, kā arī komunikāciju starp citiem sistēmā iekļautajiem mehānismiem (moduļiem). 2.8. attēlā redzamā struktūra nodrošina šādas funkcijas:

- spēju apmācīties, izmantojot induktīvās spriešanas mehānismu;
- spēju spriest secīgi, izmantojot deduktīvās spriešanas mehānismu;

- spēju izmantot savu pieredzi pilnīgi jaunās un iepriekš nepieredzētās situācijās, izmantojot gadījumos sakņotu, deduktīvo un asociatīvo spriešanu;
- spēju spriest asociatīvi, izmantojot asociatīvās spriešanas mehānismu;
- spēju būt mērķtiecīgai, izmantojot deduktīvo spriešanu, gadījumos sakņotu spriešanu un asociatīvo spriešanu;
- spēju uztvert vidi un veikt darbības;

Struktūra ietver šādus moduļus:

- Induktīvās spriešanas mehānisms, kas nodrošina likumsakarību iegūšanu no uztveres.
- Deduktīvās spriešanas mehānisms, kas tiek izmantots secīgais spriešanai par vidi. Praktiskā realizācijā šis modulis, galvenokārt, tiek izmantots, lai prognozētu vides stāvokli.
- Gadījumos sakņotas spriešanas modulis, kas ļauj uzkrāt un izmantot uzvedības šablonus - plānus, kas ļauj sasniegt konkrētus mērķus.
- Asociatīvās spriešanas modulis, kas ļauj izmantot līdzību starp situāciju aprakstiem, lai samazinātu kopējo apstrādājamo zināšanu apjomu.
- Uztveres mehānisms. Tas ir paredzēts ārējās vides uztveršanai. Robotizētas sistēmas gadījumā tas tiek realizēts kā sensoru bloks.
- Plānošanas mehānisms. Lai arī deduktīvā spriešanas mehānisms var tikt izmantots darbību plāna sastādīšanai [21], tas nedod iespēju:
 - o plānot darbības, ņemot vērā darbību izpildei nepieciešamo laiku;
 - o sadalīt mērķi apakšmērķos un sastādīt katram apakšmērķim atsevišķu plānu;
 - o plānu apturēt, ja plāna tālākā izpilde nav iespējama, vai nav lietderīga virzībai uz mērķi;
 - o noteikt pārplānošanas nepieciešamību, ja plāna tālākā izpilde nav iespējama, vai nav lietderīga;

Tādēļ izstrādātā struktūra ir papildināta ar plānošanas mehānismu.

- Darbību izpildes mehānisms. Tas ir paredzēts plānu izpildei.
- Skaitlisko datu apstrādes mehānisms. Šis modulis paredzēts skaitlisku datu apstrādei, piemēram, pārlicību aprēķiniem, varbūtību, vai frekvenču aprēķiniem un citām vajadzībām. Piemēram, praktiski realizētajā intelektuālajā

sistēmā kopīgi tiek izmantoti šādi skaitliski dati un tiem atbilstošās datu apstrādes procedūras:

- o Situāciju līdzības novērtējums - skaitliska vērtība, kas norāda, cik lielā mērā divas salīdzināmās situācijas ir līdzīgas. Gan līdzības situāciju novērtējumi, gan novērtējumu procedūras ir realizētas tā, lai tās būtu pieejamas visiem pārējiem sistēmas mehānismiem. Praktiskajā realizācijā tiek izmantota šāda sakarība situāciju līdzības noteikšanai:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{j=1}^n \partial(x_j) \geq T \\ 0, & \text{if } \sum_{j=1}^n \partial(x_j) < T \end{cases}, \text{ kur}$$

$$\partial(x) = \begin{cases} 1, & \text{ja } x > 0 \\ 0, & \text{ja } x = 0 \end{cases}$$

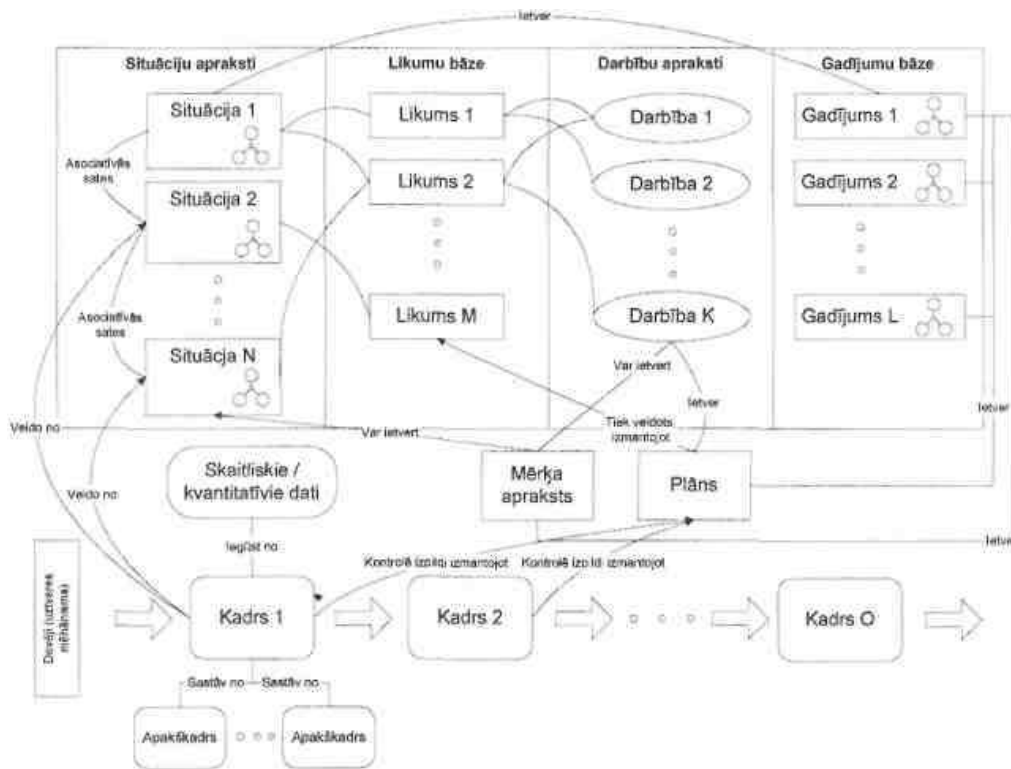
T - ir visiem situāciju aprakstiem vienota sliekšņa vērtība,

y_i - atbildes vektora \vec{Y} elements, kas norāda, vai konkrētā situācija ir līdzīga aplūkojamajai;

x_j - jautājuma vektora \vec{X} elements, kas norāda (piemīt / nepiemīt) uz aplūkojamās situācijas atribūtu j ;

- o Plāna novērtējums - skaitliska vērtība, kas norāda uz pēdējās plāna darbības paredzamo seku ticamību.

Visas zināšanas, kas nepieciešamas mehānismu darbībai, tiek uzglabātas zināšanu bāzē. Lai nodrošinātu visu nepieciešamo zināšanu uzglabāšanu un apstrādi, ir nepieciešama atbilstoša zināšanu bāzes struktūra. 2.10. attēlā ir redzama darba ietvaros **izstrādātā zināšanu attēlošanas shēma**, kuru izmanto visu mehānismu darbībai nepieciešamo zināšanu uzglabāšanai:



2.9. attēls. Zināšanu bāzes struktūra.

Struktūrā ietverti šādi elementi:

- Situācijas zināšanu bāzes struktūrā tiek izmantotas, lai saglabātu sistēmas pieredzēto dažādo situāciju aprakstus, kas vēlāk tiek izmantoti citu zināšanu vienību (likumu, plānu, u.c.)- piesaistīšanai.
- Likumi tiek izmantoti, lai uzturētu jebkura veida kauzālās attiecības, kas eksistē vidē. Likumi ar plaši pielietotu formu $If(nosacījums) Then(slēdziens)$ [1, 20] tiek izmantoti deduktīvās spriešanas mehānismā un iegūti, izmantojot induktīvās spriešanas mehānismu. Likumos var tikt tieši norādītas darbības kā secinājumu daļā, tā nosacījuma daļā. Piemēram, "If situācija 1 un darbība 2 Then Situācija 3" vai "If Situācijai Then darbība 2". Tādējādi tiek uzturētas saites starp likumiem un darbībām, kā arī likumiem un situācijām.
- Darbības ir simboliski pieraksti, kurus sistēma spēj tieši interpretēt tiem atbilstošu darbību veikšanai. Darbības tiek izpildītas, izmantojot darbību izpildes mehānismu. Piemēram, realizētās robotizētas sistēmas gadījumā pieraksts "darbība

1" tiek interpretēta, kā labā dzenošā riteņa pagriešana par vienu apgriezianu uz priekšu.

- Gadījumi veido gadījumu bāzi. Gadījumi tiek iegūti un apstrādāti, izmantojot gadījumos sakņotas spriešanas mehānismu. Katrs gadījums sastāv no situācijas apraksta, kurā tas ir ticis pielietots, mērķa apraksta, kuru ar atbilstošā gadījuma palīdzību var sasniegt, kā arī darbību secību jeb plānu, kas izmantojams atbilstošā mērķa sasniegšanai. Gadījuma matemātiskā interpretācija ir šāda:

$$\text{Gadījums} = \{E, Pl, G\}, \text{ kur}$$

Gadījums -gadījums;

E - situācijas apraksts jeb ieeja;

Pl - plāns, kas ļauj sasniegt mērķi;

G - mērķis;

- Kadri ir uztveres momentuzņēmumi, kas attēlo uztveres stāvokli. Kadri tiek iegūti, izmantojot uztveres mehānismu. Vienā kadrā var tikt ietverta informācija par vidi un tās stāvokli, kā arī par pašu sistēmu un tās stāvokli. Kadri var tikt sadalīti mazākās struktūrās - apakškadros, lai attēlotu kādus dinamiskus lielumus vai mērījumus, piemēram, kustības virzienu, trajektoriju, ātrumu, u.tml. Kadri ir ieeja induktīvās spriešanas mehānismam, kā arī deduktīvās un gadījumos sakņotas spriešanas mehānismiem.
- Kvantitatīvo datu struktūra paredzēta, lai uzglabātu skaitliskos jeb kvantitatīvos datus, kurus kopīgi izmanto dažādi sistēmas moduļi. Dati tiek iegūti un apstrādāti, izmantojot Skaitlisko datu apstrādes moduli, kā arī kadrus, kas kalpo dažādu skaitlisko novērtējumu t.sk. atgriezeniskās saites skaitlisko datu iegūšanai.
- Plāns satur darbību secību (saistību ar darbībām norāda atbilstošā saite sistēmas struktūras shēmā), kas sistēmai ir jāizpilda, vai arī tiek izpildīta. Plānu izveido plānošanas mehānisms, bet izpildi kontrolē darbību izpildes mehānisms.
- Mērķis ir lietotāja definēts sistēmas uzdevums, kas jāatrisina. Mērķis sistēmai tiek uzdots, izmantojot uztveres mehānismu. Mērķis var tikt uzdots vairākos veidos:
 - o kā noteikts stāvoklis, kas sistēmai ir jāsasniedz.
 - o kā konkrētu darbību secība, kas ir jāveic,
 - o iepriekšējo divu iespēju kombinācija.

Mērķa matemātiska interpretācija ir šāda:

$$G = \{S, M, C\}, \text{ kur}$$

G - mērķis;

S - stāvokļu kopa, kas sistēmai jāsasniedz;

M - darbību kopa, kas sistēmai jāizpilda;

C - sakārtojuma nosacījumi, kas definē M un S kopu elementu secību;

Sistēmas galvenās funkcijas un mehānismi, kas tās nodrošina ir šādi:

- Spēja uztvert vidi nodrošina vides uztveršanu un sistēmas iekšējā stāvokļa iegūšanu. Funkciju nodrošina uztveres mehānisms, kas iegūtos datus momentuzņēmumu veidā saglabā zināšanu bāzē - kadros un apakškadros.
- Spēja izpildīt darbības nodrošina darbību izpildi, piemēram, robotizētas sistēmas gadījumā motoru darbināšanu.
- Spēja apmācīties nodrošina iespēju, izmantojot iegūto informāciju par apkārtējo vidi un sistēmu pašu, ģenerēt vispārinājumus - likumsakarības, kas vēlāk tiek izmantotas spriešanas procesā. Izstrādātajā struktūrā šo funkciju nodrošina induktīvās spriešanas mehānisms.
- Spēja spriest loģiski nodrošina sistēmai iespēju veikt secīgus spriedumus, izmantojot induktīvās spriešanas rezultātā iegūtos likumus un kadros esošos jeb zināmos faktus. Spriešanas rezultāts ir jauni fakti, vai darbības. Tādējādi sistēma realizē no datiem virzītu spriešanu [21, 26].
- Spēja izmantot pieredzi pilnīgi jaunās situācijās. Funkciju daļēji nodrošina gadījumos sakņotas spriešanas mehānisms, kā arī deduktīvās spriešanas mehānisms. Iepriekšējās pieredzes pielietošanā tiek izmantots asociatīvās spriešanas mehānisms, kas ļauj spriest par situācijām pēc līdzības.
- Spēja spriest asociatīvi nodrošina sistēmai iespēju izmantot līdzības starp situācijām, lai spriešanas procesus padarītu elastīgākus. Piedāvātajā struktūrā asociatīvā spriešana galvenokārt tiek izmantota induktīvās, deduktīvās un gadījumos sakņotas spriešanas vajadzībām, lai nodrošinātu kādai situācijai līdzīgas situācijas noteikšanu.
- Spēja uztvert notikumu secību nodrošina iespēju fiksēt uztveres stāvokli ik pēc noteikta laika intervāla, fiksēto stāvokli saglabājot kadros. Kadri tiek kārtoti to uztveršanas secībā, tādējādi ļaujot viennozīmīgi noteikt stāvokļu secību.

-Spēja plānot nākotnes darbības. Funkcija ir cieši saistīta ar prasību, kas nosaka, ka sistēmai ir jābūt mērķtiecīgai, jo plānošana pati par sevi ir mērķa vadīts process, kura laikā tiek izveidots plāns jeb darbību secība, kas iespējams nodrošina mērķa sasniegšanu [21]. Plānošanas funkciju piedāvātajā struktūrā nodrošina plānošanas mehānisms, kurš plāna izveidei izmanto deduktīvās spriešanas un gadījumos sakņotas spriešanas mehānismus.

Galvenās sistēmas īpašības ir aplūkotas ciešā saistībā ar darbā izvirzītajām prasībām pret autonomu intelektuālu sistēmu darbībai sarežģītās vidēs. Izstrādātā struktūra, kā arī tās galvenās īpašības ir vispārīgas, jo izmantotās tehnikas (dedukcija, indukcija, gadījumos sakņota spriešana, asociatīvā spriešana) var tik realizētas, izmantojot dažādas metodes [1, 21, 27]. Izstrādātā struktūra ir atvērta un var tikt realizēta, izmantojot dažāda veida metodes noteiktu mērķu sasniegšanai.

2.5 Autonomas intelektuālas sistēmas praktiska realizācija

Piektajā nodaļā „Autonomas intelektuālas sistēmas praktiska realizācija” ir aprakstītas izstrādātās autonomas intelektuālas sistēmas struktūras praktiskas realizācijas programmatūras sistēmas veidā un robotizētas sistēmas veidā.

2.5.1 Sistēmas kodola realizācija programmatūras sistēmas veidā

Sistēma ir izstrādāta kā "vilka" un "zaķu" pasaule, kurā vilks ir intelektuāla sistēma, bet zaķi - kustīgi objekti. Vilka mērķis ir noķert zaķi. Papildus minētajiem objektiem, lietotājs var brīvi izvēlēties vietās izvietot "šķēršļus", kas ir nekustīgi un traucē kā zaķu, tā vilka kustību. Uzsākot sistēmas darbību, vilka zināšanu bāze ir tukša, t.i. tajā ir tikai darbību apraksti un to izpildes priekšnosacījumi. Darbības laikā, sistēma uzkrāj uztveres stāvokļus kadru veidā, kas tiek izmantoti par apmācības kopu induktīvās spriešanas mehānismam. Induktīvās spriešanas rezultātā radītie likumi tiek izmantoti deduktīvās spriešanas procesā, lai plānotu nākotnes darbības.

Minētie mehānismi ir realizēti, izmantojot šādas tehnikas:

- Induktīvās spriešanas tehnika - algoritms ID3 [28, 29.]. Tas tika izvēlēts, jo neskatoties uz tā trūkumiem, ir vienkāršs, labi izpētīts un viegli prognozējams, atvieglojot sistēmas darbības novērtēšanu.

- Deduktīvās spriešanas tehnika - uz pārliecības faktoru balstīta spriešana [30]. Uz pārliecības faktoru balstīta pieeja (Pārliecību teorijas praktiskais modelis), tika izvēlēta, jo ļauj vienkārši iegūt un izplatīt subjektīvus, t.i. sistēmas iegūtus, likumu un faktu patiesuma pakāpes novērtējumus - pārliecības. Pārliecības tiek piešķirtas arī likumam un tiek apzīmētas ar CF (Rule). Sākotnēji, izveidojot jaunu likumu, tā pārliecības faktora vērtība ir 1,0, lai stimulētu sistēmu izmantota jaunus likumus. Ja ir likums If A Then B CF(Rule), tad pārliecība par B tiek iegūta, reizinot CF(A) ar CF(Rule). Ja A ir tieši novērots (iegūts no uztveres), tad tās CF vērtība ir 1,0. Sistēmā (līdzīgi, ka robotizētā sistēmā) tiek apstrādāti tikai konjunktīvi likumi (to izraisa izmantotā induktīvās spriešanas algoritma darbības īpatnības), t.i. nosacījumu daļa, ja tā ir salikta, attēlo nosacījumu konjugāciju. Piemēram, ja ir likums If A and B Then C, tad saskaņā ar pārliecības teoriju CF vērtība par secinājumu C tiek iegūta: $CF(C) = \min\{CF(A); CF(B)\} * CF(Rule)$.
- Gadījumos sakņota spriešana - mehānisms, kas ļauj izveidot saites starp situāciju un darbību, kā arī darbības novērtējumu atbilstošajā situācijā [4, 21,31].
- Plānošana mehānisms - POP algoritms [1]. Šis algoritms, neskatoties uz nespēju apstrādāt nedrošus plānus, ļauj pārskatīt vairākas plānu alternatīvas.

Kopumā tiks izvēlētas pēc iespējas „klasiskākas” metodes, lai varētu viegli prognozēt un izskaidrot sistēmas uzvedību, kas ir būtiski, pētot sistēmas uzvedību kopumā. Sistēma izstrādāta, izmantojot programmēšanas valodu Delphi4 un datu bāzu vadības sistēmu Interbase (desktop), kas ir savstarpēji labi pielāgotas, samazinot izstrādei nepieciešamo laiku. Sistēmas izstrādes rezultāti:

- Praktiski parādīts, ka izmantotās spriešanas tehnikas var tikt pielietotas autonomu intelektuālu sistēmu izstrādei sarežģītām vidēm.
- Realizēta indukcijas, dedukcijas un gadījumos sakņotas spriešanas moduļu savstarpējā sadarbība.
- Realizēta un pārbaudīta kadru mehānisma darbība, pielāgojot kadru struktūru induktīvās spriešanas vajadzībām.
- Pārbaudīts POP plānošanas algoritms sadarbībā ar deduktīvās spriešanas moduli, t.i. realizēts mehānisms, kas ļauj plānošanas modulim izsaukt deduktīvās spriešanas moduli, lai plānošanas laikā prognozētu kādas konkrētas darbības sekas.

- Realizēts likumu un gadījumu ticamības mēra aprēķināšanas mehānisms, kas ļauj apstrādāt arī pretrunīgus likumus, šādi palielinot sistēmas elastību un adaptēšanās spējas.

Izveidotā programmatūras sistēma demonstrēja pielietotās struktūras vājās puses. Tās ir šādas:

- salīdzinoši liels lēmuma pieņemšanas laiks, kas bija saistīts ar nepieciešamību lēmuma pieņemšanas procesā apstrādāt lielu daudzumu simboliskas informācijas.
- Spēja strādāt tikai ar diskrētiem notikumiem. Tas bija saistīts ar struktūrā paredzēto uztveres īpatnību - uztveres diskreto stāvokļu saglabāšanu un apstrādi, izmantojot kadru mehānismu.
- Sistēmas struktūras sarežģītība, kas izraisīja salīdzinoši darbietilpīgu sistēmas testēšanas un atklāšanas procesu.

Sistēmas praktiskā realizācija ļāva atklāt šādas priekšrocības:

- Lietotājam labi saprotams un ērti lietojams zināšanu atspoguļošanas mehānisms, kas dod iespēju salīdzinoši vienkārši aplūkot uzkrātās zināšanas, kā arī nepieciešamības gadījumā tās modificēt. Priekšrocība ir saistīta ar simbolu izmantošanu zināšanu attēlošanai.
- Elastība un spēja pielāgoties. Sistēma demonstrē izmantotās struktūras spēju pielāgoties izmaiņām vidē (nenonākt strupceļā), pielietojot apmācības mehānismus.
- Salīdzinoši ērts mērķa definēšanas mehānisms, kas sistēmas darbības laikā ļauj definēt un koriģēt mērķi. Tādējādi, sistēma demonstrēja spēju pielāgoties arī mērķa maiņai, ko panāk plānojot un pārplānojot darbības atbilstoši mērķa maiņai. Mērķa maiņu var izraisīt lietotājs, uzstādot sistēmai jaunu mērķi.

Novērotās priekšrocības pierādīja prasību pamatotību par nepieciešamību izmantot apmācības mehānismus, kā arī deduktīvās spriešanas mehānismus, likumsakarību izmantošanai un ērtai attēlošanai lietotājam. Neskatoties uz priekšrocībām, kuras dod izstrādātā sistēma, tā nerealizē visus izstrādātās struktūras mehānismus. Tādēļ tika izstrādāta robotizēta sistēma, kas aprakstīta zemāk.

2.5.2 Robotizētas sistēmas vispārīgs apraksts

Robotizēta sistēma ir izveidota kā pārvietojama diferencētas piedziņas [32] platforma, kas aprīkota ar vairākiem devējiem - sensoriem un mehāniskām ierīcēm, kas spēj platformu pārvietot. Platforma ir aprīkota ar atbilstošām vadības ķēdēm, kas nodrošina mehānisko

elementu un sensoru kontroli. Pārvietošanās vadība notiek, izmantojot t.s. diferencēto kustības vadību [32], kuras pamatā ir divi simetriski izvietoti velkošie riteņi un vairāki papildus riteņi, kas nodrošina platformas atrašanos līdzsvarā.

Platformas tehniskais raksturojums:

- Piedziņa - divi patstāvīgā magnēta līdzstrāvas dzinēji, riteņi un atbilstoši pārnēsumi - nodrošina platformas pārvietošanos un manevrēšanu.
- 8 infrasarkano staru attāluma mērītāji, kas nodrošina sistēmas spēju uztvert šķēršļus 8 virzienos no 0,3 m līdz 2,0 m attālumā, kas sadalīti 5 sektoros -5 iespējamās vērtībās.
- 2 sadursmes sensori - viens priekšpusē, otrs aizmugurē. Tie nodrošina sistēmas spēju konstatēt sadursmi ar kādu šķērslī.
- Kompass, kas nodrošina sistēmas spēju noteikt savu pozīciju attiecībā pret ziemeļu virzienu. Sensors nodrošina iespēju atšķirt 360 dažādus virzienus.
- Velkošo riteņu pozīcijas sensori (katram ritenim pa divi). Sensori nodrošina iespēju noteikt riteņu pozīciju.
- Divi BX-24 procesori [33] nodrošina minēto sensoru vadību. Viens no tiem veic attāluma mērītāju datu apstrādi un sagatavošanu, bet otrs veic pārējo sensoru vadību, datu apkopošanu un sazināšanos ar galveno datoru - lietotāja datoru.
- Lietotāja dators, kas nodrošina sadarbību ar lietotāju, kā arī veic iepriekšējās nodaļās aprakstīto struktūras mehānismu darbināšanu programmatūras veidā.

Programmatūras risinājums:

- Izmantota programmēšanas valoda Delphi 7, lai realizētu struktūras moduļus, izņemot darbību izpildes moduli.
- Darbību izpildes modulis realizēts, izmantojot BX-24 ražotāja izplatīto programmatūru (uz programmēšanas valodas Basic balstīta vide).
- Induktīvā spriešanas mehānisms ir realizēts, izmantojot algoritmu C 4.5 [34].
- Deduktīvās spriešanas mehānisms ir realizēts, izmantojot uz pārliecības teoriju balstītu tehniku [30].
- Gadījumos sakņotas spriešanas mehānisms ir realizēts, izmantojot literatūrā aprakstītu pieeju [31], kurā gadījums ir situācijas apraksts un atbilstošs risinājums. Gadījuma aprakstā ietvertā risinājuma lietderība un piemērotība konkrētai situācijai ir atkarīga no mērķa, tādēļ tas papildināts ar mērķa aprakstu. Gadījuma apraksta matemātiskā interpretācija:

$$Gadījums = \{E, Pl, G\} , kur$$

Gadījums - gadījums;

E - situācijas apraksts jeb ieeja;

Pl - plāns, kas ļauj sasniegt mērķi;

G - mērķis;

- Asociatīvās spriešanas mehānisms ir realizēts, izmantojot darba autora izstrādātu algoritmu.

Iegūst masīvu X ar elementiem $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\}$

Līdzīgo situāciju saraksts = \emptyset

Ar katru masīva X elementu x_i veic šādas darbības:

Sakrītošo elementu skaits = 0

Pārskata visus atmiņā esošos situāciju aprakstus y_j

Ja y_j atbilstošais elements sakrīt ar x_i atbilstošo elementu, tad

sakrītošo elementu skaits = sakrītošo elementu skaits + 1

Ja **sakrītošo elementu skaits \geq Sliekšņa vērtību**, tad

Līdzīgo situāciju saraksts = Līdzīgo situāciju saraksts + y_j

Rezultāts = **Līdzīgo situāciju saraksts Y**

- Algoritms būtībā realizē iepriekš definēto un darba autora modificēto (vienkāršoto) sakarību:

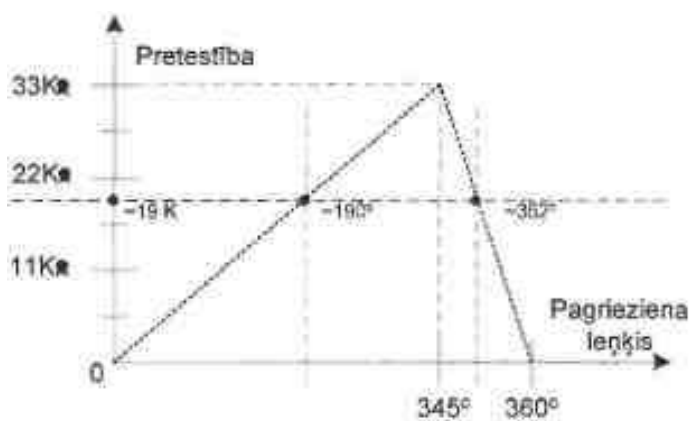
$$y_i = \begin{cases} 1, ja & \sum_{j=1}^n \partial(x_j) \geq T \\ 0, ja & \sum_{j=1}^n \partial(x_j) < T \end{cases}$$

- Plānošanas mehānisms ir realizēts, izmantojot POP plānošanas paņēmieni [1], Plānošanas algoritms ir analogisks programmatūras sistēmas realizācijai.
- Uztveres mehānisms ir realizēts, izmantojot robotizētās platformas sensorus un to sniegto datu apstrādes algoritms, ko ir izstrādājis darba autors. Katra sensora mērījums tiek automātiski (to realizē izmantotie procesori) pārvērsts veselā skaitlī. Papildus apstrāde ir nepieciešama attālumu mērītāju mērījumiem, to lielās kļūdas dēļ. Matemātiski tas aprakstāms ar šādu sakarību:

$$s_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_j}{n}, \text{ kur}$$

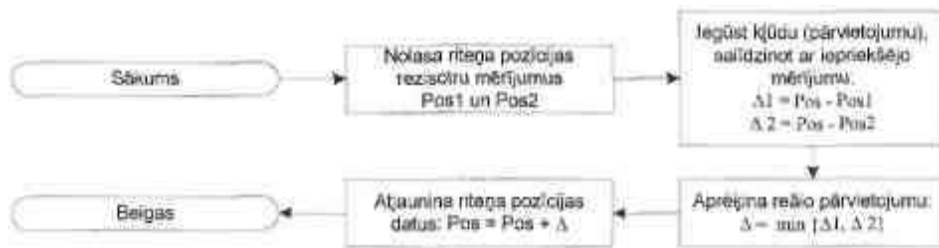
- si - rezultāta attāluma vērtība. Kopā tādas ir 8 - kur katra vērtība atbilst konkrētam attāluma mērītājam,
- aj - attāluma mērītāja i mērījums j,
- n - konstante 10, kuru definējis darba autors, lai nodrošinātu apmēram 10 mērījumu sekundē.

-Darbību izpildes mehānisms ir realizēts, izmantojot robotizētās platformas mehāniskos mezglus un tos kontrolējošās vadības ķēdes, kā arī atbilstošu algoritmu, kas ir darba autora izstrādāts. Dzenošo riteņu pozīcijas noteikšanai tiek izmantoti rezistori, kas spēj kodēt 345°. Atlikušajos 15° notiek strauja pāreja no maksimālās pretestības 33 KΩ uz minimālo pretestību 0Ω, veidojot t.s. „aklo” sektoru, kas attēlots grafikā:



2.10. attēls. Maiņrezistora raksturlīkne

2.10. attēlā redzams, ka katrai pretestības vērtībai atbilst divas pagriezienu leņķa vērtības. Tas neļauj viennozīmīgi noteikt riteņa pozīciju (pagriezienu leņķi). Lai izslēgtu kļūdu, katram ritenim tiek izmantoti divi šādi rezistori. Aklie sektori katram rezistoram ir novietoti diametrāli pretēji. Tādējādi, pagriežot riteni, abu rezistora pretestība mainās vienādi (kļūda ir neliela - pēc rezistoru marķējuma ±0,5%). Ja kāds no rezistoriem ir nokļuvis aklajā sektorā, tad tā pretestība mainās ievērojami straujāk nekā otra rezistora pretestība. Regulāri nolasot abu rezistoru pretestības, vadības algoritms nosaka izmaiņas, salīdzinot ar iepriekšējo vērtību. Ja kāda rezistora pretestības izmaiņas ir straujākas nekā otram rezistoram, tad šī rezistora pretestības vērtība netiek ņemta vērā. Tas attēlots šādā algoritma shēmā:



2.11. attēls. Pārvietojuma aprēķins

- Kvantitatīvo datu apstrādes mehānisms ir realizēts, izmantojot darba autora izstrādātus algoritmus. Būtiskākā sakarība, kas tiek izmantota, ir šāda:

$$CF = \frac{N_v}{N}, \text{ kur}$$

CF -pārliecības faktora vērtība likumam vai gadījumam,

N_v - veiksmīgu pielietojumu skaits - pielietojumu skaits, kad likuma prognozētā situācijas atribūta vērtība sakrīta ar novēroto, gadījumam - pielietojumu skaits, kuros gadījums ļāva sasniegt mērķi.

N - kopējais pielietojumu skaits.

Lielākā daļa skaitļošanas uzdevumu tiek veikta, izmantojot lietotāja datoru. Saziņa un datu apmaiņa starp šīm programmatūras daļām notiek, izmantojot RS232 pieslēgumu [35].

2.6 Veiktie eksperimenti un to rezultāti

Sestā nodaļa „Veiktie eksperimenti un to rezultāti atbilst nodaļas nosaukumam. Eksperimentu mērķis ir demonstrēt struktūras spējas pielāgoties vides izmaiņām, kā arī dot iespēju analizēt katras izmantotās tehnikas ietekmi uz kopējo sistēmas darbību. Ir veikti vairāki eksperimenti, kuros mainīti šādi parametri: apmācības kopas apjoms (ar vērtībām {10;15;20;25}), gadījumu ticamības sliekšnis (ar vērtībām {0,3;0,5;0,7;0,9}), vides līdzības faktors (ar vērtībām {5,6,7,8}), maksimālais plāna garums (ar vērtībām {1,2,3,4,6}) un minimālā plāna ticamība (ar vērtībām {0,2;0,4;0,6;0,8}). Parametru vērtības izvēlētas tā, lai raksturotu to izmaiņu ietekmes uz sistēmas darbības efektivitāti tendenci, kas ļauj spriest par katra konkrēta mehānisma ietekmi uz visas sistēmas darbību kopumā. Sistēmas darbības efektivitāte tiek aprēķināta, izmantojot šādu sakarību:

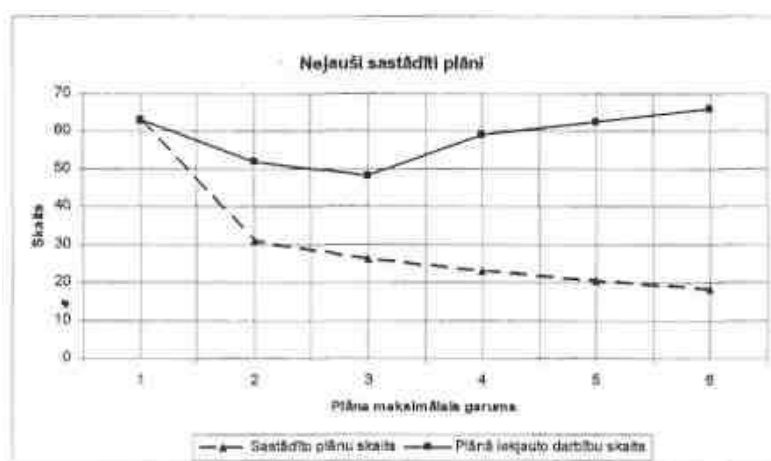
$$E = \frac{M}{P} \times 100\%, \quad \text{kur}$$

E - efektivitāte, kas izteikta procentos,

M - sasniegto mērķu skaits,

P - izveidoto plānu skaits kopā pa visiem mērķiem

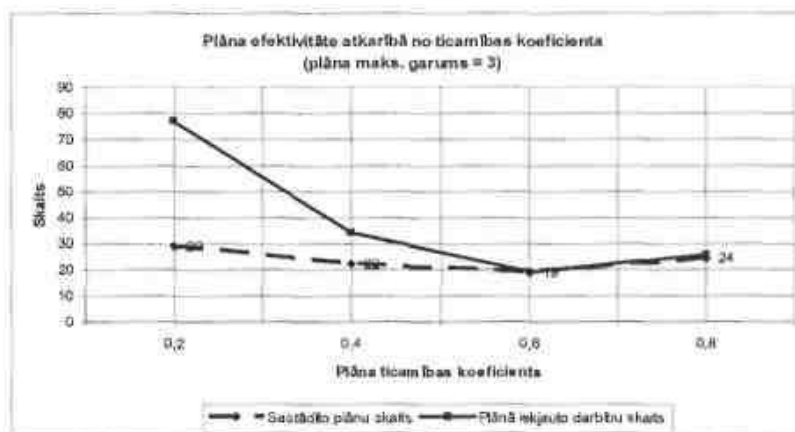
Ekspieriments ar nejaušu plāna sastādīšanu parāda, ka, palielinoties maksimālajam-plāna garumam, samazinās izstrādāto plānu skaits, t.i. palielinoties veikto darbību skaitam, palielinās iespēja, ka konkrēts plāns vedīs uz mērķi. Turpretī plānos ietvertu darbību kopējais skaits savu minimumu sasniedz ar maksimālo plāna garumu 3. Uzskatāmi tas redzams šādā grafikā:



2.12. attēls. Sastādīto plānu skaits un tajos iekļauto darbību skaits

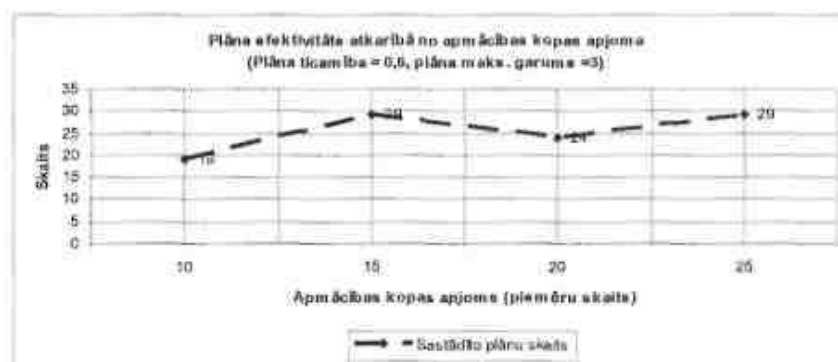
Tas ļauj secināt, ka pārāk liels darbību skaits plānos noved pie darbību atkārtotāšanās plāna ietvaros, šādi samazinot katras konkrētās darbības efektivitāti. Savukārt, ja maksimālais plāna garums ir pārāk mazs, tad sistēma ir spiesta izstrādāt daudz plānu, kas samazina katra konkrētā plāna efektivitāti.

Ekspieriments ar plāna ticamības mēra maiņu parāda, ka ar zemu plāna ticamības vērtību sistēmas efektivitāte ir salīdzināma ar pirmā eksperimenta rezultātiem, kad plāns tiek ģenerēts nejauši. Savukārt, ja plāna ticamības vērtība ir pārāk augsta, tad daudzi „potenciāli labi” plāni tiek klasificēti, kā neuzticami. Tādejādi, pārāk augsta ticamības vērtība (šajā gadījumā lielāka par 0,6) izraisa sistēmas darbības efektivitātes samazinājumu. Tas attēlots šādā grafikā:



2.13. attēls. Sastādīto plānu un tajos iekļauto darbību skaits atkarība no plāna ticamības

Ekspieriments ar induktīvās spriešanas apmācības kopas apjoma maiņu parāda sakarību starp kopas apjoma izmaiņām un sistēmas efektivitātes izmaiņām. Ekspierimenta rezultāti ļauj secināt, ka pārāk liela apmācības kopa izraisa sistēmas efektivitātes samazināšanos, jo prasa ilgāku laiku kopas iegūšanai. Kamēr apmācības kopa tiek sagatavota, sistēma darbojas ar iepriekšējās apmācības laikā iegūtajiem likumiem, vai bez tiem, ja apmācība nav notikusi, šādi samazinot sistēmas darbības efektivitāti, jo sistēma izmanto gadījuma ceļā ģenerētus plānus. Plānos iekļauto darbību skaits sakrīt ar plānu skaitu, jo katrs plāns ietvēra tikai vienu darbību. Tas attēlots šādā grafikā:



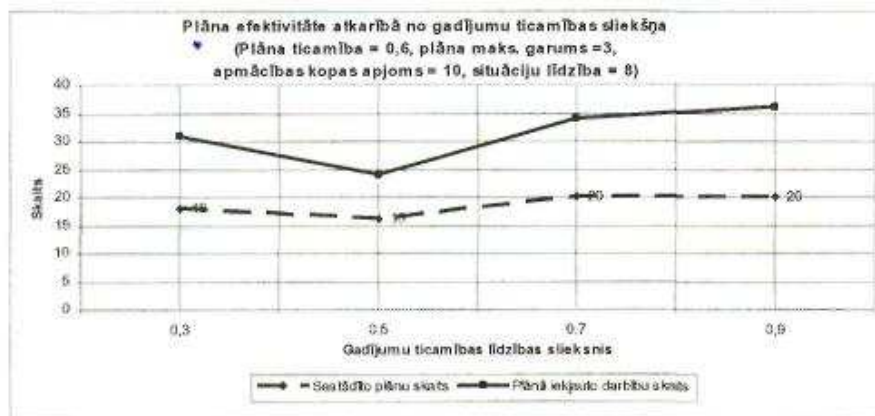
2.14. attēls. Sastādīto plānu skaits atkarībā no apmācības kopas apjoma

Ekspieriments ar asociatīvās spriešanas situācijas līdzības faktora vērtības maiņu parāda tā ietekmi uz sistēmas darbības efektivitāti. Ekspierimenta rezultāti pierāda darba sākumā izteikto apgalvojumu, ka asociatīvā spriešana ļauj samazināt kopējo apstrādājamo zināšanu apjomu, jo ekspierimenta laikā ir vairākas reizes samazinājies apstrādājamo situāciju aprakstu skaits, kā arī ģenerēto likumu skaits, vienlaicīgi palielinoties sistēmas darbības efektivitātei. Tādejādi, ekspieriments pierāda asociatīvās spriešanas izmantošanas nepieciešamību autonomā intelektuālā sistēmā. Tas attēlots šādā grafikā:



2.15. attēls. Sastādīto plānu un tajos ietverto darbību skaits atkarībā no līdzības sliekšņa

Ekspieriments ar gadījumos sakņotas spriešanas izmantošanu parāda gadījumu ticamības vērtības ietekmi uz sistēmas darbības efektivitāti. Tas attēlots šādā grafikā:



2.16. attēls. Sastādīto plānu un tajos ietverto darbību skaits atkarībā no ticamības sliekšņa

Ekspierimenta rezultāti ļauj secināt, ka pārāk augsta gadījumu ticamības vērtība izraisa darbības efektivitātes samazinājumu, jo, salīdzinot maz samazinoties gadījuma ticamībai, tas vairs netiek izmantots, tādējādi samazinot kopējo sistēmas efektivitāti. Savukārt, pārāk maza gadījuma ticamības vērtība arī samazina sistēmas efektivitāti, jo prasa daudzus pielietojuma mēģinājumus, līdz tiek sasniegta tāda ticamības vērtība, kas neļauj izmantot konkrēto gadījumu. Tas nozīmē, ka gadījuma ticamības vērtība nedrīkst būt pārāk maza vai pārāk liela, lai sasniegtu augstu sistēmas darbības efektivitāti. Diemžēl ekspieriments neparāda būtisku sistēmas darbības efektivitātes palielinājumu, salīdzinot ar iepriekš veiktajiem ekspierimentiem. Darba autors to saista ar pārāk īsu sistēmas darbības laiku (tika sasniegti 10 mērķi), kurā gadījumos sakņota spriešana neatklāj tās priekšrocību - spēju tieši izmantot pieredzi, samazinot plānošanas ilgumu. Tādēļ tika veikts nākošais ekspieriments.

2.6.1 Sistēmas adaptēšanās spēja

Eksperimenta mērķis

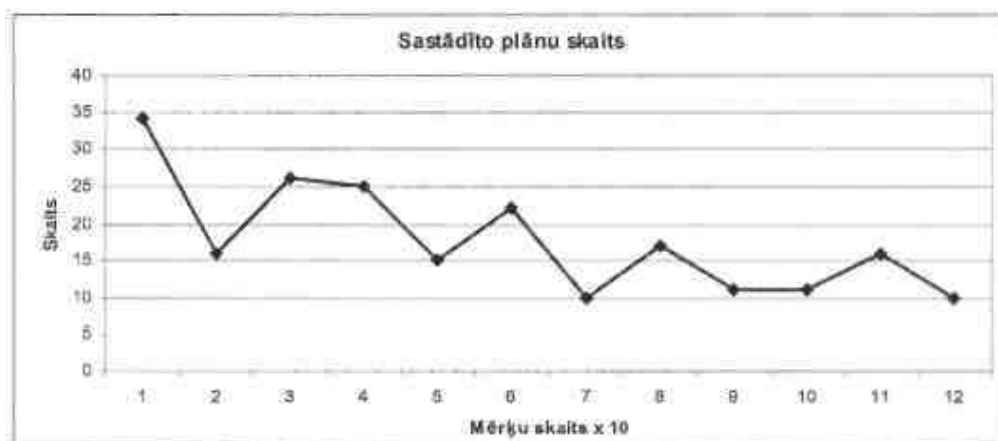
Eksperimenta mērķis ir noteikt sistēmas spēju adaptēties mainīgas vides apstākļos un salīdzināt eksperimenta rezultātus ar iepriekš iegūtajiem. Lai novērstu iepriekš veikto eksperimentu trūkumu - neliels mērķu skaits nespēj atklāt gadījumos sakņotas spriešanas priekšrocības, šī eksperimenta mērķis ir darbināt sistēmu ievērojami ilgāku laiku, dodot iespēju precīzāk novērtēt sistēmā lietotos likumus un gadījumus.

Eksperimenta realizācija

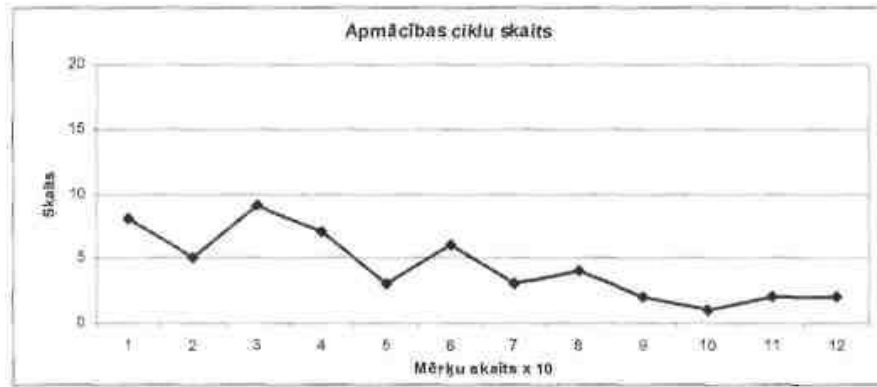
Ir izveidota 3 x 3 m liela arēna, kurā sistēma var brīvi kustēties, bet nevar šķērsot tās robežas. Sistēmai tiek dota iespēja darbības gaitā gūt ievērojami dažādāku informāciju par ārējo vidi. Šādi sistēma var tikt novērtēta darbībai apstākļos, kas pietuvināti reāla pielietojuma apstākļiem. Lai novērtētu sistēmas adaptēšanās spēju mainīgos apstākļos (mainīgā vidē), tiek radīti nejauši notikumi, iesaistot cilvēku, kurš negaidīti šķērso arēnu dažādos virzienos, groza sistēmu neparedzētos virzienos, u.tml., radot neparedzētas un nejaušas situāciju maiņas - stāvokļu pārejas. Sistēmai tiek doti 120 mērķi, kas definēti kā noteikti stāvokļi, kuri tai ir jāsasniedz. Atšķirībā no iepriekš veiktajiem eksperimentiem, sistēmai tiek definēti tādi mērķi, kas prasa konkrēta kompasa rādījuma sasniegšanu, tādējādi liekot sistēmai plānot vairāk kā vienu vai divas darbības uz priekšu.

Eksperimenta rezultāti Darbības rezultāti attēloti šādos grafikos:

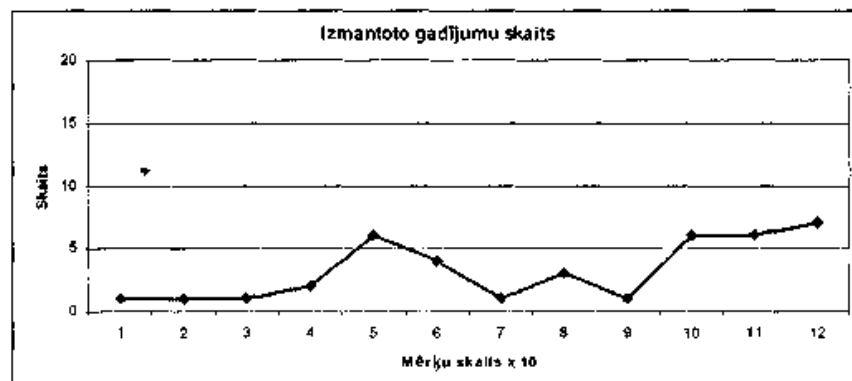
Darbības rezultāti attēloti šādos grafikos:



2.17. attēls. Sastādīto plānu skaits atkarībā no sasniegto mērķu skaita



2.18. attēls. Apmācības ciklu skaits atkarībā no sasniegto mērķu skaita



2.19. attēls. Gadījumu pielietojumu skaits atkarībā no sasniegto mērķu skaita

Tabula 2.3. Eksperimenta papilddati

	Likumi	Izveidotie gadījumi	Izveidotie situāciju apraksti
Kopā	1261	80	64
		18 no tiem satur vairāk kā vienu darbību	
Vidējais plānošanas laiks		8 s	
Vidējais gadījuma meklēšanas laiks		0,005 s	

2.17. attēla grafiks parada sastādīto plānu skaitu. Tā, piemēram, lai sasniegtu 4. mērķu desmitu (no 31. līdz 40. mērķim), tika sastādīti 25 plāni. Izmantojot sakarību (skat. iepriekš)

$$E = \frac{10}{25} \times 100\% = 40\%, \text{ t.i. sistēmas efektivitāte šajā laikā bija } 40\%.$$

Turpretī, lai sasniegtu pēdējo mērķu desmitu, tika sastādīti 10 plāni:

$$E = \frac{10}{10} \times 100\% = 100\%, \text{ t.i. sistēmas sasniedza } 100\% \text{ efektivitāti.}$$

Sastādīto plānu skaita samazinājums liecina par sistēmas pakāpenisku pielāgošanos videi. Sastādīto plānu skaita krass samazinājums (2. un 5.mērķu desmits) liecina par sistēmas adaptēšanos noteiktiem apstākļiem. Kad sistēma nokļūst iepriekš nepieredzētā stāvokļu kopā, tai nepieciešams par jaunu adaptēties, un sākotnēji sistēma nav tik efektīva. Par to liecina sastādīto plānu skaita krass palielinājums (3., 4., 6., 8. mērķu desmits). Tomēr, pakāpeniski samazinoties sastādīto plānu skaitam, eksperimenta beigās sistēma sasniedz maksimālo efektivitāti. Otrais grafiks norāda uz veiktajiem apmācības cikliem. Veikto apmācību ciklu skaits samazinās, augot sistēmas pieredzei. Tas nozīmē, ka, sasniedzot kārtējo mērķi, tiek tērēts arvien mazāk laika. Tādēļ sistēma sasniedz arvien vairāk mērķu, kamēr tiek uzkrāta kārtējā apmācības datu kopa.

Trešais grafiks norāda uz gadījumu skaitu, kas tika izmantots plānu sastādīšanai. Kā redzams grafikā, izmantoto gadījumu skaits pieaug, pieaugot sistēmas pieredzei. Eksperimenta rezultāti norāda, ka eksperimenta laikā 39 no 120 mērķiem ir sasniegti, izmantojot gadījumus, t.i. apmēram 30% mērķu ir sasniegti, izmantojot gadījumos sakņotu spriešanu. Pēdējos mērķu desmitos vidējais plānošanas laiks sasniedz pat 8 sekundes, bet gadījumu meklēšana aizņem tikai 0,005 sekundes. Tas ļauj secināt, ka gadījumos sakņota spriešana būtiski samazina plānošanai nepieciešamo laiku.

Eksperimenta papilddati parāda, ka sistēma savas darbības laikā ir izveidojusi 64 situāciju aprakstus (vides klases). Tas ir maz, salīdzinot ar maksimāli iespējamiem 390625 vides stāvokļiem, ko spēj uztvert sistēma (8 sensori, katram 5 iespējamie stāvokļi). Minētā starpība norāda uz būtisku uzglabājamo zināšanu apjoma samazināšanos asociatīvās spriešanas mehānisma lietošanas dēļ. Par to liecina arī salīdzinoši mazais izveidoto likumu skaits - ir izveidots tikai 1261 likums. Ja ņem vērā faktu, ka katrs likums ir piesaistīts konkrētai situācijai, tad kopējais zināšanu apjoma samazinājums ir jo sevišķi būtisks. Tas liecina par asociatīvas spriešanas izmantošanas nepieciešamību.

2.7 Secinājumi un pielietojums

Darba teorētiskie rezultāti

Darba izstrāde ļāvusi iegūt šādus teorētiskos rezultātus:

- Definēts sarežģītas vides termins un apkopotas sarežģītu vižu īpašības, uzsverot to ietekmi uz autonomas intelektuālas sistēmas funkcionalitāti, kas paredzēta darbībai šādās vidēs. Sarežģītas vides īpašības definētas, izmantojot sarežģītu sistēmu uzvedības īpašības – grūtu prognozējamība, unikalitāti un tieksmi sagla-

bāt savu galveno procesu norisi, pretojoties ārējai iedarbībai.

- Balstoties uz sarežģītu vīžu īpašībām, definētas un pamatotas prasības pret autonomu intelektuālu sistēmu. Tās ietver: spēju uztver vidi un darboties tajā, izdarīt secīgus spriedumus, spriest asociatīvi, apmācīties, izmantot pieredzi pilnīgi jaunās un iepriekš nepieredzētās situācijās, uztvert notikumu secību, kā arī spēju būt mērķtiecīgai.
- Pamatojoties uz definētajām prasībām pret autonomu intelektuālu sistēmu, veikta būtiskāko uz zināšanām balstītu un ciparu apstrādes tehniku īpašību analīze. Analīzes rezultāti ļauj secināt, ka neviena no aplūkotajām tehnikām atsevišķi nenodrošina visu nepieciešamo autonomas intelektuālas sistēmas funkcionalitāti, lai gan vairākas tehnikas kopā ļauj to realizēt. No tā ir secināts, ka ir nepieciešama metode, kas nodrošina iespēju apvienot vairākas tehnikas tā, lai tiktu apmierinātas visas izvirzītās prasības.
- Lai apmierinātu visas izvirzītās prasības pret autonomu intelektuālu sistēmu, ir analizētas hibrīdu intelektuālu sistēmu struktūras, kā arī to īpašību atbilstība izvirzītajām prasībām. Pamatojoties uz analīzes rezultātiem, secināts, ka visas vajadzīgās funkcijas var tikt realizētas, lietojot savstarpēji komunicējošu vai integrētu struktūru.
- Būtiskākais teorētiskais rezultāts ir autonomas hibrīdas intelektuālas sistēmas struktūras izstrāde, kas pirmo reizi vienotā sistēmā kombinē induktīvas, deduktīvās, gadījumos sakņotas un asociatīvas spriešanas tehnikas. Integrējot minētās tehnikas vienotā sistēmā, ir panākta sistēmas atbilstība izvirzītajām prasībām, kā arī sasniegta augsta sistēmas elastība un spēja adaptēties sarežģītas vides apstākļos. Darbā ir izanalizētas izstrādātās struktūras īpašības un to atbilstība izvirzītajām prasībām, uzsverot tās priekšrocības un trūkumus.

Darba praktiskie rezultāti

Darba izstrāde ļāvusi sasniegt šādus praktiskos rezultātus:

- Izstrādātā hibrīdā struktūra spēj darboties un adaptēties, t.i. tā nodrošina vairāku plaši izmantotu spriešanas tehniku sadarbību vienotā sistēmā. Ir eksperimentāli pierādīta izstrādātās struktūras spēja apmācīties vidēs, kurās ir nejauša rakstura procesi, jeb t.s. grūti prognozējamās vidēs.
- Izstrādāta hibrīdā struktūra spēj adaptēties un veiksmīgi darboties arī tad, ja zināšanu bāze ir pilnīgi tukša, t.i. struktūra nodrošina iespēju apmācīties no nulles (angliski *bottom-up learning*). Šī īpašība ir ļoti nozīmīga autonomu sistēmu gadījumā, kas var nokļūt situācijās, kuras vispār iepriekš nav pieredzētas.

- Sistēmas struktūrā ir lietota zināšanu atspoguļošanas shēma, kas savstarpēji saista likumus, gadījumus, situāciju aprakstus, un darbības, kā arī uztur kadru, plāna un mērķa aprakstus. Eksperimenti liecina, ka izstrādātais zināšanu atspoguļošanas veids ir pietiekami efektīvs un elastīgs, lai nodrošinātu vairāku spriešanas tehniku izmantošanu vienotā struktūrā. Piedāvātā zināšanu atspoguļošanas shēma ir ērta arī sistēmas pētniekam, vai lietotājam, jo zināšanu attēlošanai tiek izmantoti simboli, kas ir vienkārši interpretējami. Jāuzsver, ka zināšanu atspoguļošanas shēmas struktūra ir zināma pirms sistēmas darbības uzsākšanas, bet zināšanu vienību savstarpējo saistību izveido pati sistēma, balstoties uz savu pieredzi.
- Pamatojoties uz eksperimentu rezultātiem, var secināt, ka gadījumos sakņotas un asociatīvas spriešanas tehniku izmantošanai ir izšķiroša loma, ņemot vērā būtisku kopējā zināšanu apjoma samazinājumu un to mērķu skaitu, kas tika sasniegti salīdzinot īsā sistēmas apmācības laikā (apmēram 1/3 daļa no visiem mērķiem).
- Kā minēts iepriekš, piedāvātā struktūra, neskatoties uz realizācijas īpatnībām, neierobežo sistēmas izstrādātāju ar noteiktu specifisku mehānismu pielietojumu. Tādējādi to var piemērot kā konkrēta uzdevuma vajadzībām, tā arī to ir iespējams papildināt ar uzdevumam specifiskiem mehānismiem, piemēram, karti, noteiktu procesu modeļiem, valodas atpazīšanas mehānismiem, u.tml. Tas ļauj paplašināt sistēmas funkcionalitāti, piemērojot to katra konkrēta uzdevuma prasībām.
- Struktūra spēj strādāt tikai ar diskrētiem stāvokļiem un atbilstošām stāvokļu pārejām. Ja ir jāspriež par nepārtrauktiem procesiem, tad tas ir iespējams vienīgi, sadalot procesus diskrētos stāvokļos un stāvokļu pārejās. Tas ierobežo sistēmas pielietojumus.
- Eksperimentu realizācija liecina, ka mērķis tiek definēts tādās kategorijās, kuras ir tieši uztveramas, t.i. sistēmas mērķa stāvoklis tiek dots kā noteikts sensoru stāvoklis, kas jāsasniedz. Tas nozīmē, ka sistēma nespēj sasniegt mērķus jeb, precīzāk izsakoties, nespēj noteikt, vai mērķis ir sasniegts, abstraktu mērķu gadījumā, t.i. gadījumā, ja mērķis nav tiešs sensoru stāvokļa atspoguļojums.

Turpmākajos pētījumos risināmas problēmas

Darba autors, izstrādājot robotizētu sistēmu un veicot ar to iepriekš aprakstītos eksperimentus, saskata darba tālākās pilnveidošanas iespējas, kas ļauj formulēt vairākus turpmāko pētījumu virzienus. Galvenie no tiem ir šādi:

- Izpētīt iespēju pārstrukturēt kadru mehānismu un pielāgot spriešanas mehānismus tā, lai sistēma spētu spriest par garākiem laika periodiem. Ideālā gadījumā ir jāsasniedz tāda elastība, lai sistēma, līdzīgi kā to dara cilvēks, vienlīdz labi spēta spriest par jebkura garuma laika intervāliem un tajos notiekošajiem procesiem.
- Izpētīt iespēju kombinēt citas spriešanas tehniku realizācijas jeb citus algoritmus, lai iegūtu priekšstatu par to sadarbības īpatnībām un praktiskas izmantošanas iespējām izstrādātās struktūras ietvaros.
- Ir jāizpēta iespēja papildināt struktūru ar specifiskiem modeļiem, piemēram, kartēm, kas ļautu spriest par lietām, kuras nav tieši uztveramas ar sensoru palīdzību.
- Ir nepieciešams izpētīt struktūras darbību kombinācijā ar sarežģītākiem sensoriem -piemēram, stereo redzes sensoriem, globālās pozicionēšanas sensoriem (angliski *global positioning system* - *GPS*), u.c, lai noteikta struktūras spēju apstrādāt sarežģītus sensoru datus. Turpmākajos pētījumos jānoskaidro struktūrā izmantoto spriešanas mehānismu paralēlas darbības īpatnības un efektivitāte, salīdzinot ar darbā izstrādātās sistēmas efektivitāti.

2.8 *Literatūras saraksts*

1. S.Russell, P.Norvig, Artificial Intelligence - A Modern Approach. 2nd edition, Upper Saddle River, New Jersey, USA, Pearson Educations Inc., 2003, 1080 p., ISBN 0-13-080392-2.
2. А. Д. Цвиркун, Структура сложных систем. Москва, Советское радио, 1975, 198с.
3. В.В. Дружинин, Д.С. Конторов, Системотехника. Москва, Радио и Связь, 1985, 200 с.
4. D. Blank., D. Kumar, L. Meeden, A Developmental Approach to Intelligence. Proceedings of the Thirteenth Annual Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Society Conference, 2002.
5. A.Nikitenko, J.Grundspenkis, The kernel of hybrid intelligent system based on inductive, deductive and case based reasoning. KDS200I Conference Proceedings, St. Petersburg, 2001, pp. 138. - 146.
6. S.Goonatilake, S.Khebbal, Intelligent hybrid systems. Biffind Lane, Chichester, West Sussex, England, John Wiley & sons Ltd. 1995, 325 p., ISBN 0-471-94242-1.
7. Z.Zhang, C.Zhang, Agent-Based Hybrid Intelligent Systems, Berlin, Germany, Springer-Verlag, 2004, 196 p., ISBN 3-540-20908-5.
8. G.D.Dounias, Hybrid and Adaptive Computational Intelligence in Medicine and Bio-informatics. Special session proceedings of the EUNITE-2003 symposium, Oulu, Finland, 2003, pp. 1-4.
9. A.Abraham, Hybrid Intelligent Systems: Evolving Intelligence in Hierarchical Layers, Studies in Fuzziness and Soft Computing. Berlin, Germany, Springer-Verlag, 2005, Vol. 173, pp. 159-169, ISBN 3-540-24077-2.
- 10.H.Huang, E.Messina, J.Albus, Autonomy Level Specification for Intelligent Autonomous Vehicles: Interim Progress Report. Proceedings of the 2003 Performace Metrics for Intelligent Systems Workshop, Gaithesburg, USA, August 16 - 18, 2003, pp. 1 -7.
- 11.M.Wooldrige, N.Jennings, Intelligent Agents: Theory and practice. Knowledge Engineering Review, Cambrage, England, Cambridge University Press, 1995, Vol. 10, No 2, pp. 115- 152.
- 12.P.J. Antsaklis, M. Lemmon, J.A. Stiver, Learning to be autonomous: Intelligent supervisory control. Intelligent Control Systems: Theory and Applications. England, IEEE Press, 1996, pp. 28-62.
- 13.M.Knapik, J.Johnson, Developing Intelligent Agents for Distributed Systems. USA, Osborne/McGraw-Hill, 1997, 398.p. ISBN 0-0703-5011-6.
14. В.Н. Волкова, Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи. Москва, Радио и Связь, 1983,248с.
- 15.M.R.BlackBurn, Autonomy and Intelligence - A Question of Definition. Proceedings of the Autonomous Intelligent Networks and Systems Symposium, Los Angeles, USA, University of California, May 8-9, 2002
- 16.A.Nikitenko, Intelligent Agent Control Using Inductive, Deductive and Case Based Reasoning. Riga, Latvia, ECMS 2005 Conference Proceedings, 2005, pp.486 - 492.
- 17.Y.Xiang, Probabilistic Reasoning in Multiagent Systems - A Graphical Models Approach. Cambrage, England, Cambridge Univesity Press, 2002, 294 p., ISBN 0-521-81308-5.
- 18.A.Nikitenko, Robot Control Using Inductive, Deductive and Case Based Reasoning. Varna, Bulgaria, KDS 2005 conference proceedings, 2005, Vol. 2, pp. 418 -427.

19. A. Nikitenko, J. Grundspenkis, Combining of inductive, deductive and case-based reasoning: towards the development of hybrid intelligent system. Scientific Proceedings of Riga Technical University: 5th series "Computer science, Applied Computer Systems", Riga, RTU Publishing, 2001, Vol. 8, pp. 116 – 123
20. G.F. Luger, Artificial intelligence - Structures and Strategies for Complex problem Solving. 4th edition, Addison Wesley, 2002, tulkojts krievu val., Искусственный интеллект - Стратегии и методы решения сложных проблем, Москва, Россия, Издательский дом «Вильямс», 2005, 863.c. ISBN 0-201-64866-0
21. B. Kokinov, Associative memory-based reasoning: How to represent and retrieve cases. In T. O'Shea and V. Sgurev (Eds.), Artificial intelligence III: Methodology, systems, applications. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science Publishers B.V., 1988, pp. 55 - 58.
22. A.M. Wichert, Associative Computation, Ph.D. thesis, Ulm, Germany, University of Ulm, July 2000.
23. Grinberg, M., B. Kokinov, Analogy-Based Episode Blending in AMBR. In: Kokinov, B., Hirst, W. (ed.) Constructive Memory. Sofia, Bulgaria, NBU Press, 2003, pp. 157 - 167.
24. J. Pisokas, Subsymbolic Path-Planning for Space and Planetary Exploration Robots. Proceedings of the 55th International Astronautical Congress, Vancouver, Canada, 2004.
25. A.B. Гаврилов, Ю.В. Новицкая, Гибридные интеллектуальные системы. Доклады конференции Информационные системы и технологии (IST'2003), Новосибирск, Россия, 2003, Vol. 3, pp. 116-122.
26. J. Grundspenķis, Ievads intelektuālās sistēmās. Rīga, Latvija, Rīgas Tehniskā Universitāte, 1993., 158 lpp
27. A. Townsend, Genetic Algorithms - a Tutorial [online], 2003, [cited: 15.02.2006]. Available from World Wide Web:
<<http://aa.lasphost.com/tonyart/tonyt/Applets/GeneticAlg/Genetic%20Algorithms.pdf>>
28. J.R. Quinlan, Induction of Decision trees. In Machine Learning, Kluwer Academic Publisher, 1986, Vol.1, pp. 81 - 106.
29. J.R. Quinlan, Comparing Connectionist and Symbolic Learning Methods. In Rivest R. L. ed. Computational Learning Theory and Natural Learning Systems. Cambridge, England, MIT Press, 1994, Vol. 1, pp. 445 -456
30. B.G. Buchanan, R.O. Duda, Principles of Rule-Based Expert Systems. Stanford, USA, Stanford University, 1982, 62 p., STAN-CS-82-926
31. S.K. Pal, S.K. Shiu, Foundations of Soft Case-Based Reasoning. Hoboken. New Jersey, USA, John Wiley & Sons Inc., 2004, 274 p., ISBN 0-471-08653-5
32. J. Borenstein, H.R. Everett, L. Feng, Where Am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, Ann Arbor, USA, The University of Michigan, 1996, 282 p
33. © NetMedia Inc. www.basicx.com
34. J.R. Quinlan, Improved Use of Continuous Attributes in C4.5. In Journal of Artificial Intelligence Research, 1996, Vol. 4, pp. 77-90
35. C.E. Strangio, The Rs232 standard [online], CAMI Research Inc., Lexington, Massachusetts, 1993, [cited: 20.12.2005]. Available from World Wide Web:
<http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html>.