

5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 004.383.8.032.26

Проф. І.Г. Цмоць, д-р техн. наук;

аспір. О.В. Скорохода; аспір. І.Є. Ваврук – НУ "Львівська політехніка"

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА СПОСОБИ НВІС-РЕАЛІЗАЦІЇ НЕЙРОМЕРЕЖ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Вибрано підходи, запропоновано принципи побудови та основні способи НВІС-реалізації штучних нейронних мереж реального часу. Здійснено аналіз реалізації штучних нейронних мереж на основі нейрочіпів, ПЛІС та процесорів цифрової оброблення сигналів. Запропоновано при реалізації штучних нейронних мереж для мобільних робототехнічних систем використовувати проблемно-орієнтований підхід, що полягає в поєднанні універсальних і спеціалізованих засобів.

Ключові слова: НВІС-реалізація, ШНМ, нейрочіп, ПЛІС, процесор ЦОС.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку технологій характеризується великою різноманітністю напрямів щодо застосування штучних нейронних мереж (ШНМ). Їх використовують для розпізнавання, прогнозування, стиску зображень і відео, управління робототехнічними системами тощо [1].

Практична реалізація ШНМ може відбуватись програмно, апаратно й апаратно-програмно [2]. Для різних застосувань до реалізації ШНМ ставляться різні вимоги за швидкістю, продуктивністю, вартістю, габаритами та енергоспоживанням. Ефективним напрямом реалізації ШНМ є мобільні робототехнічні системи (МРС). Для їх реалізації необхідно забезпечити невисоке енергоспоживання і тепловиділення та високу швидкість. Зазвичай ці вимоги не можна досягнути за програмної реалізації на звичайному комп'ютері, оскільки при цьому не здійснюється реальне розпаралелення операцій. Апаратно-програмна й апаратна реалізації ШНМ є найбільш перспективними, оскільки при цьому досягається висока швидкість, надійність та відмовостійкість за допомогою паралельної реалізації нейроалгоритмів. Тенденція до зниження енергоспоживання і тепловиділення сучасної елементної бази є важливою під час реалізації мобільних систем. Для забезпечення надійності та відмовостійкості, найкращим варіантом є використання паралельних та розподілених архітектур, оскільки навіть у разі виходу з ладу деяких компонентів система не перестане функціонувати, а тільки зменшиться її продуктивність.

Тому актуальними є аналіз та вибір елементної бази та принципів побудови ШНМ реального часу з використанням паралельних апаратних засобів, які дають змогу забезпечити високу швидкість та надійність і невисоке енергоспоживання та тепловиділення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазвичай для апаратної та апаратно-програмної реалізації ШНМ використовують процесори цифрової оброблення сигналів (ПЦОС), системи на кристалі (СНК), програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС), процесори загального призначення та нейрочіпи [2, 4, 5].

Під час реалізації ШНМ необхідно забезпечити паралельне виконання найпростіших операцій. Використовуючи процесори загального призначення, паралелізм можна досягнути шляхом їх об'єднання у загальну систему. Оскільки кожен із процесорів спрямований на автономну роботу, то багато часу витрачається на операції обміну між процесорами. Крім того, процесори загального призначення не задовольняють виконання вимог, які ставлять до реалізації ШНМ для МРС за швидкістю, габаритами та енергоспоживанням і тому є малопридатними для створення автономних і мобільних систем.

ПЛІС позбавлені таких недоліків, оскільки складаються з однотипних елементів і можуть забезпечити паралельну реалізацію багатьох нейронів і при цьому обмін даними між нейронами здійснюється всередині ПЛІС з високою швидкістю. ПЦОС та нейрочіпи орієнтовані на виконання нейрообчислень, а використання СНК для реалізації ШНМ дає змогу забезпечити зменшення енергоспоживання. Тому найчастіше реалізація ШНМ реального часу для МРС здійснюється з використанням СНК, ПЛІС, ПЦОС та нейрочіпів.

Завдання і мета дослідження. Реалізацію ШНМ можна здійснювати з використанням різної елементної бази. Під час її вибору потрібно враховувати ефективність реалізації нейроалгоритмів та вимоги, які ставлять до конкретного застосування.

Мета дослідження полягає у виборі підходів і принципів побудови ШНМ реального часу та елементної бази, що дає змогу забезпечити високу швидкість, надійність і невисоке енергоспоживання та тепловиділення.

Виклад основного матеріалу.

Вимоги та принципи побудови ШНМ реального часу. До реалізації ШНМ реального часу ставлять основні вимоги за габаритами, енергоспоживанням, забезпеченням високої швидкості, надійності та гнучкості. Під час створення МРС необхідно, щоб реалізація ШНМ була спеціалізована та орієнтована на виконання логічних нерегулярних і складних обчислювальних операцій. Для цього потрібно використовувати проблемно-орієнтований підхід, що полягає у поєднанні універсальних і спеціалізованих засобів.

Щоб зменшити простір елементів та збільшити швидкість, необхідно здійснити узгодження швидкості елементної бази, каналів зв'язку і пам'яті під час виконання нейрообчислень. Для цього необхідно здійснити узгодження інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю апаратних засобів. Інтенсивність надходження даних залежить від кількості та розрядності каналів надходження даних, кількості трактів оброблення та частоти надходження даних [4]:

$$P_D = hknF_D, \quad (1)$$

де: h – кількість трактів оброблення; k – кількість каналів надходження даних; n – розрядність каналів надходження даних; F_D – частота надходження даних. Обчислювальна здатність апаратних засобів визначається так [4]:

$$D_k = \frac{hm_m n_m}{T_k}, \quad (2)$$

де: m_m – кількість каналів надходження даних у сходинок конвеєра; n_m – розрядність каналів надходження даних у сходинок конвеєра; T_k – такт кон-

всера. Кількість трактів оброблення h відповідає кількості нейронів у кожному шарі ШНМ.

Одним з основних інтегральних параметрів оцінки структур ШНМ, орієнтованих на НВІС-реалізацію, є ефективність використання обладнання, який враховує кількість виводів інтерфейсу, однорідність структури, кількість і локальність зв'язків, пов'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку елементам пристрою за продуктивністю. Кількісну величину ефективності використання обладнання визначають так [4]:

$$E = \frac{R}{t_o \left(k_1 \sum_{i=1}^s W_{\phi Y_i} d_i + k_2 Q + k_3 Y \right)}, \quad (3)$$

де: R – складність алгоритму, яка визначається кількістю елементарних арифметичних операцій, необхідних для його реалізації; t_o – час реалізації алгоритмів навчання та функціонування нейромережі; $W_{\phi Y_i}$ – витрати обладнання на реалізацію i -го функціонального вузла; d_i – кількість функціональних вузлів i -го типу; k_1 – коефіцієнт врахування однорідності $k_1 = f(s)$; s – кількість видів функціональних вузлів; Q – загальна кількість зв'язків; k_2 – коефіцієнт врахування регулярності зв'язків $k_2 = f(\Delta_j)$; Δ_j – просторова зв'язкова віддаль; Y – кількість виводів інтерфейсу; k_3 – коефіцієнт врахування кількості виводів інтерфейсу зв'язку $k_3 = f(Y)$.

Для забезпечення вимог та використання переваг сучасної НВІС-технології, в основу розробки ШНМ доцільно покласти такі принципи [4, 5]:

- модульності;
- узгодженості інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю нейрокомп'ютерних систем;
- конверсії та просторового паралелізму оброблення даних;
- однорідності та регулярності структур нейрокомп'ютерних систем;
- локалізації та спрощення зв'язків між елементами нейрокомп'ютерних систем;
- спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів оброблення та інтенсивності надходження даних;
- програмованості архітектури шляхом використання ПЛІС.

Реалізація ШНМ на основі нейрочипів. Нейрочипи орієнтовані на виконання нейромережових алгоритмів та забезпечують велику швидкодію під час виконання нейромережових операцій. Основною перевагою використання нейрочипів для реалізації ШНМ є те, що на їхній основі можна реалізувати високопаралельні системи. Нейрочипи бувають загального призначення і спеціальні. Спеціальні нейрочипи здатні реалізувати один алгоритм для певного застосування, а нейрочипи загального призначення можуть реалізувати більш ніж один алгоритм. Також вони можуть містити схеми налаштування ваг під час навчання, або передбачати зовнішнє завантаження ваг [11]. За типом інформаційного носія нейрочипи поділяють на цифрові, аналогові та гібридні [2].

Аналогові нейрочипи характеризуються більшою швидкістю, тому їх ефективно використовують для реалізації ШНМ. Аналогові нейрочипи поділяють на нейрочипи з бітовими ваговими коефіцієнтами, з фіксованими ваговими

коефіцієнтами, з частотно-імпульсною модуляцією і клітинні [2]. Нейрочипи з бітовими ваговими коефіцієнтами є найпростішими, а використання частотно-імпульсної модуляції дає змогу реалізувати високонадійні системи з низьким енергоспоживанням, що є особливо важливим під час створення мобільних або автономних систем. Клітинні нейрочипи найчастіше використовують у робототехніці та медицині. До одного з перших повністю розроблених аналогових нейрочипів відносять Intel ETANN 80170NX, що може реалізувати нейромережу з 64 повнозв'язними нейронами і містить аналогові енергонезалежні ваги [3].

До переваг цифрових нейрочипів відносять використання простих методів виготовлення, зберігання ваг в ОЗП та гнучкість розробки [3]. Найбільшою проблемою для розробників є реалізація пристрою обчислення скалярного добутку входів нейрона на ваги, який зазвичай є найповільнішим елементом оброблення в мережі. Виділяють такі категорії цифрових нейрочипів [3]: розрядно-модульні, з одним потоком команд та багатьма потоками даних (SIMD) і систолічні матриці.

Під час використання розрядно-модульної архітектури кожен модуль призначений для оброблення декількох розрядів машинного слова, а слово загальною обробляється групою модулів або секцій, з'єднаних між собою. Прикладами таких нейрочипів є [3]: Micro Devices MD1220 Neural Bit Slice, Philips Lneuro chip та Neuralogix NLX-420 Neural Processor. Зазвичай така архітектура передбачає зовнішнє завантаження ваг під час навчання ШНМ.

Системи класу SIMD орієнтовані на використання паралелізму даних для підвищення продуктивності та підходять для реалізації ШНМ. У такій системі обробляється декілька потоків даних окремими елементами, але під загальним керуванням. Прикладом таких нейрочипів є Adaptive Solutions N64000 з 64 процесорними елементами [3].

У випадку реалізації нейрочипів на основі систолічної матриці, кожен процесорний елемент виконує один крок обчислення синхронно з іншими процесорними елементами, а потім передає результат обчислення на наступний процесор у конвеєрі, внаслідок чого ця архітектура підходить для реалізації основної операції нейрообчислень – множення з накопиченням. Зазвичай систолічні матриці – це спеціалізовані масиви, для яких характерним є дрібнозернистий паралелізм. Тому вони добре підходять для реалізації ШНМ із низькою пропускну здатністю. Основним їхнім недоліком є велика складність системи контролю та взаємодії. Прикладом є Siemens MA-16 [3].

Гібридні чіпи поєднують переваги цифрового та аналогового підходів. Їх поділяють на нейрочипи з аналоговими ваговими коефіцієнтами і цифровою логікою та на нейрочипи з цифровими ваговими коефіцієнтами та аналоговою логікою. У [3] наведено приклад гібридної архітектури, яку поділяють на дві частини: аналогову і цифрову. При чому аналоговий блок ШНМ виконує нейрообчислення, а блоки корекції помилок, схеми контролю та блоки генерації тактових сигналів є повністю цифровими.

Реалізація ШНМ на основі ПЛІС. ПЛІС є ефективним ресурсом для апаратної реалізації ШНМ. До основних переваг використання ПЛІС можна віднести [1, 3, 6]: невисоку вартість, що зумовлена масовим виробництвом, доступність, високу швидкодію, продуктивність і надійність, універсальність, різнома-

нітність у виборі напруг живлення і параметрів сигналів вводу/виводу, а також низьке енергоспоживання, що є особливо важливим для реалізації портативної апаратури, наявність різноманітних добре розвинених і ефективних програмних засобів автоматизованого проектування та зменшення часу проектування і відлагодження проектів та реконфігурацію, що забезпечує велику гнучкість проектування. Однак реалізація великих моделей ШНМ із тисячами нейронів на ПЛІС пов'язана з проблемами розведення всіх необхідних з'єднань.

Істотними особливостями останніх поколінь ПЛІС є забезпечення часткової реконфігурації у процесі роботи. Зокрема системи на базі ПЛІС можуть бути адаптовані для конкретних конфігурацій ШНМ. Наприклад у [8] представлено реалізацію самоорганізаційних карт Кохонена за допомогою FPGA Xilinx Virtex XCV 1000E-3G560, а в [9] представлено реалізацію багатопоточного перцептрона на основі FPGA Xilinx Virtex XCV400 з конвеєрним алгоритмом навчання зі зворотнім поширенням помилки.

Порівняно з ПЛІС попереднього покоління, спостерігаємо значне зниження рівня споживаної потужності під час збільшення продуктивності роботи. Наприклад, використання ПЛІС сімейства Artix-7, порівняно з Spartan-6, дає змогу в 2 рази зменшити енергоспоживання та підвищити продуктивність на 30 %. Аналогічно, використання Kintex-7 замість Virtex-6 також дає змогу вдвічі зменшити енергоспоживання [7].

ПЛІС поділяють на 4 класи [6]: SPLD (Simple Programmable Logic Devices); CPLD (Complex Programmable Logic Devices); FPGA (Field Programmable Gate Arrays) та ПЛІС з комбінованою архітектурою. Найчастіше для реалізації ШНМ використовують FPGA, до яких часто відносять і ПЛІС з комбінованою архітектурою, оскільки в них найбільш виразно проявляються характеристики класу FPGA. ПЛІС цього класу дають змогу реалізовувати складні ШНМ, оскільки містять більшу кількість логічних блоків, порівняно з іншими класами. Наприклад, SPLD містять декілька сотень логічних вентилів, тоді як FPGA – декілька мільйонів.

У [3] представлено загальний огляд реалізацій ШНМ на основі FPGA. Зокрема, представлені реалізації ШНМ на базі FPGA для реалізації системи відслідковування рухів у відеопотоці та системи відслідковування обличчя і проведення ідентифікації людини у відеопотоці.

Важлива проблема, з якою стикаються розробники ШНМ на основі ПЛІС, полягає у виборі відповідної моделі ШНМ для конкретного застосування, яка забезпечить оптимальне використання апаратних ресурсів. Порівняльний аналіз вимог до обладнання для реалізації чотирьох різних архітектур ШНМ на основі FPGA наведено в [3], у якому було проаналізовано апаратні затрати під час вирішення проблеми класифікації.

Реалізація ШНМ на основі ПЦОС. ПЦОС є перспективною елементною базою для реалізації ШНМ. Існує велика кількість і різноманітність ПЦОС, тому вибір того чи іншого процесора є актуальною і багатокритеріальною задачею, напрям якої залежить від кінцевого застосування. Різні типи процесорів використовують для різних галузей застосувань, тому під час вибору потрібно враховувати вимоги, що ставлять до всієї системи. Порівняно з іншою елементною базою реалізації ШНМ, основні переваги ПЦОС полягають в

орієнтації на базову операцію нейрообчислень – множення з накопиченням (MAC) та наявності апаратного перемножувача, що дає змогу виконувати множення як мінімум двох чисел за один такт.

ПЦОС можна ефективно використовувати для реалізації нескладних архітектур ШНМ, до яких не ставлять складних апаратних вимог. Зокрема в [11] було реалізовано тришарову ШНМ, що функціонує за алгоритмом зворотнього поширення похибки з використанням ПЦОС dsPIC30F2011. Основною причиною вибору реалізації цієї ШНМ на ПЦОС є його невисока вартість і задовільна швидкодія. Також ПЦОС можна використовувати для розв'язання складних задач у реальному часі. Перші місця на ринку ПЦОС посідають такі фірми, як Texas Instruments і Analog Devices.

Процесори сімейства Blackfin (Analog Device) можна ефективно використовувати для оброблення відеозображень та аудіоданих, для медичних засобів, біометрії, систем відео нагляду і безпеки тощо [12]. Зокрема процесор BF537 використовували в [13] для розпізнавання обличчя за допомогою ШНМ зі зворотнім поширенням похибки.

Крім того, деякі ПЦОС містять ефективні засоби узгодження роботи процесорів, які дають змогу реалізовувати структури, що можуть працювати паралельно. Зокрема, сімейства процесорів TigerSHARC і SHARC (Analog Device) характеризуються високою продуктивністю та мають розвинені високошвидкісні засоби обміну даними, що призначені для створення ефективних багатопроцесорних систем [14]. Основними областями застосування таких ПЦОС є системи цифрової оброблення аудіосигналів, медична апаратура, системи розпізнавання і синтезу мови тощо.

ПЦОС поділяють на більш дешеві процесори для оброблення даних у форматі з фіксованою комою і більш дорогі, що апаратно підтримують операції над даними у форматі з плаваючою комою. Також різні типи процесорів використовують для різних галузей. Наприклад, для таких портативних пристроїв, як мобільні телефони та цифрові плеєри, вартість і споживана потужність є найважливішими вимогами, а висока продуктивність найчастіше не потрібна (оскільки вона потребує значне підвищення споживаної потужності, не даючи переваг під час оброблення низькошвидкісних аудіоданих). А для гідроакустичних або радіолокаційних систем визначальними параметрами є швидкість роботи, наявність високошвидкісних інтерфейсів і зручна система розробки, а вартість є другорядним критерієм.

Більшість ПЦОС із фіксованою комою мають малий об'єм внутрішньої пам'яті та невисоку розрядність зовнішніх шин даних. ПЦОС із плаваючою комою зазвичай передбачають роботу з великими масивами даних і складними алгоритмами і мають або вбудовану пам'ять великого об'єму, або велику розрядність адресних шин для підключення зовнішньої пам'яті (а іноді й те, й інше). Отже, вибір типу й об'єму пам'яті має бути результатом ретельного аналізу області застосування, в якій використовують ПЦОС.

Порівняння реалізації ШНМ на ПЦОС і ПЛІС в [15] показали, що перевагами реалізації ШНМ на ПЦОС є простота і нетривалість розробки. Тоді за реалізації на ПЛІС ШНМ мають більшу швидкодію. І хоч операції в ПЦОС здійснюються не паралельно, як на ПЛІС, а послідовно, у деяких випадках використання ПЦОС є ефективнішим під час реалізації ШНМ.

Реалізація ШНМ на основі проблемно орієнтованого підходу. Для забезпечення реалізації ШНМ на основі проблемно-орієнтованого підходу можуть використовуватись поєднання ПЛІС і ПЦОС або ж СНК [16, 17].

Під час поєднання ПЛІС і ПЦОС, ПЛІС використовують для реалізації частини алгоритму, у яких переважають складні арифметичні обчислення, а ПЦОС – для реалізації нелінійних операцій. Такий підхід можна використовувати для реалізації мобільних систем, оскільки існують ПЛІС і ПЦОС з малим енергоспоживанням і тепловиділенням. Також такий підхід можна використовувати для MPC. Зокрема в [18] представлено поєднання ПЛІС EP20K300EQC240 і ПЦОС TMS320C6711 внаслідок реалізації ШНМ для керування рухом руки робота.

СНК – це НВІС, що інтегрує на кристалі різні функціональні вузли закінченого пристрою для автономного використання в електронній апаратурі. Використання СНК для реалізації ШНМ дає змогу забезпечити зменшення енергоспоживання, габаритів та узгодження роботи різних модулів. У загальному випадку СНК складається з процесора, периферійних вузлів, інтерфейсів та пам'яті. Існують різні типи реалізації СНК [19]: СНК на одному чіпі (Single-Chip SoC); СНК у корпусі (System-in-Package SiP, System-on-Package SoP, System-on-Chipset); конфігуровані СНК (configurable SoC) та програмовані СНК (System-on-Programmable Chip). Для реалізації ШНМ краще використовувати програмовані СНК, оскільки вони містять програмовану логіку та дають змогу здійснювати реконфігурацію системи відповідно до вимог [19]. Основною перевагою реалізації ШНМ на СНК є використання готових ядер (IP-модулів). При цьому готові IP-модулі можна або спроектувати, або купити вже готові в інших розробників. Перевагою першого варіанта є те, що зменшується вартість системи, недоліком – збільшення часу розробки. Перевагами другого випадку є зменшення часу проектування і затрат праці, але при цьому істотно зростає вартість розробки.

Висновки. Для найповнішого використання переваг НВІС-реалізації ШНМ реального часу доцільно використовувати такі принципи: модульність; узгодженість інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю нейрокомп'ютерних систем; конвеєризацію та просторовий паралелізм оброблення даних; однорідність та регулярність структур нейрокомп'ютерних систем; локалізацію та спрощення зв'язків між елементами нейрокомп'ютерних систем; спеціалізацію та адаптацію апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів оброблення та інтенсивності надходження даних; програмованості архітектури шляхом використання ПЛІС.

Щоб зменшити простоту елементів та збільшити швидкодію, необхідно здійснити узгодження швидкодії елементної бази, каналів зв'язку і пам'яті під час виконання нейрообчислень.

Під час реалізації ШНМ ефективною елементною базою є нейрочіпи, ПЛІС, ПЦОС та СНК. За реалізації ШНМ для MPC доцільно використовувати проблемно орієнтований підхід, що полягає в поєднанні універсальних і спеціалізованих засобів. Такий підхід ґрунтується на поєднанні ПЛІС і ПЦОС або використанні СНК. При цьому ПЛІС класу FPGA дає змогу реалізовувати складні ШНМ, оскільки вони містять більшу кількість логічних блоків, порівняно з іншими класами. Реалізація на СНК дає змогу зменшити енергоспоживання, що є

особливо важливим під час реалізації мобільних систем, а використання готових IP-модулів дає змогу зменшити час проектування.

Література

1. Круг П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры : учебн. пособ. по курсу "Микропроцессоры" / П.Г. Круг. – М. : Изд-во МЭИ, 2002. – 176 с.
2. Комарцова Л.Г. Нейрокомпьютеры : учебн. пособ. [для студ. ВУЗов] / Л.Г. Комарцова, А.В. Максимов. – М. : Изд-во им. Н.Э. Баумана, 2004. – 400 с.
3. Janardan Misra and Indranil Saha. Artificial neural networks in hardware: A survey of two decades of progress. *Neurocomputing*, 2010. – 214 p.
4. Скорохода О. Особливості реалізації нейромереж реального часу / О. Скорохода, І. Цмоць, Б. Сенах // Технічні вісті. Науково-публіцистичний часопис. – 2011/1(33), 2(34), – С. 77-78.
5. Цмоць І.Г. Проблемно-орієнтований підхід до реалізації штучних нейронних систем / І.Г. Цмоць, І.С. Ваврук // Системні технології : регіон. Міжвуз. зб. наук. праць. – Випуск 6(71). – Дніпропетровськ, 2010. – С. 217-226.
6. Грушвицький Р.И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Р.И. Грушвицький, А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов. – СПб. : Изд-во БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
7. Зотов В. особенности архитектуры нового поколения ПЛИС с архитектурой FPGA фирмы Xilinx / В. Зотов // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12. – С. 17-24.
8. Khalifa K. Ben, 2004. Parallel FPGA implementation of self-organizing maps ICM 2004 Proceedings / K. Ben Khalifa, B. Girau, F. Alexandre, M.H. Bedoui // The 16th International Conference on Microelectronics, pp.709-712.
9. Gadea R. Artificial neural network implementation on a single FPGA of a pipelined on-line back-propagation / R. Gadea, J. Cerda, F. Ballester, A. Macholi // In: Proceedings of the 13th International Symposium on System Synthesis, 2000, pP. 225-230.
10. Корнеев В.В. Современные микропроцессоры / В.В. Корнеев, А.В. Киселев. – Изд. 3-ое, [перераб. и доп.]. – СПб. : Изд-во БХВ-Петербург, 2003. – 448 с.
11. Behan Thomas. Chunting Yang Accelerating Integer Neural Networks On Low Cost DSPs / Behan Thomas, Liao Zaiyi, Zhao Lian // World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008, P. 439-442.
12. Синх Кунал. Использование процессоров Blackfin для обработки видеозображений / Кунал Синх, Рамеш Бабу, Вадим Торганов // Компоненты и технологии, 2006. – № 2.
13. Delong P. Face Detection by DSP Using Directly Connected Camera / P. Delong, B. Polikarpov, and M. Krumnki // In Radioelektronika, 2007. – 234 p.
14. Охрименко В. Blackfin – сигнальные процессоры для встраиваемых приложений / В. Охрименко // Электронные компоненты, 2005. – № 7. – С. 16-23.
15. Szabat K. Comparison of DSP and FPGA Realization of Neural Speed Estimator for 2-mass System / K. Szabat, T. Orłowska-Kowalska // IEEE Transaction, 2011. – Pp. 1543-1548.
16. Цмоць І. Особливості реалізації інтелектуальних компонентів робототехнічних систем / І. Цмоць, І. Ваврук // Технічні вісті. Науково-публіцистичний часопис. – 2011. – Вип. 1(33), 2(34). – С. 77-78.
17. Цмоць І.Г. Проблемно-орієнтована концепція синтезу нейромереж реального часу / І.Г. Цмоць, І.С. Ваврук // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту : матер. Міжнар. наук. конф. ISDMCI'2011. Том1. – Херсон : Вид-во ХНТУ, 2011. – С. 328-330.
18. Seul J. Hardware implementation of a real-time neural network controller with a DSP and an FPGA for nonlinear systems / J. Seul and K. Sung-Su // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2007. – Vol. 54, No. 1. – Pp. 265-271, Feb.
19. Немудров В. Системы на кристалле. Проектирование и развитие / В. Немудров, Г. Мартин. – М. : Изд-во "Техносфера", 2004. – 216 с.

Цмоць І.Г., Скорохода О.В., Ваврук І.Е. Принципы построения и способы СБИС-реализации нейросетей реального времени

Выбраны подходы, предложены принципы построения и основные способы СБИС-реализации искусственных нейронных сетей реального времени. Осуществлен анализ реализации искусственных нейронных сетей на основе нейрочипов, ПЛИС и процессоров цифровой обработки сигналов. Предложено при реализации искус-

ственных нейронных сетей для мобильных робототехнических систем использовать проблемно-ориентированный подход, заключающийся в объединении универсальных и специализированных средств.

Ключевые слова: СБИС-реализация, ИНС, нейрочип, ПЛИС, процессор ЦОС.

Tsmots I.G., Skorokhoda O.V., Vavruk I.Ye. Principles of construction and methods of VLSI-implementation of real time neural networks

Approaches reselected, principles of construction and basic methods of VLSI-implementation of real time neural networks are proposed. The analysis of neurochips, FPGA and DSP processors which are used for artificial neural networks implementation is made. The implementation of artificial neural networks for mobile robotic systems with usage a problem-oriented approach which is a combination of universal and specialized tools is proposed.

Keywords: VLSI-realization, ANN, neurochip, FPGA, DSP.

УДК 629.113.001

Проф. І.В. Кузьо, д-р техн. наук;

асист. О.В. Житенко, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

ПРОСТОРОВА МОДЕЛЬ КОЛІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ВИКОРИСТАННЯМ MATLAB SIMULINK

Наведено систему диференціальних рівнянь для просторової моделі автомобіля та розглянуто спосіб її реалізації, використовуючи програмний продукт Matlab Simulink. Відображено методику та спосіб реалізації просторової моделі автомобіля за допомогою сучасних програмних продуктів для розв'язку актуальних задач динаміки. Змодельовано випадок переїзду машини через перешкоду прямокутного перерізу лише лівими колесами, тоді як праві колеса рухалися по рівній площині.

Ключові слова: просторова модель, динаміка руху, Matlab Simulink.

Вступ. Сучасні автомобілі проектують за допомогою комп'ютерних систем автоматизованого проектування. Найважливішим елементом цього процесу є розроблення програмних засобів аналізу динаміки. В основі реалізації всіх етапів комп'ютерного проектування лежить розроблення імітаційних моделей в середовищах відповідних програмних продуктів, завдання яких – відображати реальні процеси, які відбуваються в елементах конструкції. Аналіз останніх досліджень свідчить, що в області проектування, вивчення процесів руху і взаємодії механічної системи "автомобіль – дорога" вже існує велика кількість математичних моделей колісних машин та розроблено аналітичні методи оцінювання їх ефективності, які застосовані для окремих випадків руху [1].

Незважаючи на те, актуальною задачею залишається реалізація математичних моделей динамічних систем за допомогою сучасних математичних пакетів, таких як: MATLAB, MATHCAD, VISSIM, LABVIEW, DERIVE, MAPLE чи MATHEMATICA. Це дасть змогу по-новому розв'язувати задачі динаміки, а саме задачі аналізу та синтезу.

Аналіз останніх досліджень. Для дослідження динаміки розроблено одно- [2], дво- [3] та багатомасові математичні моделі коливальних колісних машин [4]. Їх подають у вигляді системи диференціальних рівнянь, які відображають з деякими прийнятими припущеннями особливості конструкції, та наводять взаємозв'язок їх окремих частин. Проте недостатньо повно відображено методики та способи реалізації цих моделей за допомогою сучасних програмних продуктів для розв'язку актуальних задач динаміки.

Мета дослідження. Провести математично-комп'ютерне моделювання динаміки колісного транспортного засобу, отримати в системі Matlab Simulink структурні схеми для диференціальних рівнянь руху просторової моделі машини.

Виклад основного матеріалу. Імітаційне моделювання є найбільш потужним і універсальним методом дослідження та оцінювання динамічних систем, поведінка яких залежить від випадкових факторів. Одним із засобів для реалізації математичних моделей колісних машин є Matlab Simulink [5], що є інтерактивним інструментом для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем. В основі пакета прикладних програм лежить модельно орієнтоване програмування. Цей метод об'єднує різні етапи розробки системи, такі як: формування специфікації та системних вимог, імітаційне моделювання, розроблення системи, налагодження і тестування в безперервний робочий процес. Модельно орієнтоване проектування допомагає координувати роботу різних груп розробників та дає змогу виявляти помилки на ранніх стадіях, що значно скорочує час і витрати, підвищуючи цим самим ефективність проектування.

Розглянемо структурний підхід під час комп'ютерного моделювання динамічних систем за допомогою системи SIMULINK. Особливістю такого підходу є те, що комп'ютерна програма, внаслідок виконання якої отримуємо розв'язок системи диференціальних рівнянь у вигляді масиву числових значень, не складається. У цьому випадку згідно зі системою диференціальних рівнянь будується структурна схема за допомогою набору типових блоків бібліотеки SIMULINK.

Як динамічну систему, що будемо досліджувати за умови структурного підходу до моделювання, прийнято вантажний автомобіль МАЗ 5335 (рис. 1), який на швидкості 55 км/год здійснює переїзд лівими колесами через перешкоду прямокутного перерізу. Відповідно маси автомобіля при цьому будуть здійснювати коливні рухи у вертикальній площині.

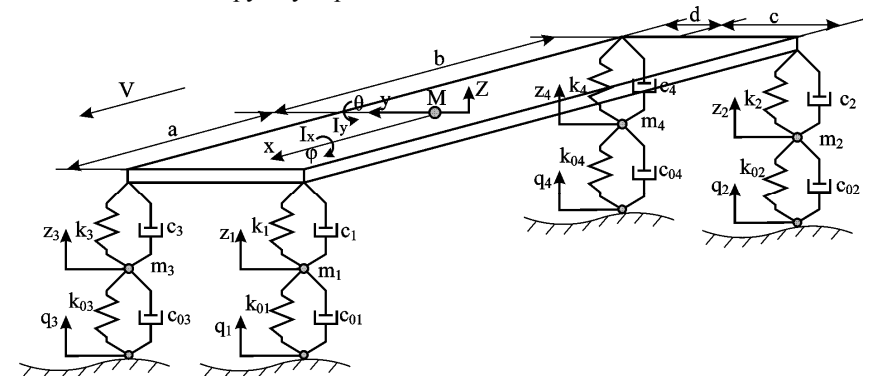


Рис. 1. Спрощена розрахункова схема автомобіля: z – вертикальні переміщення центру мас автомобіля; z_1, z_2 – відповідно вертикальні переміщення передніх та задніх правих коліс автомобіля; z_3, z_4 – відповідно вертикальні переміщення передніх та задніх лівих коліс автомобіля; q_1, q_2 – відповідно збурення зі сторони дороги у вигляді перешкоди прямокутного перерізу, що діють на ліві передні та задні колеса автомобіля; q_3, q_4 – відповідно збурення зі сторони дороги у вигляді рівної поверхні, що діють на праві передні та задні колеса автомобіля; m_1, m_2, m_3, m_4 – відповідно маси непересорених частин автомобіля; a, b, c, d – відповідно відстані від центру