

УДК 681.325

І.Г. ЦМОЦЬ

Національний університет "Львівська політехніка"

О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, І.В. ІГНАТЄВ

Тернопільський національний економічний університет

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА БАЗОВА СТРУКТУРА НЕЙРООРІЄНТОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Проаналізовано підходи до побудови нейрокомп'ютерних систем, обрано принципи побудови, розроблено базову структуру нейроорієнтованої комп'ютерної системи реального часу, визначено особливості нейрообробки даних, операційний базис спеціалізованих модулів і етапи їх синтезу.

Ключові слова: нейроорієнтована комп'ютерна система, інтегрований підхід, принципи побудови, структура, спеціалізований модуль, алгоритм.

I.G. TSMOTS

Lviv Polytechnic National University

O. M. BEREZSKY, I. V. IGNATYEV

Ternopil National Economic University

CONSTRUCTION PRINCIPLES AND BASIC STRUCTURE OF NEURAL ORIENTED COMPUTER REAL TIME SYSTEMS

Abstract - The approaches to constructing neural computer systems selected principles, developed the basic structure neural oriented computer system real-time features defined neural processing data base operating specialized modules and stages of their synthesis. The main stages of the synthesis of specialized modules neural oriented computer real-time systems are: choice and development of methods and algorithms consistently-parallel neural processing; determination of the basic parameters of specialized modules; the transition from one algorithm to the agreed-parallel structure.

Key words: neural oriented computer system, an integrated approach, principles, structure, specialized module algorithm.

Вступ

Інтенсивність надходження даних, складність нейромережових алгоритмів обробки та обмеження, що висуваються до часу, габаритів і споживаної потужності є визначальними при виборі засобів реалізації нейромереж реального часу. Режим реального часу накладає обмеження на час розв'язання задачі T_p , який не повинен перевищувати часу обміну повідомленнями $T_{обм}$, тобто [1–3]:

$$T_p \leq T_{обм}.$$

Час обміну залежить як від обсягу N , розрядності n і частоти F_d надходження вхідних даних X_j і вагових коефіцієнтів W_j , так і від кількості k каналів та їх розрядності n_k . Такий час визначається за формулою:

$$T_{обм} = \frac{Nn}{F_d k n_k}.$$

Для забезпечення опрацювання потоків даних в реальному часі за допомогою нейромережових засобів їх продуктивність повинна бути:

$$\Pi \geq \frac{\beta R F_d k n_k}{Nn},$$

де R – складність нейромережових алгоритмів; β – коефіцієнт врахування особливостей засобів реалізації нейромережових алгоритмів [3].

Нейромережові алгоритми можуть реалізовуватися програмними, мікропрограмними або апаратними засобами. Кожний із засобів реалізації алгоритмів має свої переваги і недоліки. Перевагами програмної реалізації є гнучкість при заміні та модифікації алгоритмів, а основним недоліком – низька швидкодія. Мікропрограмна реалізація вимагає глибокого вивчення як задачі, яка розв'язується, так і внутрішньої мови процесора. Перевагою мікропрограмної реалізації є більша швидкодія у порівнянні з програмними засобами, яка досягається за рахунок розпаралелювання обробки на найнижчому бітовому рівні. Апаратна реалізація алгоритмів за рахунок розпаралелення обробки забезпечує максимальну швидкодію, вимагає великих затрат обладнання та є доступна тільки розробникам.

Реалізація нейромережових алгоритмів тільки за допомогою одного із розглянутих засобів зустрічається досить рідко. Переважно для реалізації нейромережових алгоритмів використовуються комбіновані підходи з переважанням програмних, мікропрограмних або апаратних засобів. Вибір як основного того чи іншого засобу реалізації здійснюється виходячи із вимог забезпечення режиму реального часу та високої ефективності використання обладнання, яка враховує кількість виводів інтерфейсу, однорідність структури, кількість і локальність зв'язків, зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку елементам системи за продуктивністю. Кількісна величина ефективності використання обладнання визначається так [3]:

$$E = \frac{R}{t_0 \left(\sum_{j=1}^M W_{EПj} + \sum_{i=1}^N W_{HE_i} + k_1 Y + k_2 P \right)},$$

де R – складність алгоритмів навчання та функціонування нейромереж, яка визначається кількістю елементарних арифметичних операцій необхідних для його реалізації; t_0 – час реалізації алгоритмів навчання та функціонування нейромережі; $W_{EПj}$ – витрати обладнання на реалізацію j -го елемента попередньої обробки; M – кількість елементів попередньої обробки; W_{HE_i} – витрати обладнання на реалізацію i -го нейроелемента; N – кількість нейроелементів; Y – кількість виводів інтерфейсу; k_1 – коефіцієнт врахування кількості виводів інтерфейсу $k_1=f(Y)$, P – кількість міжнейронних зв'язків; k_2 – коефіцієнт врахування міжнейронних зв'язків $k_2=f(P)$.

Тому актуальною проблемою є розробка комп'ютерних систем для нейромережевої обробки даних у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання.

Постановка задачі

Розробка нейромережевих комп'ютерних систем реального часу з високою ефективністю використання обладнання вимагає проблемно-орієнтованого підходу з поєднанням універсальних і спеціалізованих засобів. При такому підході комп'ютерні системи, які використовуються для нейромережевої обробки даних у реальному часі є нейроорієнтованими. Розробка нейроорієнтованих комп'ютерних систем з заданими технічними параметрами зводиться до доповнення обчислювального ядра додатковими спеціалізованими модулями. Розробка високопродуктивних спеціалізованих модулів вимагає широкого використання сучасної елементної бази, розпаралелювання і конвєсризації нейроалгоритмів.

Мета дослідження полягає в виборі принципів побудови, розробленні базові структури нейроорієнтованої комп'ютерної системи реального часу, визначені особливостей нейрообробки даних, операційного базису спеціалізованих модулів і етапів синтезу спеціалізованих модулів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз підходів до побудови нейрокомп'ютерних систем [1–11] показав, що із множини існуючих підходів можна виділити такі:

- на основі універсальних і функціонально-орієнтованих процесорів шляхом розробки спеціалізованого програмного забезпечення;
- обчислювального ядра орієнтованого на задачі нейромережевої обробки доповненого спеціалізованими апаратно-програмними компонентами, які реалізують базові операції нейромережевих алгоритмів;
- у вигляді спеціалізованої нейрокомп'ютерної систем, архітектура та організація обчислювального процесу в якій відображає структуру нейромережевого алгоритму розв'язання задачі.

Перший підхід є доступним для широкого кола користувачів. Істотною його перевагою є можливість використання раніше розроблених програм. Недоліками такого підходу є невисока швидкодія, функціональна і структурна надлишковість комп'ютерних засобів.

Другий підхід передбачає поєднання універсальних і спеціальних засобів. Процес взаємопроникнення універсального та спеціального, програмного і апаратного забезпечує високу ефективність використання обладнання та опрацювання у реальному часі потоків даних за нейромережевими алгоритмами. При такому підході розробка нейрокомп'ютерної систем з заданими технічними параметрами зводиться до доповнення обчислювального ядра необхідними спеціалізованими апаратно-програмними компонентами.

Третій підхід орієнтований на нейромережеву обробку у реальному часі інтенсивних потоків даних за складними алгоритмами. При такому підході висока ефективність використання обладнання досягається узгодженням обчислювальної здатності нейрокомп'ютерної систем з інтенсивність надходження потоків даних.

Крім того аналіз останніх досліджень у галузі створення нейрокомп'ютерних систем реального часу [3, 4, 6, 9] показує, що вони мають такі недоліки:

- нейрокомп'ютерні системи створюються для вирішення тільки конкретних задач;
- складність процедури навчання (самонавчання) системи;
- необхідні великі затрати обладнання на реалізацію спеціалізованих нейрокомп'ютерних систем реального часу для опрацювання інтенсивних потоків даних за складними алгоритмами;
- існуючі спеціалізовані нейрокомп'ютерні системи реального часу не враховують вимоги конкретних застосувань щодо габаритів і споживаної потужності;
- велика вартість і час, які необхідні для розробки спеціалізованих нейрокомп'ютерних систем реального часу;
- невисока швидкодія нейрокомп'ютерних систем, що реалізуються на основі універсальних комп'ютерних засобів шляхом розробки відповідного програмного забезпечення;
- алгоритми функціонування та структури спеціалізованих компонентів нейрокомп'ютерних систем не орієнтовані на НВІС-реалізацію;

- неузгодженість інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю компонентів нейрокомп'ютерних систем реального часу не забезпечує досягнення високої ефективності використання обладнання.

З проведеного аналізу видно, що перспективним підходом для побудови нейрокомп'ютерних систем реального часу є їх реалізація на базі обчислювального ядра, орієнтованого на задачі нейромережевої обробки, доповненого спеціалізованими апаратно-програмними компонентами, які реалізують базові операції нейромережевих алгоритмів. Використання універсального та спеціального підходів, програмних і апаратних засобів забезпечує розширення галузей застосування та високу ефективність використання обладнання. При такому підході розробка нейрокомп'ютерної системи з заданими технічними параметрами здійснюється шляхом доповненням обчислювального ядра необхідними спеціалізованими апаратно-програмними компонентами.

Виклад основного матеріалу

Вибір принципів побудови нейроорієнтованих комп'ютерних систем. Розробку нейроорієнтованих комп'ютерних систем пропонується здійснювати на основі інтегрованого підходу, який охоплює [3]:

- сучасну елементну базу, апаратні та програмні комп'ютерні засоби;
- нейромережеві методи та алгоритми;
- обчислювальні методи, алгоритми та НВІС-структури для реалізації базових операцій нейроалгоритмів.

В основу побудови нейроорієнтованих комп'ютерних систем необхідно покласти принципи, які дозволять зменшити вартість, терміни і розширити галузі їх застосування. Аналіз показує, що забезпечити дані вимоги можна при використанні таких принципів побудови [3, 9]:

- змінного складу обладнання, що передбачає наявність обчислювального ядра та змінних спеціалізованих апаратно-програмних модулів, за допомогою яких ядро адаптується до вимог конкретного застосування;
- модульності, який передбачає розробку компонентів нейроорієнтованих комп'ютерних систем у вигляді модулів, що мають вихід на стандартний інтерфейс;
- конвеєризації та просторового паралелізму обробки даних у спеціалізованих апаратно-програмних модулях;
- відкритості програмного забезпечення, що передбачає можливість нарощування та його вдосконалення, максимального використання стандартних драйверів та програмних засобів;
- узгодженості та адаптації апаратно-програмних спеціалізованих модулів до інтенсивності надходження даних і структури нейроалгоритмів;
- програмованості архітектури шляхом використання репрограмованих логічних інтегральних мікросхем.

Структура нейроорієнтованих комп'ютерних систем. Структуру нейроорієнтованої комп'ютерної системи можна представити у вигляді постійної частини F – універсального обчислювального ядра та змінної частини V – спеціалізованих модулів, які реалізують базові операції нейроалгоритмів [3, 9]. Структура нейроорієнтованої комп'ютерної системи наведена на рис.1, де БПП – багатопортова пам'ять.

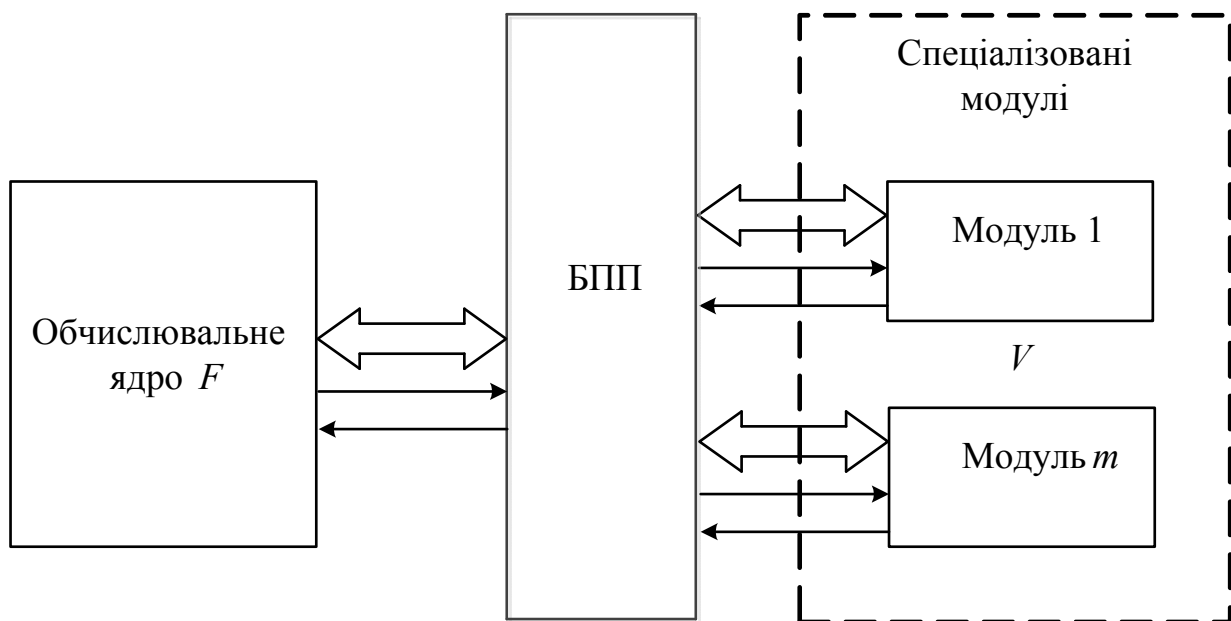


Рис. 1. Структура нейроорієнтованої комп'ютерної системи

Базовими компонентами нейроорієнтованої комп'ютерної системи є обчислювальне ядро, набір

спеціалізованих модулів і БПП.

Паралелізм обробки даних у нейроорієнтованій комп'ютерній системі висуває свої вимоги до організації обміну між обчислювальним ядром і набором спеціалізованих модулів. Такий обмін у нейроорієнтованій комп'ютерній системі доцільно здійснювати використовуючи БПП, яка забезпечує паралельний доступу до множини даних як із сторони обчислювального ядра, так і сторони спеціалізованих модулів.

Основою обчислювального ядра нейроорієнтованої комп'ютерної системи є нейропроцесор (нейрочіп), який має набір команд добре пристосованих для виконання базових операцій нейроалгоритмів, а також повний набір команд загального призначення. Переважна більшість алгоритмів нейропарадигм зводиться до виконання обмеженого набору базових операцій типу "додавання – множення"

Основними перевагами нейрочіпів є:

- відносно більша швидкодія (порівняно з CPU);
- полегшена реалізація зв'язків «всі зі всіма» (для розробника нейромереж);
- низьке споживання електроенергії;
- відносно доступна ціна.

Основні недоліки:

- велика структурна складність і низька надійність системи;
- велика складність ефективної реалізації процедури навчання, самонавчання, самоорганізації;
- значне збільшення споживаної потужності та втрата швидкодії під час збільшення ступеню інтеграції нейрочіпів;

- жорстко задана наперед топологія.

Необхідно відмітити, що основні характеристики обчислювального ядра нейроорієнтованої комп'ютерної системи визначаються особливостями архітектури і технічними характеристиками нейропроцесора. До числа таких характеристик відносяться: довжина інформаційного слова; число основних команд і час їх виконання; ємність пам'яті, що може адресуватися; ємності внутрішньокристалічної пам'яті даних і програм та кількість внутрішніх регістрів.

Структура нейроорієнтованих комп'ютерних систем залежить від конкретних вимог і множини нейроалгоритмів (N), які використовуються для розв'язання задач. При розв'язанні конкретної задачі здійснюється розподіл алгоритмів розв'язання задачі між обладнанням F і V

$$N = N_F + N_V$$

де N_F – множина алгоритмів, які виконуються на обладнанні F ; N_V – множина алгоритмів, які виконуються на обладнанні V .

В залежності від співвідношення N_F і N_V комп'ютерні нейроорієнтовані системи діляться на такі типи:

- з переважним використанням процесорного ядра (постійного обладнання F), коли $N_F \rightarrow N$, $N_V \rightarrow 0$, $N_F \gg N_V$;
- з переважним використанням спеціалізованих модулів (змінної частини V), коли $N_F \rightarrow 0$, $N_V \rightarrow N$, $N_F \ll N_V$;
- з рівномірним використанням постійного обладнання F і змінної частини V , коли $N_F \approx N_V$.

Перший тип нейроорієнтованих комп'ютерних систем характеризується тим, що основний обсяг обчислювальних потужностей зосереджений в процесорному ядрі.

В другому типі нейроорієнтованих комп'ютерних систем основні обчислювальні алгоритми реалізуються з допомогою спеціалізованих модулів, а процесорне ядро використовується для виконання допоміжних сервісних функцій.

Третій тип нейроорієнтованих комп'ютерних систем характеризується тим, що процесорне ядро забезпечує реалізацію алгоритмів управління, операцій введення-виведення та сервісних функцій, а спеціалізовані модулі – реалізують обчислювальні нейроалгоритми, які вимагають великого об'єму обчислень.

Особливості нейротехнологій та операційний базис спеціалізованих модулів. Аналіз задач і галузей застосування нейротехнологій показав [1–3], що вони мають такі особливості:

- високу інтенсивність та постійність вхідних потоків даних;
- постійне ускладнення алгоритмів обробки та підвищення вимог до точності результатів;
- можливість розпаралелення обробки як у часі, так і у просторі;
- здатність до узагальнення та абстрагування;
- здатність до навчання, самонавчання та самоорганізації під впливом зовнішнього середовища.

Для реалізації спеціалізованих модулів виділений операційний базис, який наведений на рис. 2.

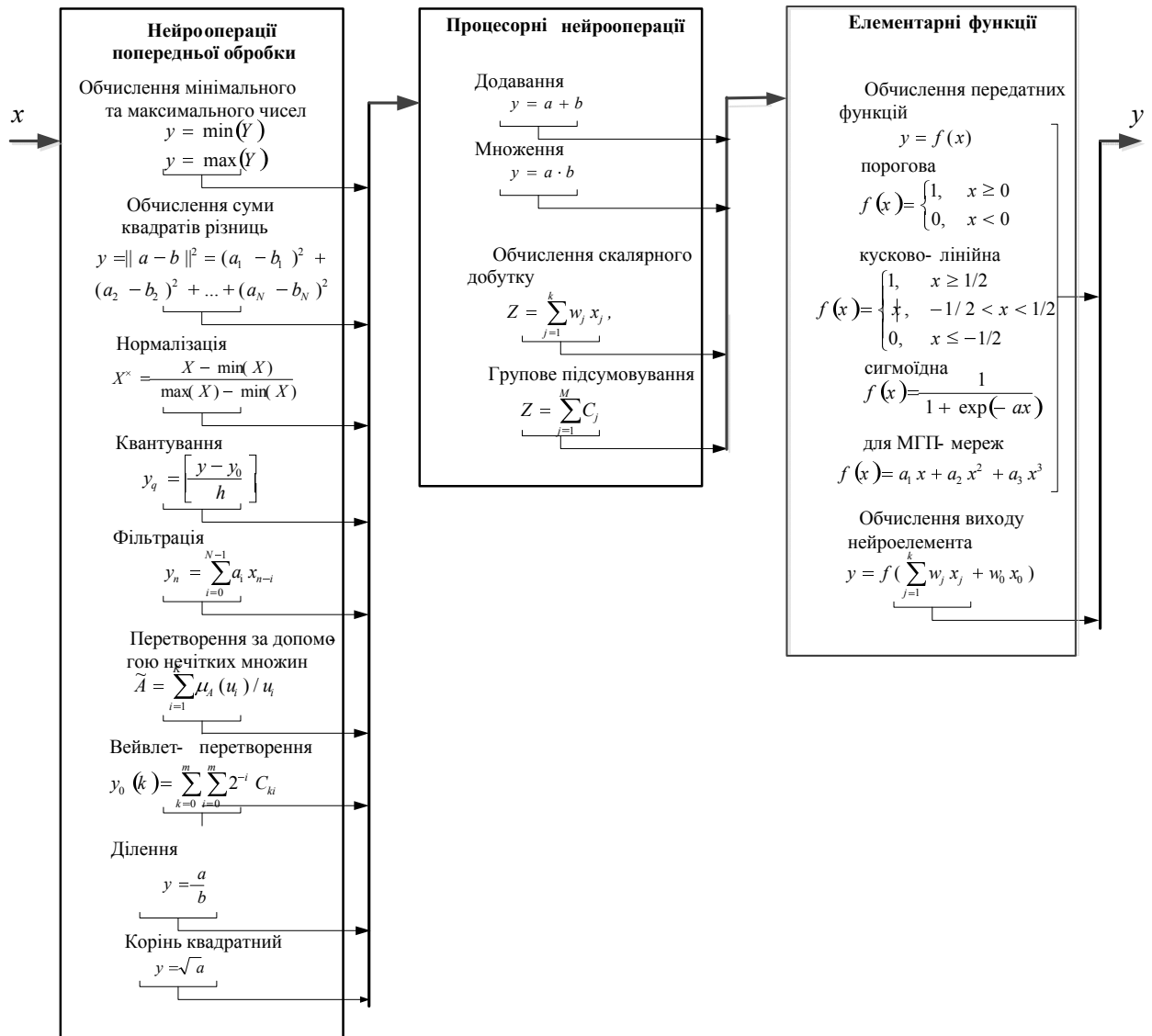


Рис. 2. Нейромережевий операційний базис

Із рис.2 видно, що нейромережний операційний базис спеціалізованих модулів складається із трьох груп базових операцій:

- попередньої обробки;
- процесорних операцій;
- елементарних функцій.

Група базових операцій попередньої обробки забезпечує перетворення початкових даних для кращого сприйняття нейромережею. В групу базових операцій попередньої обробки входять такі операції: обчислення максимальних і мінімальних чисел, ділення, добування квадратного кореня, обчислення суми квадратів різниць.

Навчання мережі на «сирому» наборі, як правило, не дає якісних результатів. Існує ряд способів покращити «сприйняття» мережі:

Нормалізація виконується тоді, коли на різні входи мережі подаються дані різної розмірності. Наприклад, на перший вхід мережі подаються величини зі значеннями від нуля до одиниці, а на другий – від ста до тисячі. При відсутності нормування значення на другому вході завжди будуть мати набагато більший вплив на вихід мережі, ніж значення на першому вході. При нормалізації розмірності всіх вхідних та вихідних даних зводяться до одного діапазону.

Квантування виконується над неперервними величинами, для яких виділяється скінченний набір дискретних значень. Наприклад, квантування використовуються для задання частот звукових сигналів при розпізнаванні мови.

Фільтрація виконується для «зашумлених» даних і полягає у відкиданні значень, які, швидше за все, є некоректними.

Група процесорних операцій складається із таких операцій:

- обчислення скалярного добутку;
- групового підсумовування.

Серед усієї сукупності операцій, які найчастіше використовуються у нейроалгоритмах, особливої

уваги заслуговує операція обчислення скалярного добутку [3]. Традиційно обчислення такої операції здійснюється за наступною формулою:

$$Z = \sum_{j=1}^k W_j X_j$$

де k – кількість входів нейроелемента, W_j – j -й ваговий коефіцієнт, X_j – значення j -го входу.

Існують два підходи до апаратної реалізації обчислення сум парних добутків [3,9]. Перший з них ґрунтується на операціях множення і додавання, другий – на операціях додавання, інверсії та зсуву. Перший підхід переважно використовують при синтезі пристроїв обчислення сум парних добутків на базі окремих мікросхем (помножувачів, суматорів), а другий – при НВІС-реалізаціях. Використання для НВІС-реалізацій алгоритмів на базі операцій додавання, інверсії та зсуву дозволяє оптимізувати пристрій за швидкодією, апаратними витратами та збільшити регулярність його структури. Основою таких алгоритмів є формування часткових добутків з наступним їх додаванням. У загальному випадку обчислення скалярного добутку в базисі елементарних арифметичних операцій зводиться до макрооперації групового підсумовування часткових добутків:

$$Z = \sum_{j=1}^M C_j$$

де M – кількість доданків; C_j – j -й доданок [3].

Група операцій елементарних функцій складається із операцій: обчислення уніполярної та біполярної порогової функції, гіперболічного тангенса та синусоїдальних функцій з насиченням. В нейроні за допомогою даних операцій реалізується функція активації.

Синтез спеціалізованих модулів нейроорієнтованих комп'ютерних систем реального часу.

Метою синтезу спеціалізованих модулів нейроорієнтованих комп'ютерних систем реального часу є отримання модульної та регулярної структури орієнтованої на НВІС-технологію [3, 6]. Вихідною інформацією для синтезу спеціалізованої нейромережі реального часу є:

- алгоритми навчання та функціонування нейромережі;
- графове відображення нейромережі;
- кількість вхідних даних N ;
- інтенсивність надходження вхідних даних і вагових коефіцієнтів;
- вимоги до інтерфейсу;
- розрядність вхідних даних, вагових коефіцієнтів і точність обчислень;
- техніко-економічні вимоги і обмеження.

При синтезі нейромереж реального часу необхідно забезпечити її функціонування в реальному часі при мінімальних апаратних затратах [3]. Перехід від графового відображення нейромережі до апаратної структури нейромережі формально зводиться до мінімізації апаратних затрат:

$$W_{HM} = \sum_{j=1}^M W_{EIIj} + \sum_{i=1}^N W_{HEi} + k_1 Y + k_2 P,$$

де W_{EIIj} – витрати обладнання на реалізацію j -го елемента попередньої обробки; M – кількість елементів попередньої обробки; W_{HEi} – витрати обладнання на реалізацію i -го нейроелемента; N – кількість нейроелементів; Y – кількість виводів інтерфейсу; k_1 – коефіцієнт врахування кількості виводів інтерфейсу $k_1 = f(Y)$, P – кількість міжнейронних зв'язків; k_2 – коефіцієнт врахування міжнейронних зв'язків $k_2 = f(P)$, при забезпеченні режиму реального часу

Процес синтезу спеціалізованих нейромереж реального часу з високою ефективністю використання обладнання можна звести до виконання таких етапів [3]:

- вибрати нейромережу та представити її у вигляді конкретизованого узгодженого потокового графу;
- перейти з врахуванням техніко-економічних вимог і обмежень від конкретизованого узгодженого потокового графу до структури апаратної нейромережі;
- вибрати модель нейроелемента, елементів попередньої обробки та здійснити їх синтез;
- розробити інтерфейс та систему обміну між шарами нейромережі;
- визначити при потоковій структурі нейромережі порядок реалізації у часі шару нейромережі та синтезувати пристрій управління.

При виборі варіанту апаратної нейромережі реального часу використовується критерій ефективності використання обладнання E , який враховує кількість виводів інтерфейсу, кількість міжнейронних зв'язків і зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку елементам (вентиліям) за продуктивністю [3]. Для оцінки обчислювальних і структурних характеристик нейромережі використовується подання її у вигляді функціонального графу $F=(\Phi, \Gamma)$, де $\Phi=\{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n\}$ – множина функціональних операторів, Γ – закон відображення зв'язків між операторами [3]. Графічно функціональний граф нейромережі відображається у вигляді вершин, що відповідають операторам алгоритму Φ_i та дуг, які відображають зв'язки між операторами. Для апаратної реалізації нейромережі з високою ефективністю використання обладнання необхідно граф нейромережі подати просторово-часовому відображенні у вигляді

конкретизованого узгодженого потокового графа на рівні одно-, дво- і багатооперандних нейрооперацій [10].

Висновки

1. Структура нейроорієнтованих комп'ютерних систем реального часу представляється у вигляді постійної частини – обчислювального ядра на базі нейропроцесорів та змінної частини, яка складається з спеціалізованих модулів, кількість яких залежить від вимог конкретного застосування.

2. Нейроорієнтовані комп'ютерні системи реального часу доцільно реалізовувати на основі інтегрованого підходу, який охоплює сучасну елементну базу, апаратні та програмні засоби, нейромережеві методи та алгоритми, обчислювальні методи, алгоритми та НВІС-структури та ґрунтується на таких принципах: змінного складу обладнання, модульності, конвеєризації та просторового паралелізму обробки даних, спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури нейроалгоритмів.

3. Для вибору структури нейроорієнтованих комп'ютерних систем реального часу запропоновано використовувати критерій ефективності використання обладнання, який зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку елементам системи за продуктивністю.

4. Основними етапами синтезу спеціалізованих модулів нейроорієнтованих комп'ютерних систем реального часу є: вибір та розробка методів і алгоритмів узгоджено-паралельної нейромережевої обробки; визначення основних параметрів спеціалізованих модулів; перехід від алгоритму до узгоджено-паралельної структури.

Література

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин ; [пер. с англ.]. – [2-е изд.]. – М. : "Вильямс", 2006. – 1104 с.
2. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры. Кн. 3 / А.И. Галушкин. – М. : ИПРЖР, 2000.–528 с.
3. Нейроподібні методи, алгоритми та структури обробки сигналів і зображень у реальному часі : монографія / [Ю.М. Рашкевич, Р.О. Ткаченко, І.Г. Цмоць, Д.Д. Пелешко]. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 256 с.
4. Гузик В.Ф. Проблемно-ориентированные высокопроизводительные вычислительные системы : учебное пособие / В.Ф. Гузик, В.Е. Золотовский. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 1998. – 236 с.
5. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника / Ф. Уоссермен. – М. : Мир, 1992. – 259 с.
6. Палагин А.В. Реконфигурируемые вычислительные системы / А.В. Палагин, В.Н. Опанасенко. – К. : Просвіта, 2006. – 280 с.
7. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М. : Горячая Линия-Телеком, 2002. – 382 с.
8. Николаев А.Б. Нейросетевые методы анализа и обработки данных : учебное пособие / А.Б. Николаев, И.Б. Фоминых. – М. : МАДИ (ГТУ), 2003. – 95 с.
9. Цмоць І.Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі / І.Г. Цмоць. – Львів : УАД, 2005. – 227 с.
10. Грибачев В. П. Элементная база аппаратных реализаций нейронных сетей / В. П. Грибачев // Компоненты и технологии. – 2006. – № 8.
11. Круг П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры : учебное пособие по курсу «Микропроцессоры» / П.Г. Круг. – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 176 с.

References

1. S. Haykin. Neural network: full course, 2 – edition.: Translation from Eng.. –M.:” Williams”, 2006. – 1104 с.
2. Galushkin A.I. Neurocomputers. Book. 3.-. M; IPRZHR,2000.-528с.
3. Neuropodibni methods, algorithms that structure obrobki signaliv i The images in real chasi: monografiya / Y.M. Rashkevich, R.O. Tkachenko, I.G. Tsmots, D.D. Peleshko.– Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic National University,2014. -256 с.
4. Problem-oriented high-performance computing systems: V.F. Guzik, V.E. Zolotovskii: Textbook. Taganrog; Publishing house TSURE, 1998. 236 с.
5. Wasserman F.Neyro computer equipment. - M. : Mir,1992. – 259с.
6. A.V. Palagin, V.N. Opanasenko. Rekonfiguriremye computing systems. - K. : Prosvita, 2006.- 280с.
7. Kruglov V.V., Borisov V.V. Artificial neural network. Theory and practice. - M. : Hotline Telecom,2002. – 382 с.
8. Nikolaev A.B., Fominih I.B. Neural network analysis methods and data processing. Textbook. - M. : MADI (STU) 2003, - 95с.
9. Tsmots I.G. Informatsiyni tehnologii that spetsializovani Zasoba obrobki signaliv i The images in real chasi. - Lviv: UAD, 2005.- 227с.
10. Gribachev V.P. Element base hardware implementations of neural networks // Components and technologies. 2006. № 8
11. Krug P.G. Neural networks and neurocomputers: textbook for the course "Microprocessors". - M. : Publishing MEI 2002. – 176 с.

Рецензія/Peer review : 27.10.2014 р.

Надрукована/Printed :29.11.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Николайчук Я.Г.