

Харківський державний технічний університет
радіоелектроніки

Глушакова Ганна Юріївна

УДК 681.51:519.713.2

Методи синтезу і моделі компонентів
нетрадиційних нейромереж

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківській державній академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України Філіппенко Ігор Григорович, Харківська державна академія залізничного транспорту, завідувач кафедри обчислювальної техніки і систем управління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Тевяшев Андрій Дмитрович, Харківський державний технічний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри прикладної математики; доктор технічних наук, ст. науковий співробітник Дмитрієнко Валерій Дмитрович, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування.

Провідна установа Інститут проблем математичних машин і систем, НАН України, м. Київ.

Захист відбудеться "22" травня 2001р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.02 у Харківському державному технічному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14, факс (0572) 40-91-13.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського державного технічного університету радіоелектроніки, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий " 10 " квітня 2001 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Безкорвайний В. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Закінчується ХХ сторіччя. Багато об'єктів, створених людством, настільки складні і техногенно небезпечні, що несправності в них можуть спричинити катастрофічні наслідки. Як правило, складні об'єкти мають системи управління. Для забезпечення їх надійного, відмовостійкого і живучого функціонування застосовуються різноманітні засоби, які слід шукати у самої природи, досліджуючи принципи побудови інформаційної системи мозку людини. Створені на даний момент ученими штучні нейронні мережі є деякою відповіддю на питання щодо принципів побудови інтелектуальних, інформаційних, керуючих та інших функціональних можливостей людини. Але існуючі штучні нейромережі не відповідають вимогам надійності, відмовостійкості та живучості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Розробка методів синтезу і моделей компонентів надійних, відмовостійких та живучих нейромереж як бази для реалізації різноманітних обчислювальних алгоритмів знаходить своє підтвердження в Законі України "Про Концепцію Національної програми інформатизації" (м. Київ, 4 лютого 1998 року № 75. 98-ВР). Програмою передбачається "... сприяння створенню... діючих зразків вискоефективних ЕОМ різних класів, інтелектуальних робочих станцій, нейрокомп'ютерів ... систем комп'ютерного управління технологічними процесами, створенню вітчизняної елементної бази...". Рішенню цієї проблеми і присвячена робота.

Дисертаційна робота виконана згідно з держбюджетною темою Харківської державної академії залізничного транспорту "Розробка концепції побудови інтелектуальних, відмовостійких та живучих систем керування", за № держреєстрації 0197U003537.

Мета дисертаційної роботи – розробка методів синтезу і моделей компонентів надійних, відмовостійких та живучих обчислювальних нейромереж.

Задачі дослідження. Для досягнення вказаної мети в дисертаційній роботі здійснено розв'язання таких задач:

- на підставі результатів аналізу існуючих на даний момент нейропарадигм сформулювати узагальнену "НОЖпарадигму" (надійна, відмовостійка і живуча парадигма побудови нейромереж), що відповідатиме таким умовам: а) нейронні мережі є надійними, відмовостійкими і живучими; б) нейромережі для забезпечення надійності, відмовостійкості і живучості не містять ніяких спеціальних засобів виявлення, пошуку і відновлення несправностей; в) проектування нейромереж носитиме "прозору" і "ясну" методологію, що нагадує аналітичне конструювання;

- на основі запропонованої "НОЖпарадигми" визначити компоненти нетрадиційних нейромереж;
- описати компоненти нетрадиційних нейромереж в термінах теорії автоматів і логіки предикатів;
- розробити методику синтезу моделей компонентів нетрадиційних нейромереж;
- синтезувати основні комп'ютерні моделі компонентів нетрадиційних нейромереж за допомогою розробленої методики;
- провести цифрове моделювання основних компонентів нетрадиційних нейромереж із метою оцінки їхньої адекватності математичній моделі;
- визначитися з оцінками надійності, відмовостійкості і живучості нетрадиційних нейромереж.

Об'єктом дослідження є штучні нейронні мережі.

Предметом дослідження є нетрадиційні імовірісно-детерміновані нейроподібні структури.

Методи досліджень. При розв'язанні поставлених задач використовувалися методи: теорії кінцевих автоматів при розробці математичної моделі F-нейрона як кінцевого автомата у вигляді шістки $A = (Q, X, Y, P, f, h)$; логіки предикатів при уявленні логіко-предикативної моделі F-нейрона; теорії графів і мереж при синтезі перехідних графів станів і виходів F-нейрона; теорії колективного поведіння автоматів при розробці процедур міжнейронних та міжнейроп'ютерних трансакцій (угод); методи цифрового моделювання при розробці цифрових комп'ютерних компонентів нетрадиційних F-нейромереж і при цифровому моделюванні процесів функціонування F-нейромереж на прикладі F-нейромережі "Алгебраїчне додавання"; марковські моделі оцінки надійності систем з однорідних елементів використовувалися при оцінці надійності і живучості F-нейромереж як системи із однорідних елементів; методи автоматичної реєстрації інформації в процесі цифрового моделювання F-нейромереж.

Наукова новизна одержаних результатів:

- знайшло подальший розвиток уявлення про те, що в рамках класичних нейропарадигм не існує "прозорих" і "ясних" методів синтезу нейромереж із погляду їхньої побудови і функціонування;
- вперше запропоновано нейропарадигму, названу "НОЖпарадигмою", потенційно придатну для побудови надійних, відмовостійких і живучих F-нейромережових структур, реалізовану в F-нейромережах;
- вперше запропонований математичний опис дискретних об'єктів із пам'яттю (на прикладі F-нейрона), керованих подіями, кінцевим автоматом у вигляді шістки $A = (Q, X, Y, P, f, h)$;
- вперше запропоновано автоматно-логіко-предикатну математичну модель штучного F-нейрона, яка дозволила врахувати багато властивостей біологічного нейрона;

- логіко-предикатне зображення F-нейрона вперше дозволило звести задачу синтезу функції переходу $f: Q \times X \times P \rightarrow Q$ до задачі синтезу правильно побудованих (п.п.) формул у предметній ("нейронній") області;

- розроблено методологію синтезу функції відображення $f_{\Delta}^n(\blacktriangle, E_{\Delta}, \mathbb{Q}_{\Delta})$ F-нейрона за допомогою запропонованих F- універсуму і упорядкованої F-бази, відмінних від Ербранівського універсуму і Ербранівської бази;

- запропоновано удосконалений метод установки маршрутних покажчиків і процедуру формування маршрутів, що дозволили визначити множину можливих маршрутів, яка є множиною можливих інтерпретацій, тобто моделями, подібно моделям числення предикатів;

- удосконалені математичні та комп'ютерні моделі компонентів нетрадиційних F-нейромереж: а) F-Neuron (F-нейрон); б) F-NetNr (мережевий нейрон); в) F-neuroputer (F-нейропьютер) та алгоритми міжнейроп'ютерних трансакцій;

- всі теоретичні вираховання підтвержені цифровим моделюванням на об'єктно-орієнтованій мові C++;

- всі компоненти F-нейромереж подані комп'ютерними об'єктами у вигляді класів;

- вперше проведене моделювання F-нейромережевої структури "Алгебраїчне додавання" і підтверджена відмовостійкість та живучість подібних структур.

Практичне значення одержаних результатів. Методи синтезу функцій переходів і виходів об'єктів, керованих подіями, можуть бути використані в різних галузях, об'єкти яких підпадають під вищевизначені. Зокрема, вони були використані при розробці госпдогвірної теми "Розробка і впровадження пристроїв автоматичного попередження чергового по станції про працюючих на маршруті людей" (№ 0197U003550), яка була замовлена Державною адміністрацією залізничного транспорту України.

Отримані теоретичні результати дозволяють приступити до розробки нейроп'ютерних чіпсетів і впровадження їх в керуючі та обчислювальні системи галузей господарства, де вимоги до безпеки та живучості систем стоять на першочерговому рівні.

Методи побудови комп'ютерних об'єктно-орієнтованих F-нейромережевих компонентів використовуються при читанні лекцій з курсу "Алгоритмічні мови програмування" на кафедрі обчислювальної техніки і систем управління Харківської державної академії залізничного транспорту.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем особисто. У роботах зі співавторами [4, 6] дисертанту належить постановка задачі проектування комп'ютерної моделі нетрадиційного нейроподібного елемента (НПЕ); у [1, 7] якісна оцінка методів підвищення живучості технічних систем; у [2] аналіз одношарових, багатшарових нейропарадигм і формулювання принципу "сінергії" у запропонованій "НОЖпарадигмі"; у [3, 8]

метод формування логічних ланцюжків функцій переходів і виходів; у [9] використання ідей Ербранівської бази і Ербранівського універсуму при розробці методики синтезу функцій відображення логіко-предикативної моделі F-нейрона; у [5] моделювання F-нейромережі "Алгебраїчне додавання".

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати доповідалися і обговорювалися на 9, 10, 11, 12 і 13-й міжнародних школах-семінарах "Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті" (Алушта, 1996-2000pp.), на міжнародній конференції "Mendel'99. 5th International conference of soft computing" (Brno, Czech Republic, 9-12 червня 1999р.), на 6-й українській конференції "Автоматика-99" (Харків, 10-13 травня 1999р.), а також на науково-технічних конференціях Харківської державної академії залізничного транспорту.

Публікації. Результати дисертаційної роботи відображені в 9 наукових працях: 4 роботи опубліковано у фахових виданнях, затверджених ВАК України, 5 - у вигляді доповідей на міжнародних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі списку умовних позначень, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 81 найменування на 9 сторінках, 33 рисунків на 34 сторінках, 8 таблиць на 11 сторінках, 5 додатків на 227 сторінках. Загальний обсяг роботи 394 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, вказаний зв'язок роботи з планами наукових досліджень та національними програмами інформатизації, сформульовані мета та основні завдання дослідження, визначені об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження, охарактеризована наукова новизна і практичне значення одержаних результатів, наведені дані щодо апробації та публікації основних наукових положень, що виносяться на захист.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих нейропарадигм (персептронної, багатопшарової нейромережевої, процедури оберненого поширення, мережі зустрічного поширення, мережі Хопфілда, машини Больцмана, адаптивно-резонансної, когнітронної, неокогнітронної, нейропарадигми Амосова Н.М., нейрокерування, некласичної імовірно-детермінованої) на предмет вибору придатної парадигми для побудови відмовостійких та живучих обчислювальних нейромереж. Наведено якісну оцінку методів і засобів підвищення надійності технічних систем, що дозволило запропонувати нову "НОЖпарадигму" побудови надійних, відмовостійких та живучих нейромереж та сформулювати задачі дослідження.

У другому розділі вперше розроблено автоматно-логіко-предикативну модель F-нейрона, подану на рис.1, як базову компоненту у побудові нетрадиційних імовірносно-детермінованих нейромереж, у подальшому – F-нейромереж. Як автоматна, вона являє собою кінцевий автомат, але на відміну від класичного автомату - не у вигляді п'ятірки, а - у вигляді шістки.

Додатковий шостий компонент P – це простір параметрів F-нейрона. Річ у тому, що параметри F-нейрона в процесі його функціонування змінюють свої значення і впливають на значення функцій переходів і виходів (f, h відповідно). У загальному випадку F-нейрон має 12 станів $q_i \in Q$ і множину $X = Y = \{x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_6\}$ вхідних та вихідних сигналів, де x_0 - сигнал збудження; x_1 - сигнал блокування; x_2 - сигнал зняття блокування; x_3 - сигнал гальмування; x_4 - сигнал опитування станів; x_5 - сигнал відновлення параметрів; x_6 - сигнал невизначеного типу. Операційна функція переходу F-нейрона зі стану q_1 у стан q_8 , при заданих значеннях параметрів (точка $\Leftarrow \uparrow \Leftarrow = Q \times X \times P$), може бути визначена такою формулою

$$f_{q_8}([\downarrow \Leftarrow (P_1^2(\Leftarrow, \Leftarrow) \rightarrow (P_2^2(q_i, q_1) \Leftarrow P_3^2(\downarrow_1, 0) \Leftarrow P_4^2(x_i, x_0) \Leftarrow P_5^2(k_{2i}, \underline{k}_2) \Leftarrow \Leftarrow P_6^2(m_{1i}, \underline{m}_1) \Leftarrow P_7^2(j_{1i}, \underline{j}) \Leftarrow P_8^2(k_{2i}, \underline{0}) \Leftarrow P_9^2(d_i, \underline{d}_2) \Leftarrow P_{10}^2(m_{2i}, \underline{m}))), \Leftarrow q_8], \quad (1)$$

де $P_1^2(\Leftarrow, \Leftarrow)$, $P_2^2(q_i, q_1)$, $P_3^2(\downarrow_1, \underline{0})$, ..., $P_{10}^2(m_{2i}, \underline{m})$, – предикати (висловлення), виражені відношеннями: $\Leftarrow \rightarrow \Leftarrow$; $q_i \rightarrow q_1$; $\downarrow_1 > \underline{0}$; $x_i \rightarrow x_0$; $k_{2i} \rightarrow \underline{k}_2$; $m_1 \rightarrow \underline{m}_1$; $j_{1i} \rightarrow \underline{j}$; $k_{2i} \rightarrow \underline{0}$; $d_i \rightarrow \underline{d}_2$; $m_{2i} < \underline{m}$; $q_i \rightarrow q_8$; - у квадратних дужках – правильно побудовані (п.п.) формули.

Формули типу (1) мають сенс тільки тоді, коли є якась інтерпретація символів, що входять до неї. Під інтерпретацією розуміється логіко-предикатна модель, що складається з непорожньої множини \Leftarrow , названої областю інтерпретації, та із множини визначених відповідностей, що відносять кожній предикативній букві P_j^n деяке n-місцеве відношення в \Leftarrow , кожній функціональній букві f_j^n - деяку операцію в \Leftarrow (тобто функцію відображення \Leftarrow у Q) і кожній предметній постійній - деякий елемент із \Leftarrow . В роботі подано семантичне тлумачення предикатів, що входять у формулу (1).

У результаті задачу синтезу функцій переходів і виходів вдалося звести до задачі синтезу функції відображення f_{\square}^n усіх можливих переходів F-нейрона.

У третьому розділі розроблена методологія синтезу функції відображення $f_{\square}^n(\Leftarrow_{\Delta}, E_{\Delta}, q_{\Delta})$ F-нейрона, де \Leftarrow_{Δ} - кортеж у просторі параметрів \Leftarrow ; E_{Δ} - п.п. формула; q_{Δ} – стан нейрона. Задача синтезу сформульована у наведеній нижче постановці.

Рис.1 Модель F-нейрона.

Дано: простір параметрів Φ та бажаний граф переходів (Gr) F-нейрона.

Необхідно: а) знайти множину $M\{E_{\Delta}\}$ п. п. формул E_{Δ} типу (1); б) множину $M\{\blacktriangle_{\Delta}\} \uparrow \Phi$, подібно множині, кожний елемент якої \blacktriangle_{Δ} являє собою кортеж у просторі Φ ; в) довести, що множина $M\{E_{\Delta}\}$ задовольнима; г) визначити за допомогою функції $h:Q \rightarrow Y$ значення вихідного сигналу y_i ($y_i \in Y$).

Ербранівський універсум, Ербранівська база і семантичне дерево не можуть у безпосередньому вигляді бути використані для синтезу функції відображення $f_{\square}^n(\blacktriangle_{\Delta}, E_{\Delta}, q_{\Delta})$ F-нейрона з таких причин:

- не відома множина $M\{E_{\Delta}\}$. Її треба синтезувати;
- не можна задати універсум Ербрана $H(M)$, тому що не відома множина $M\{E_{\Delta}\}$;
- неможливо побудувати семантичне дерево, так як немає ні $M\{E_{\Delta}\}$, ні $H(M)$, а дерева, утворені ланцюжками подій, не є в загальному випадку бінарними й утворюють гілки, що йдуть до кореня дерева.

Відштовхуючись від понять Ербранівського універсуму й Ербранівської бази, розроблена нова методика синтезу функції відображення на введених нових поняттях: F-універсум, F-база і семантичне F-дерево.

Визначення 1. F-універсум $F(Gr)$ для графа (Gr) переходів і виходів F-нейрона це є:

- множина всіх константних букв, заданих у Q, X, D, U, E, R, G , множина всіх константних букв, заданих у $S, C, N, M, K, J, T_0, T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_{11}$; множина всіх константних букв, отриманих у процесі функціонування F-нейрона в $M_1, K_1, J_1, M_2, K_2, J_2$ і приналежних множині атомарних формул S ;

- якщо терми t_1, t_2, \dots, t_n належать $F(Gr)$, то f_i^n належать і $f_i^n(t_1, t_2, \dots, t_n)$, де f_i^n – будь-яка функціональна буква, згадана в Φ ;

- ніяких інших термів у $F(Gr)$ немає;

де Q – множина станів F-нейрона; X - множина вхідних/вихідних сигналів; D - множина умов; U - множина виходів; E - множина значень необхідності опитування станів; R - множина значень необхідності відновлення параметрів; G - множина умов режиму автогенерації; $S \times C \times N \times M \times K \times J \rightarrow H \rightarrow P$ - простір параметрів, де $S \times C \times N \rightarrow H$ - область завдання розмірів порогів “збудження”, “блокування”, “гальмування” нейрона відповідно; $M \times K \times J \rightarrow H$ - область завдання параметрів “необхідне число генерації сигналів збудження”, “необхідне число генерації сигналів блокування”, “необхідне число генерації сигналів гальмування”, відповідно; $T_0 \times T_1 \times T_2 \times \dots \times T_i \times \dots \times T_{11} \rightarrow T$ - простір значень розмірів припустимого часу перебування в q_i –му стані; $M_1 \times K_1 \times J_1 \rightarrow B$ - область завдання параметрів “числа прийнятих сигналів” збудження,

блокування і гальмування, відповідно; $M_2 \times K_2 \times J_2 \times W \rightarrow V$ - простір параметрів “числа згенерованих сигналів” збудження, блокування, гальмування і зняття блокування відповідно.

Визначення 2. Під семантичним F-деревом розуміється n-арний орієнтований граф із кореневою вершиною і з внутрішніми і кінцевими вершинами, можливо і з кратними ребрами, що простирається униз від кореневої вершини, що є станом F-нейрона, і яка має шляхи, що приводять як до кореня дерева (цикли), так і до кінцевих вершин, що являють собою стани F-нейрона. Коренева вершина являє собою джерело, кінцеві вершини є стоками. Ребрам дерева присвоюються значення атомарних формул і унікальні номери. Якщо значення атомарної формули “Істина”, то дозволене прямування через дану гілку далі по дереву. Конкретна інтерпретація функції відображення $f_{\square}^n(\blacktriangle_{\Delta}, E_{\Delta}, \mathbb{Q}_{\Delta})$ являє собою конкретний шлях від кореня дерева до вершини (або кореня). Кожній вершині F-дерева ставиться у відповідність визначений стан.

Визначення 3. F-базою для F-нейрона називається множина всіх константних окремих випадків для всіх атомарних формул $F(Gr)$ за умови, що для найменування елементів області використаний F-універсум.

На відміну від універсуму Ербрана, F-універсум не містить атомарних формул у безпосередньому вигляді. Їх треба побудувати. У загальному випадку вони подані функціональними буквами f_i^n F-універсуму (визначення 1). В основу побудови атомарних формул F-нейрона покладено індуктивний підхід і знання предметної області. Суть побудови зводиться до аксіоматичної побудови множини атомарних формул, виходячи з фізичного змісту.

Тоді множина атомарних формул для F-нейрона побудована. Для пояснення семантичного уявлення щодо атомарних форм нижче наведені деякі з них: $P_1(\downarrow_i, \mathbb{O})$, де - “ $\downarrow_i > \mathbb{O}$ ” - припустимий час перебування F-нейрона в i-тому стані більше нуля; $P_2(\downarrow_i, \mathbb{O})$, де - “ $\downarrow_i == \mathbb{O}$ ” - припустимий час перебування F-нейрона в i-ому стані дорівнює нулю; $P_3(x_i, x_0)$, де - “ $x_i == x_0$ ” - сигнал прийому дорівнює сигналу збудження; $P_5(x_i, x_1)$, - “ $x_i == x_1$ ” - сигнал прийому дорівнює сигналу блокування і т.п. Атомарні формули утворюють ортогональний 66-мірний декартів простір $K = \{0, 1\}^{64}$, осями якого є значення відповідних атомарних формул. Як і Ербранівська база, F-база є рахунковою і, отже, її елементи можна тим або іншим способом упорядкувати. Вихідними даними для побудови упорядкованої F-бази є атомарні формули і життєвий цикл F-нейрона, поданий у середині рис. 1.

Розроблена процедура побудови упорядкованої F-бази, що звелася до побудови семантичних F-дерев F-нейрона з кореневими вершинами, що відповідають життєвому циклу F-нейрона. На рис. 2 наведене семантичне F-піддерево з кореневою вершиною з приписаним їй станом RS_SS F-нейрона. На кінцях гілок (ребер) у кружечках показані стани F-нейрона, у які можливі переходи зі стану RS_SS. На ребрах, поруч із назвою атомарних формул, приписані цілі числа. Це номери гілок. Вони можуть відрізнятися від номерів атомарних формул.

Рис. 2. F-піддерево з кореневою вершиною RS_SS (30) і покажчиками маршрутів

Розроблено метод розстановки покажчиків (метод зворотнього напрямку) всеможливих маршрутів на ребрах F-дерева, які вказують шлях від кінцевих вершин до кореневої.

Для спрощення реалізації методу розстановки покажчиків маршрутів запропонована процедура декомпозиції F-дерева на декілька F-піддерев, кожне з котрих має тільки одне ребро, що виходить з кореневої вершини. Запропонована методика розстановки покажчиків всеможливих маршрутів поширюється на всю множину F-дерев, кореневі вершини яких являють всі можливі стани бажаного графу переходів F-нейрона (див. рис. 2). Множина F-дерев із кореневими вершинами станів життєвого циклу F-нейрона утворить F-базу. На базі F-дерева з проставленими покажчиками маршрутів запропонована процедура формування маршрутів F-дерев.

Визначення 4. i -м маршрутом (M_i) F-дерева називається кінцева послідовність довжини l спрямованих різноманітних пронумерованих дуг (ребер) $M_i = \{\#_1 * \#_2 * \dots * \#_l\}$ F-дерева, що промарковані i -м маршрутом і йдуть від кореневої вершини (джерела) до якоїсь кінцевої вершини, що є або станом F-нейрона, або вузлом переходу @. Кожній дузі відповідає одна з атомарних формул $P_i \uparrow P$ із множини $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ атомарних формул F-нейрона.

Маршрут може бути або ланцюгом, або циклом.

Показано, що від кореневої вершини F-дерева до кінцевих вершин (станів F-нейрона), включаючи і кореневу, ведуть, як правило, декілька різних шляхів. Наприклад, маршрут №11 (L) для кореневої вершини RS_SS відповідно до визначення 4 може бути поданий як одна із складових функції переходу M (q_i, q_j)

$$M_{11}^L = \{30*33*28*11*13*105*120\}. \quad (2)$$

У роботі розроблено алгоритм синтезу логічних функцій переходів M(q_i, q_j), заснований на перехідних графах станів.

Визначення 5. Перехідним графом станів F-нейрона називається такий орієнтований граф, що має кореневу вершину, яка є вихідним станом (джерелом) F-нейрона, і зовнішні вершини, що відповідають різноманітним станам F-нейрона або вузлам переходів типу @; внутрішні вершини ніякого інформаційного навантаження не несуть; шлях на графі подає послідовність суміжних дуг, що належать визначеному маршруту, причому кожній дузі відповідає номер маршруту, унікальний номер ребра й одна з атомарних формул $P_i \uparrow P$ із множини $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ атомарних формул F-нейрона.

Визначення 6. Будь-який $M_k^{q_i}$ маршрут може бути перетворений у логічну функцію $L_k^{q_i}$ шляхом простої заміни номерів гілок (ребер) k -го маршруту атомарними формулами, приписаними до відповідних номерів гілок (ребер) цього ж маршруту з q_i станом кореневої вершини.

Тоді, наприклад, маршрут $M_{11}^{q_i}$ (див. формулу (2)), відповідно до визначення 7, може бути поданий такою логічною функцією:

$$L_{11}^L(\{\dots\}) = \{P_{30} \leftarrow P_{33} \leftarrow P_{28} \leftarrow P_{11} \leftarrow P_{13} \leftarrow P_{105} \leftarrow P_{120}\}, \quad (3)$$

де $P_{30}, P_{33}, P_{28}, P_{11}, P_{13}, P_{105}, P_{120}$ - атомарні формули, визначені відношеннями: “ $\downarrow_i > 0$ ” - припустимий час перебування F-нейрона в i -тому стані більше нуля; “ $x_i \neq x_0$ ” - сигнал прийому не дорівнює сигналу збудження; “ $m_{1i} == s_i$ ” - число прийнятих сигналів збудження дорівнює розміру порога збудження; “ $j_{1i} == m_i$ ” - число прийнятих сигналів гальмування дорівнює розміру порога гальмування; “ $k_{2i} == 0$ ” - число згенерованих сигналів блокування дорівнює нулю; “ $d_i == d_2$ ” - умова дорівнює logical; “ $m_{2i} < m_i$ ” - число згенерованих сигналів збудження менше необхідного числа генерування сигналів збудження відповідно; L-код стану RS_SS кореневої вершини.

Для спрощення запису логічної функції $L_k^{q_i}$ список її аргументів не наводиться. Вони зрозумілі із самої форми зображення функції.

У загальному випадку логічна функція $L_j^{q_i}$ може бути подана як

$$L_j^{q_i}(\{\dots\}) = \{P_{ji} \leftarrow P_{jk} \leftarrow \dots \leftarrow P_{jz}\}, \quad (4)$$

де q_i - код i -го стану кореневої вершини; j - номер маршруту $P_{ji}, P_{jk}, \dots, P_{jz}$ - відповідні атомарні формули, визначені в множині атомарних формул; ji, jk, \dots, jz - номери атомарних формул j -го маршруту.

Запропоновані у роботі: алгоритм синтезу логічних функцій переходів $M(q_i, q_j)$ і виходів F-нейрона; елементарні тотожності; операції зчеплення графів дозволили синтезувати узагальнений повний перехідний граф станів F-нейрона. У будь-який момент часу для активного стану існує одне і тільки одне ребро, по якому можливий перехід у той же або інший стан.

Розділ 4. П'ять його підрозділів присвячені розробці моделей компонентів F-нейромереж: F-нейрона (F-Neuron), нейромережевого нейрона (F-NetNr) та F-нейроп'ютера (F-neuroputer). Наведені їх схематичні графи і деякі властивості. Для роботи нейрона в F-нейромережі розроблено механізми зв'язку з іншими F-нейронами. F-нейрон із комутаційними механізмами зв'язку одержав назву F-NetNr. Мають місце два комутаційних механізми у вигляді перемикачів ("від багатьох до одного" і "від одного до багатьох"). F-NetNr має внутрішній механізм тимчасового підсумовування

сигналів. Тому, поки сума накопичених сигналів не перевищить поріг збудження відповідного типу, на виході F-NetNr буде нульовий сигнал. Визначено стани F-NetNr, між якими можливі трансакції.

F-neuroputer є певним чином організована множина параметрично однорідних F-NetNr, призначена для просторово-часової переробки сигналів. Визначені принципи організації внутрішніх ("кожний із кожним, крім як із самим собою") та зовнішніх ("кожний із усіма, але не одночасно") міжнейронних зв'язків. Запропоновані синхронізуючі алгоритми колективних міжнейронних і міжнейроп'ютерних трансакцій.

Наведено базові F-нейромережі, такі як: копіювання, ділення, множення, розгалуження, алгебраїчне додавання, додавання складових з однаковими знаками.

Введені оцінки надійності, відмовостійкості і живучості F-нейромереж. Надійність визначена як імовірність безвідмовної роботи

$$P(x, n_1, t) \approx e^{-tT(x, n_1)}, \quad (4)$$

де $T(x, n_1)$ - середній наробіток на відмову; x - кількість несправних нейронів; n_1 - гранично припустиме число працездатних нейронів.

Середній наробіток на відмову $T(x, n_1)$ залежить від N - потужності "критичного" нейроп'ютера в F-нейромережі; $x = (N-m)$ - числа нейронів, що відмовили; n_1 - гранично припустимого числа нейронів, при якому зберігається 100% точність обчислень (якщо $m < n_1$, то в нейромережі може відбутися зниження точності обчислень); а так само від інтенсивностей відмов нейронів і інтенсивності автоматичного вступу в роботу працездатних нейронів. Тут m - число працездатних нейронів у нейроп'ютері, t - поточний час. Під "критичним" нейроп'ютером розуміється той або ті, що роблять найбільш дошкульний вплив на точність обчислень.

Відмовостійкість характеризується часом, протягом якого значення середнього наробітку на відмову $T(x, n_1)$ прямує до нескінченності.

Живучість F-нейромережі визначається як $N/(m-1)$.

Обираючи потужність множини N для заданих інтенсивностей відмов нейронів і їх "відновлення", можна домогтися такої безвідмовної роботи нейромережі в заданий період часу, як показано на рис. 3.

Рис. 3. Імовірність безвідмовної роботи F-нейромережі в заданому інтервалі часу

Це досягається тим, що при прийнятій організації F-нейромережі інтенсивності відмов і відновлення рівні між собою і $T(x, n_1) \approx \frac{1}{N-m}$ при умові, що $m \approx n_1$.

У п'ятому розділі, на базі теоретичних матеріалів розділів 2 - 4, створені комп'ютерні моделі F-нейромереж у вигляді класів об'єктно-орієнтованої мови програмування на C++, такі як: "Threshold", "Befhist", "Neuron", "NetNr", "Neuroputer" та базові структури F-нейромереж, такі як: "Копіювання", "Розгалуження", "Додавання складових з однаковими знаками" та "Алгебраїчне додавання", надана на рис. 4.

Рис. 4. F-нейромережа "Алгебраїчне додавання"

Класи "Threshold" і "Befhist" (параметричні) – подають величини порогів і передісторії F-нейрона, являють собою предків класу "Neuron".

Окремим підрозділом наведено запропонований інженерний метод синтезу "прозорих" перехідних графів станів F-нейрона. Він дозволив повний перехідний граф станів F-нейрона подати як множину перехідних графів у вигляді, подібно поданому на рис. 5 фрагменту перехідного графу F-нейрона для вихідного стану RS_SS.

Результати моделювання, наведені на рис. 6, підтвердили теоретичні положення методів синтезу і моделей компонентів нетрадиційних F-нейромереж, включаючи і положення щодо відмовостійкості і живучості. 100% точність обчислень гарантується доти, поки число справних нейронів у "критичному" нейроп'ютері буде більше або рівне мінімально допустимому (наперед заданому) значенню.

На рис. 6 введено такі позначення станів: RS_SSvBS - W; MS_SS - V; RS_IS - X; MS_IS - T; Rest - R. Поряд з символом стану через рисочку проставлено номер нейроп'ютера F-нейромережевої структури "Алгебраїчне додавання" (див. рис. 5).

Рис. 5. Фрагмент "прозорого" перехідного графу F-нейрона для вихідного стану RS_SS

Рис. 6. Динаміка чисельності станів нейронів нейроп'ютерів F-нейромережі в процесі транзакцій при східчастому вхідному сигналі типу "17-2"

Додатки А, Б, В і Д містять: алгоритми міжнейроп'ютерних транзакцій; параметри, методи (фрагменти) класів Threshold, Befhist, Neuron, NetNr, Neuroputer, метод уявлення "прозорого" перехідного графу станів, реєстрацію параметрів процесу обчислення в F-нейромережі цілочисельного арифметичного додавання.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна наукова задача розробки методів синтезу і моделей компонентів нетрадиційних надійних, відмовостійких і живучих обчислювальних нейромереж. Для досягнення результату були вирішені наступні наукові і практичні задачі.

Знайшло подальший розвиток уявлення про те, що в рамках класичних нейропарадигм не існує “прозорих” і “ясних” методів синтезу нейромереж із погляду їхньої побудови і функціонування.

Вперше запропоновано нейропарадигму, названу “НОЖпарадигмою”, потенційно придатну для побудови надійних, відмовостійких і живучих F-нейромережових структур.

Вперше запропонований математичний опис дискретних об'єктів із пам'яттю, на прикладі F-нейрона, керованих подіями, кінцевим автоматом у вигляді шістки $A = (Q, X, Y, P, f, h)$.

Вперше запропоновано автоматно-логіко-предикатну математичну модель штучного F-нейрона, яка дозволила врахувати багато властивостей біологічного нейрона.

Логіко-предикатне зображення F-нейрона вперше дозволило звести задачу синтезу функції переходу $f: Q \times X \times P \rightarrow Q$ до задачі синтезу правильно побудованих (п.п.) формул у предметній (“нейронній”) області.

Розроблено методологію синтезу функції відображення $f_{\square}^n(\blacktriangle_{\Delta}, E_{\Delta}, q_{\Delta})$ F-нейрона за допомогою запропонованих F-універсуму і упорядкованої F-бази, відмінних від Ербранівського універсуму і Ербранівської бази.

Запропоновано удосконалений метод установки маршрутних покажчиків і процедуру формування маршрутів, що дозволили визначити множину можливих маршрутів, що є множиною можливих інтерпретацій, тобто моделями, подібно моделям числення предикатів.

Удосконалені математичні та комп'ютерні моделі компонентів нетрадиційних F-нейромереж: а) F-Neuron (F-нейрон); б) F-NetNr (мережевий нейрон); в) F-neuroputer (F-нейроп'ютер) та алгоритми міжнейроп'ютерних трансакцій.

Всі теоретичні положення підтверджені цифровим моделюванням на об'єктно-орієнтованій мові Cі++.

Всі компоненти F-нейромереж подані комп'ютерними об'єктами у вигляді класів.

Достовірність отриманих теоретичних і практичних результатів підтверджена результатами цифрового моделювання.

Вперше проведене моделювання F-нейромережової структури "Алгебраїчне додавання" і підтверджена відмовостійкість та живучість подібних структур.

Найбільш перспективними галузями впровадження результатів дисертації є, очевидно, ті галузі, у яких відмови систем керування складними об'єктами можуть призвести до катастрофічних наслідків. Впровадження бачиться у двох аспектах: а) у найближчому часі - використання методів синтезу перехідних графів станів і виходів дискретних об'єктів, керованих подіями; б) у перспективі

- розробка мікрочипів компонентів F-нейромереж із подальшою реалізацією на них надійних, відмовостійких та живучих обчислювальних і керуючих F-нейромереж.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Филиппенко И. Г., Глушакова А. Ю. Парадигма построения Надежных, Отказоустойчивых и Живучих нетрадиционных нейроподобных систем (“НОЖпарадигма”) //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 1997.- № 3. – С. 15-18.
2. Филиппенко И. Г., Глушакова А. Ю. Нейропарадигмы и перспективы их применения при реализации “НОЖпарадигмы” //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.- 1998.- № 2. – С. 51-58.
3. Филиппенко И. Г., Глушакова А. Ю. Методология проектирования компьютерных моделей элементов с памятью для дискретных моделей, управляемых событиями //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. -1998. - № 3. - С. 76-85.
4. Филиппенко И. Г., Глушакова А. Ю. Интеллектуальный нейрон как основа построения отказоустойчивых и живучих нейровычислительных сетей //Вестник ХГПУ. Системный анализ, управление и информационные технологии. - 1999. – Вып. 71 - С. 185-190.
5. Filippenko I. G. Glushakova G. U. Reliable, fault-tolerance and enduring unconventional neurocalculations. // Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automation and Computer Science, Mendel’99, 5th International Conference on Soft Computing. June 9-12, 1999, Brno, Czech Republic. – P. 345-350.
6. Филиппенко И. Г., Глушакова А. Ю. Проектирование модели нейроподобного элемента как базовой составляющей искусственных систем управления. Тезисы доклада 9-й Международной школы-семинара //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1996.- № 3, 4. – С. 58-59.
7. Филиппенко И. Г., Глушакова А. Ю. Новая парадигма построения интеллектуальных надежных, отказоустойчивых и живучих систем. Тезисы доклада 10-й Международной школы-семинара //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 1997. -№4. – С. 106.
8. Филиппенко И. Г., Глушакова А. Ю. Методология проектирования компьютерных моделей дискретных элементов, управляемых событиями. Тезисы доклада 11-й Международной школы-семинара по перспективным системам управления //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.- 1998. - №4– С. 76-77.

9. Филиппенко И. Г., Глушакова А. Ю. Методика синтеза функции отображения $f_{\square}^n(\blacktriangle, E_{\Delta}, \mathbb{Q}_{\Delta})$ логико-предикатной модели F-нейрона // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 1999. - №4 – С. 114-115.

АНОТАЦІЯ

Глушакова А. Ю. Методи синтезу і моделі компонентів нетрадиційних нейромереж. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання і обчислювальні методи. - Харківський державний технічний університет радіоелектроніки. Харків, 2001.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна наукова задача розробки методів синтезу і моделей компонентів нетрадиційних надійних, відмовостійких і живучих обчислювальних нейромереж, які не потребують ніяких спеціальних засобів виявлення, відшукування та усунення несправностей.

Пошук в області існуючих нейропарадигм привів до створення нової нейромережевої парадигми. Визначені базові складові цієї парадигми, розроблені методи синтезу та математичні і комп'ютерні моделі компонентів нетрадиційної нейромережі з метою комп'ютерної реалізації і перевірки цифровим моделюванням запропонованої концепції. Визначені оціночні характеристики надійності, відмовостійкості та живучості запропонованих обчислювальних нейромереж.

Найбільш перспективними галузями впровадження результатів дисертації є, очевидно, ті галузі, у яких відмови систем керування складними об'єктами можуть призвести до катастрофічних наслідків.

Ключові слова: модель, метод, автомат, граф, логіка, предикат, нейрон, нейрокомп'ютер, нейромережа, моделювання.

АННОТАЦИЯ

Глушакова А. Ю. Методы синтеза и модели компонентов нетрадиционных нейросетей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 - математическое моделирование и вычислительные методы. – Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники. Харьков, 2001.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача разработки методов синтеза и моделей компонентов нетрадиционных надежных, отказоустойчивых и живучих вычислительных нейросетей, которые не требуют никаких специальных средств выявления, отыскивания и устранения неисправностей.

На основании результатов анализа существующих нейропарадигм предложена новая нейропарадигма, потенциально пригодная для построения надежных, отказоустойчивых и живучих нейросетевых структур, названная “НОЖпарадигмой”. Эта нейропарадигма принята в качестве руководящих принципов для разработки методов синтеза и моделей компонентов нетрадиционных нейросетей.

Основы построения нетрадиционного F-нейрона описаны в работах профессора И.Г. Филиппенко.

В данной работе впервые предложено математическое описание дискретных объектов, управляемых событиями, конечным автоматом в виде шестерки $A = (Q, X, Y, P, f, h)$ на примере F-нейрона. Множество состояний Q содержит 12 состояний F-нейрона. Множества входов X и выходов Y содержат 6 входных/выходных сигналов: сигнал возбуждения, сигнал блокировки, сигнал снятия блокировки, сигнал торможения, сигнал опроса состояний, сигнал обновления параметров, сигнал неопределенного типа. Пространство параметров P включает в себя множество величин порогов сигналов различных типов, множество требуемых чисел генерации сигналов, множество параметров допустимого времени пребывания в различных состояниях, множество параметров, отображающих предысторию F-нейрона, а также множество параметров, определяющих стратегию взаимодействия данного нейрона с другими нейронами. Функция $f: Q \times X \times P \rightarrow Q$ – функция переходов F-нейрона из состояния в состояние, $h: Q \rightarrow Y$ – функция выходов.

Предложенная автоматически-логико-предикатная математическая модель искусственного F-нейрона наделена новыми свойствами, такими как одновременность прихода сигналов на все нейронные входы, наличие различных состояний нейрона, умение распознавать типы сигналов, умение помнить свою предысторию, наличие механизма опроса состояний и возможности изменения параметров в процессе его функционирования.

Разработана методология синтеза функции отображения $f_{\Delta}^n(\blacktriangle_{\Delta}, E_{\Delta}, q_{\Delta})$ F-нейрона при помощи предложенных F-универсума и упорядоченной F-базы, основанных на понятиях универсума Эрбрана и Эрбрановской базы.

Предложены усовершенствованный метод установки маршрутных указателей и процедура формирования маршрутов, которые позволили определить множество возможных маршрутов, что есть множеством возможных интерпретаций в терминах языка исчисления предикатов.

Разработаны усовершенствованные математические и компьютерные модели компонентов нетрадиционных F-нейросетей: F-нейрон, сетевой нейрон, нейропьютер и алгоритмы межнейропьютерных транзакций.

Все компоненты F-нейросетей представлены компьютерными объектами в виде классов объектно-ориентированного проектирования.

Все теоретические и практические результаты подтверждены цифровым моделированием на языке Си++.

Впервые смоделирован процесс функционирования F-нейросетевой структуры "Алгебраическое сложение". Результаты моделирования подтвердили отказоустойчивость и живучесть подобных структур.

Наиболее перспективной областью внедрения результатов диссертации являются, по-видимому, те отрасли, в которых отказы систем управления сложными объектами могут привести к катастрофическим последствиям. Внедрение видится в двух аспектах: а) в ближайшем времени – использование методов синтеза переходных графов состояний и выходов дискретных объектов, управляемых событиями; б) в перспективе – разработка микрочипов компонентов F-нейросетей с дальнейшей реализацией на них отказоустойчивых, живучих вычислительных и управляющих F-нейросетей.

Ключевые слова: модель, метод, автомат, граф, логика, предикат, нейрон, нейрокомпьютер, нейросеть, моделирование.

ABSTRACT

Glushakova A. Y. Methods of synthesis and models of components unconventional neural networks. - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree of engineering science by a speciality 01.05.02 - mathematical modelling and computing methods. - Kharkov State Technical University of Radioelectronics, Kharkov, 2001.

The thesis is devoted to development of synthesis methods and models of no conventional, reliable, fault-tolerant and hardy neuronets, which don't required any special error detecting and correction facilities.

Based on the analysis of existing neuroparadigms the author proposed new one, defined its main components; developed synthesis methods; mathematical and software models of specific neuronet with

the purpose of their computer realization and examination using digital simulation. The estimation characteristics of neuronets' reliability, fault tolerance and durability are also the subject of consideration.

Keywords: model, method, automatic device, graph, logic, predicate, neuron, neurocomputer, neuronet, simulation.

Відповідальний за випуск

Безкоровайний В.В.

_____ Підп. до друку _____ 03.04.2001 _____

Формат 60x84 1/16

Папір друк. офсетний.

Умов. друк.арк. 1,1.

Облік. вид. арк. 1.0

Зам. № 64

Безкоштовно

Тираж 100 прим.

ХарДАЗТ, 61050, м.Харків, пл..Фейєрбаха, 7

Друкарня ХарДАЗТу, 61050, Харків, пл. Фейєрбаха,7