

Надійшла 15.3.2011 р.

УДК 004.932.2: 616-006.04

О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, І.Г.ЦМОЦЬ

Тернопільський національний економічний університет, НУ"Львівська політехніка"

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ ЗОБРАЖЕНЬ

В статті розглянуті принципи та структури побудови проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. Проаналізовані рівні та види розробок проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів, а також шляхи підвищення ефективності їх використання.

The principles and structures constructions of the problem oriented computer tools analysis and synthesis of images are considered. Levels and types developments of the problem oriented of computer tools, and also paths of increase of efficiency of their use, are analyzed.

Ключові слова: структура, принцип, проблемно-орієнтовані комп'ютерні засоби, аналіз, синтез, зображення.

Постановка проблеми

Вимоги, що висуваються до комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень за оперативністю, продуктивністю та ефективністю опрацювання даних не забезпечуються в рамках традиційних методів обчислення та принципів побудови універсальних комп'ютерних засобів. Одним із основних шляхів підвищення ефективності використання обладнання та забезпечення виконання перерахованих вимог є спеціалізація та проблемна орієнтація комп'ютерних засобів на клас задач аналізу та синтезу зображень. При спеціалізації та проблемній орієнтації здійснюється орієнтація структури, системи команд і принципів організації обчислень в комп'ютерних засобах на розв'язання задач аналізу та синтезу зображень.

В спеціалізованих і проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобах аналізу та синтезу зображень алгоритми розв'язання задач залежно від вимог за швидкодією можуть бути реалізовані програмним, мікропрограмним або апаратним шляхом. Кожний із перерахованих видів реалізації алгоритмів має свої особливості, переваги і недоліки. В сучасних комп'ютерних засобах для розв'язання задач аналізу та синтезу зображень використовуються комбіновані підходи з перевагою одного з перерахованих видів реалізації алгоритмів. Даний вид реалізації визначається виходячи із забезпечення вимог конкретного застосування.

Для вибору комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень для конкретного застосування використовується критерій ефективності використання обладнання E , який зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку комп'ютерним елементам за продуктивністю [2]. Кількісна величина ефективності використання обладнання для комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень визначається наступним чином:

$$E = \frac{R}{t_{p3}W},$$

де R – складність алгоритмів розв'язання задачі аналізу та синтезу зображень, яка визначається кількістю елементарних арифметичних операцій; t_{p3} – час розв'язання задачі аналізу та синтезу зображень; W – витрати обладнання на реалізацію комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень.

Розробка комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з високою ефективністю використання обладнання вимагає широкого використання сучасної елементної бази (напівзмовних і замовних НВІС, однокристальних процесорів обробки сигналів), розробки нових методів, алгоритмів і спеціалізованих структур, орієнтованих на реалізацію базових алгоритмів аналізу та синтезу зображень.

Тому актуальною проблемою є розробка комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з високою ефективністю використання обладнання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх досліджень і публікацій у галузі розробки комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень [1-9] показує, що такі засоби створюються на базі комп'ютерних систем з структурною організацією універсального типу, яка передбачає присутність:

- ієрархічної пам'яті, яка просто адаптується до різних задач з широким діапазоном кількості інформації, що використовується при їх розв'язанні та різними обсягами пам'яті необхідними для зберігання програм, вхідних даних, проміжних і кінцевих результатів обробки;
- користувацького інтерфейсу, що забезпечує зручність введення та виведення інформації, а також оперативний вплив на управління обчислювальним процесом;
- розвинутої системи програмного забезпечення, яка зменшує трудоемність підготовчих робіт, спрощує зв'язок та полегшує їх експлуатацію.

Комп'ютерним засобам аналізу та синтезу зображень з структурною організацією універсального характерні такі недоліки:

- їх архітектура є надлишковою в функціональному та структурному відношенні;
- вони не враховують вимоги конкретних застосувань щодо продуктивності, габаритів і споживаної потужності.
- ієрархічної пам'яті, яка просто адаптується до різних задач з широким діапазоном кількості інформації, що використовується при їх розв'язанні та різними обсягами пам'яті необхідними для зберігання програм, вхідних даних, проміжних і кінцевих результатів обробки;
- користувацького інтерфейсу, що забезпечує зручність введення та виведення інформації, а також оперативний вплив на управління обчислювальним процесом;
- розвинутої системи програмного забезпечення, яка зменшує трудомісткість підготовчих робіт, спрощує зв'язок та полегшує їх експлуатацію.

Комп'ютерним засобам аналізу та синтезу зображень з структурною організацією універсального характерні такі недоліки:

- їх архітектура є надлишковою в функціональному та структурному відношенні;
- вони не враховують вимоги конкретних застосувань щодо продуктивності, габаритів і споживаної потужності.

З аналізу видно, що для забезпечення високої ефективності використання обладнання в комп'ютерних засобах аналізу та синтезу зображень необхідно використовувати проблемну орієнтацію, яка повинна ґрунтуватися на можливостях сучасної комп'ютерної техніки, охоплювати методи, алгоритми паралельних обчислень, архітектури апаратних засобів і враховувати вимоги конкретних застосувань.

Завдання і мета дослідження

Розробка комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з високою ефективністю використання обладнання вимагає проблемно-орієнтованого підходу з поєднанням універсальних і спеціалізованих засобів. При цьому розробка проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з заданими технічними параметрами повинна зводитися до доповнення обчислювального ядра додатковими спеціалізованими апаратно-програмними компонентами.

Розробка високопродуктивних спеціалізованих апаратно-програмних компонентів вимагає широкого використання сучасної елементної бази, розпаралелювання і конвеєризації алгоритмів функціонування та методів синтезу спеціалізованих компонентів.

Виклад основного матеріалу

Аналіз і вибір варіантів побудови комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень.

Побудову комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень можна здійснювати так:

- на основі універсальних комп'ютерів (процесорів) і функціонально-орієнтованих процесорів шляхом розробки спеціалізованого програмного забезпечення;
- у вигляді спеціалізованої алгоритмічної системи, архітектура та організація обчислювального процесу в якій відображає структуру алгоритмів аналізу та синтезу зображень;
- з використанням обчислювального ядра, орієнтованого на задачі аналізу та синтезу зображень, доповненого апаратно-програмними компонентами, які реалізують часомісткі алгоритми;

Перший варіант є доступним для широкого кола користувачів. Істотною його перевагою є можливість використання раніше розроблених програм. Його недоліками є невисока швидкість, функціональна і структурна надлишковість комп'ютерних засобів.

Другий варіант орієнтований на аналіз та синтез зображень у реальному часі. При цьому висока ефективність використання обладнання досягається узгодженням обчислювальної здатності апаратних засобів з інтенсивністю надходження потоків даних. Використання для побудови апаратних засобів обчислювальних полів на основі програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) з динамічним репрограмуванням відкриває нові можливості, які пов'язані з оперативним перенаштуванням ПЛІС на реалізацію нових алгоритмів.

Третій варіант є перспективним, оскільки він передбачає поєднання універсальних і спеціальних підходів, програмних і апаратних засобів, тобто є проблемно-орієнтованим. Таке поєднання забезпечує високу ефективність використання обладнання при створенні проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. При цьому розробка проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з заданими технічними параметрами зводиться до доповнення обчислювального ядра додатковими апаратно-програмними компонентами.

Принципи побудови проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. Розробку та оптимізацію проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень пропонується здійснювати на основі інтегрованого підходу, який охоплює [4]:

- сучасну комп'ютерну техніку, апаратні, мікропрограмні та програмні засоби;
- сучасні методи та алгоритми аналізу та синтезу зображень;
- методи та засоби автоматизованого проектування апаратного і програмного забезпечення.

В основу побудови проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень 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, 4]:

- змінного складу обладнання, що передбачає наявність ядра та змінних програмних і апаратних модулів, за допомогою яких ядро адаптується до вимог конкретного застосування;
- модульності, який передбачає розробку компонентів комп'ютерних засобів аналізу синтезу зображень у вигляді модулів, що мають вихід на стандартний інтерфейс;
- конвеєризації та просторового паралелізму обробки даних;
- відкритості програмного забезпечення, що передбачає можливості нарощування та його вдосконалення, максимального використання стандартних драйверів та програмних засобів;
- спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів аналізу і синтезу зображень;
- програмованості архітектури шляхом використання репрограмованих логічних інтегральних мікросхем.

Структури проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. Структуру проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень можна приставити у вигляді постійної частини F – універсального процесорного ядра та змінної частини V , яка складається з модулів спеціалізованих обчислювальних пристроїв, пристроїв введення-виведення та пам'яті (рис. 1).

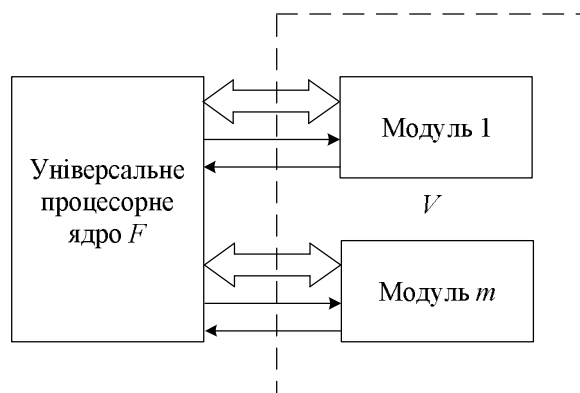


Рис. 1. Структура проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень

Структура проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень залежить від конкретних вимог і множини алгоритмів (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 .

Залежно від співвідношення N_F і N_V проблемно-орієнтовані комп'ютерні засоби аналізу та синтезу зображень можна розділити на три класи:

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

Перший клас проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень характеризуються тим, що основний обсяг обчислювальних потужностей зосереджений в універсальному процесорному ядрі. В другому класі проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень основні обчислювальні алгоритми реалізуються з допомогою спеціалізованих апаратних засобів, а універсальні засоби використовуються для виконання допоміжних сервісних функцій. Третій клас проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з приблизно рівним використанням універсальних і спеціалізованих характеризується тим, що універсальні засоби забезпечують реалізацію алгоритмів управління, операцій введення-виведення та сервісних функцій, а спеціалізовані засоби – реалізують обчислювальні алгоритми, які вимагають великого обсягу обчислень.

При проектуванні проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень використовуються системний підхід, який враховує особливості, вид і характер інформації, вимоги, що висуваються до технічних засобів за вартістю, швидкодією, апаратними затратами, надійністю, габаритами, та потужністю споживання. Основними шляхами покращення характеристик комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень є використання проблемної орієнтації. Для здійснення проблемної орієнтації комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень використовуються такі способи орієнтації:

- структурна, яка передбачає апаратну реалізацію алгоритмів;
- зовнішньосистемна, яка зводиться до використання спеціалізованих зовнішніх пристроїв;
- програмна, при якій задачі реалізуються програмним шляхом;
- мікропрограмна, яка передбачає доступ користувача до апаратних ресурсів на мікропрограмному рівні.

Розглянемо кожний з вище перерахованих способів проблемної орієнтації детальніше.

Структурна орієнтація один із основних методів підвищення продуктивності комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень, при якому структура алгоритму розв'язання задачі адекватно відображається апаратними засобами. Синтезовані таким чином апаратні засоби є алгоритмічними

(спеціалізованими). У алгоритмічних системах кожному функціональному оператору алгоритму розв'язання задачі ставиться у відповідність операційний блок, а дугам між функціональними операторами – каналами передачі даних. У таких структурах алгоритм розв'язання задачі реалізується при проходженні та обробці даних від входів до виходів через всі операційні блоки. За режимами роботи алгоритмічні структури діляться на синхронні та асинхронні.

В асинхронних (однотактних) алгоритмічних системах обробка даних здійснюється без проміжних запам'ятовувань. Продуктивність таких структур визначається часом виконання найскладніших функціональних операторів Φ_{jk} алгоритму, які лежать на шляху проходження даних:

$$t_{AO} = \sum_{j=1}^h \max_k t_{OB_{jk}},$$

де h – кількість послідовно з'єднаних операційних блоків, $t_{OB_{jk}}$ – час реалізації найскладніших операційних блоків функціональними операторами Φ_{jk} . Кожна однотактна структура є послідовною з точки зору реалізації функціональних операторів Φ_{jk} . Це є причиною обмеженої швидкодії та неефективного використання обладнання при обробці інтенсивних потоків даних у реальному часі. Тому для обробки потоків даних доцільно використовувати синхронні структури з конвеєрною реалізацією графів алгоритмів, в яких здійснюється суміщення у часі виконання функціональних операторів алгоритму над різними даними. Конвеєризація алгоритмічних структур передбачає розділення їх на сходинки шляхом введення буферної пам'яті. При цьому, кожна сходинка конвеєра складається з двох компонентів: буферної пам'яті та операційної пристрої, які реалізують функціональні оператори ярусу. Для забезпечення високої швидкодії та ефективності використання обладнання функціональні оператори, які реалізуються у сходинках конвеєра, мають бути простими та мати приблизно однаковий час реалізації. Однотактні алгоритмічні пристрої можна розглядати як одноступінчатий конвеєр.

Основними вимогами, що висувається до алгоритмічних систем є забезпечення модульної та регулярної структури та орієнтації архітектури на НВІС-реалізації.

Структурну орієнтацію доцільно використовувати в таких випадках:

- коли для розв'язання заданого кола задач не вистачає продуктивності універсальних засобів;
- коли використання універсальних засобів не забезпечує вимоги конкретних застосувань за ціною, затратами обладнання, габаритами, надійністю та потужністю споживання.

Зовнішньосистемна орієнтація здійснюється за рахунок використання спеціалізованих пристроїв введення та перетворення, які враховують особливості, вид і характер вхідної інформації, враховують конкретний склад пристроїв відображення та виведення. В загальному випадку для комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень зовнішніми служать пристрої будь-якого типу, що підключаються через канал.

Канали – спеціальні пристрої, що управляють обміном даних з зовнішніми пристроями. Канали отримують команди від процесорів і далі працюють автономно. Вони мають доступ до основної пам'яті та забезпечують: управління роботою зовнішніх пристроїв; приймання і передачу даних; контроль за правильністю обміну. За своєю суттю канал є спеціалізованим процесором введення-виведення інформації. Для підключення зовнішніх пристроїв до каналів і управління їх роботою використовуються контролери.

Програмна орієнтація здійснюється програмною реалізацією задач, що забезпечує досягнення мети функціонування обчислювальних комплексів і систем. При програмній реалізації алгоритмів розв'язання задач обчислювальні процеси переважно розгортаються в часі з великим об'ємом пересилок інформації між оперативною пам'яттю і операційними пристроями. Програмні засоби є доступними для програміста, перед яким виникає задача мінімізації обсягу програм і часу реалізації при заданій точності обчислень. Вказані засоби характеризуються низькою швидкістю і гнучкістю з точки зору можливості модифікації та заміни алгоритмів. При програмній реалізації програми, які забезпечують розв'язання задач можуть зберігатися як в оперативній, так і постійній пам'яті. Програмна реалізація в порівнянні з апаратною має такі переваги: легкість внесення змін в алгоритми розв'язання задач і можливість розвитку шляхом доповнення прикладними програмами.

Мікропрограмна орієнтація ґрунтується на можливості доступу користувача до апаратних засобів на мікропрограмному рівні. Мікропрограмна реалізація алгоритмів розв'язання задач передбачає їхнє розгортання як в часі, так і в просторі. При мікропрограмуванні є доступ до системи мікропрограм процесора, що забезпечується застосуванням постійної пам'яті, прогамованих логічних матриць, а також оперативних запам'ятовуваних пристроїв, які використовуються в якості пам'яті мікропрограм. Прикладом мікропрограмної реалізації є реалізація алгоритмів обробки сигналів і зображень на базі однорідних обчислювальних середовищ. Процесор на базі однорідних обчислювальних середовищ – це двовимірний регулярний матриця процесорних елементів, кожен з яких фізично зв'язаний за входом-виходом з чотирма сусідами – зверху, знизу, зліва та справа. Кожний процесорний елемент може виконувати набір бітових операцій перетворення інформації з вхідних каналів у вихідні. Процесор на базі однорідних обчислювальних середовищ є універсальною системою, тобто в ньому можливо реалізувати довільну обчислювальну функцію. Бітовий рівень процесорного елемента та повна система комутації дозволяють реалізувати розпаралелення обчислень на найнижчому бітовому рівні. Це є суттєвою перевагою мікропрограмної

реалізації алгоритмів обробки сигналів і зображень. Реалізація в повній мірі потенціальних можливостей мікропрограмних засобів може бути досягнута лише при глибокому вивченні як задачі, яка розв'язується, так і внутрішньої мови процесора. Мікропрограмні засобами реалізації алгоритмів розв'язання задач в порівнянні з програмними є більш швидкодіючими.

Потрібно відзначити, що всі способи проблемної орієнтації в безпосередньому вигляді зустрічаються досить рідко. На практиці в більшості випадків для розв'язання задач використовуються комбіновані способи проблемної орієнтації з переважанням одного з перерахованих. Перевага того чи іншого виду проблемної орієнтації визначається вимогами, які висуваються до обчислювальних комплексів і систем за вартістю, швидкодією, габаритами та споживаною потужністю.

Компонентно-ієрархічний підхід до проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. Розробку проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень доцільно здійснювати на основі компонентно-ієрархічного підходу, який передбачає поділ процесу розробки на ієрархічні рівні та види забезпечення (алгоритмічне, апаратне та програмне) [3]. Для реалізації такого підходу використовується метод декомпозиції, який передбачає розбиття процесу проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень на окремі компоненти. На кожному рівні ієрархії проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень розв'язується задачі відповідної складності, які характеризуються як одиницями інформації, так і алгоритмами обробки. За складністю розв'язувані задачі діляться на чотири ієрархічні рівні. Збільшенню номера рівня ієрархії відповідає збільшення деталізації алгоритмічних, апаратних і програмних засобів. При цьому на вищих рівнях ієрархії одиниці інформації, алгоритми, програмні та апаратні засоби представляють собою впорядковані сукупності одиниць інформації та композиції алгоритмів, програмних і апаратних засобів нижчих рівнів ієрархії (табл. 1). Методологія послідовної декомпозиції, яка використовується при розробці проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень, відображає процес розробки "зверху-вниз".

Таблиця 1

Рівні та види розробок проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень

Ієрархічний рівень	Види забезпечення та виконувані розробки		
	Алгоритмічне	Апаратне	Програмне
1-й	Алгоритми функціонування комп'ютерних засобів	Структура апаратних засобів комп'ютерних засобів	Структура програмних засобів комп'ютерних засобів
2-й	Алгоритми функціонування спеціалізованих компонентів	Структури спеціалізованих компонентів	Модулі програм, які реалізують базові алгоритми
3-й	Алгоритми реалізації базових операцій (макрооперацій)	Структури операційних пристроїв (процесорних елементів) для реалізації базових операцій (макрооперацій)	Підпрограми реалізації базових операцій (макрооперацій)
4-й	Алгоритми реалізації арифметичних операцій	Структури арифметичних пристроїв	Підпрограми реалізації арифметичних операцій

На першому ієрархічному рівні проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень розробляються алгоритми функціонування, структури апаратних і програмних засобів.

На другому ієрархічному рівні проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень розв'язуються задачі проектування спеціалізованих апаратно-програмних компонентів, які реалізують базові алгоритми аналізу та синтезу зображень. Такі алгоритми подаються у вигляді функціонального графу з використанням функціональних операторів на рівні базових операцій. На основі аналізу функціонального графу визначаються перелік процедур для програмної і апаратної реалізації. Для виділених процедур розробляються паралельні алгоритми, структури та програми [2].

Третій ієрархічний рівень проектування зв'язаний з проектуванням операційних пристроїв (процесорних елементів), які реалізують базові операції алгоритмів аналізу та синтезу зображень. Для реалізації елементів третього рівня розробляються алгоритми, підпрограми та структури процесорних елементів.

На четвертому ієрархічному рівні проектування розробляються арифметичні пристроїв, які реалізують операції множення, ділення, обчислення квадратного кореня, обчислення максимальних і мінімальних значень. Дані пристрої використовуються для синтезу процесорних елементів. В функціональному і структурному відношеннях елементи четвертого рівня ґрунтуються на операціях: передачі, інвертування, зсуву, порівняння, додавання та віднімання. На основі цього операційного базису розробляються алгоритми та підпрограми реалізації елементів третього рівня.

Компонентно-ієрархічну структуру комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень можна

описати за допомогою такого виразу:

$$C_{K3}^1 = \bigcup_{i=1}^n C_{K3}^{2i} \bigcup_{j=1}^m C_{K3}^{3j} \bigcup_{p=1}^h C_{K3}^{4p},$$

де $C_{K3}^1, C_{K3}^{2j}, C_{K3}^{3j}, C_{K3}^{4p}$ – засоби відповідно першого, другого, третього і четвертого ієрархічних рівнів; n – кількість типів компонентів; m – кількість типів процесорних елементів; h – кількість типів арифметичних пристроїв.

Перехід від алгоритмів аналізу та синтезу зображень до структури апаратно-програмних засобів. Одна з найбільш відповідальних задач при проектуванні проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів для аналізу та синтезу зображень є перехід від алгоритмів до їх структури. Алгоритми аналізу та синтезу зображень можна описувати через залежність між входом і виходом або детально пояснюючи їх внутрішню структуру. Подання алгоритмів у формі стандартного математичного запису не дозволяє достатньо повно оцінити можливості розпаралелення та знайти способи їх ефективної реалізації на існуючих комп'ютерних засобах або розробити нові ефективні структури. Тому для вибору ефективного варіанту реалізації алгоритмів є потреба подати їх у формі, яка одночасно відображає просторові та часові характеристики [7, 8].

Однією з форм подання алгоритму, яка дозволяє оцінити його обчислювальні та структурні характеристики, є зображення алгоритму у вигляді функціонального графу (ФГ). Таке подання описує залежність обчислень, які виконуються в алгоритмі. Символьний запис графу алгоритму представляється як композиція функціональних операторів і має вигляд: $F = (\Phi, \Gamma)$, де $\Phi = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n\}$ – множина функціональних операторів, Γ – закон відображення зв'язків між операторами. Графічно ФГ відображається у вигляді вершин, що відповідають операторам алгоритму Φ_i та дуг, які відображають зв'язки між операторами, тобто залежності даних в алгоритмі. Відображення алгоритму в формі ФГ забезпечує визначення операторів, які доцільно реалізувати програмним шляхом на базі універсального процесорного ядра, а які – спеціалізованими апаратними засобами [2]. В комп'ютерних засобах аналізу та синтезу зображень програмним шляхом реалізуються алгоритми, в яких переважають операції – логічні, переходів і пересилання, а апаратним – складні обчислювальні алгоритми, які є рекурсивними та локально залежними.

Залежно від засобів реалізації, відображення ФГ алгоритмів може здійснюватись з різною ступенем деталізації. Для апаратної реалізації в основному використовується відображення алгоритмів на рівні елементарних арифметичних операцій. При реалізації алгоритмів програмним шляхом відображення ФГ доцільно здійснювати на рівні базових операцій алгоритмів, які відповідають множині арифметичних операцій.

При розробці спеціалізованих компонентів є потреба у просторово-часовому відображенні алгоритмів аналізу та синтезу зображень на рівні арифметичних операцій. Таке відображення алгоритму повинно забезпечувати виявлення всіх форм паралелізму та знаходження необхідних просторово-часових рішень для створення апаратних засобів з високою ефективністю використання обладнання.

Забезпечити просторово-часове відображення алгоритмів з виявленням всіх форм паралелізму дозволяє ярусно-паралельна форма (ЯПФ) [5, 7, 8]. При такій формі подання алгоритму здійснюється розподіл всіх його функціональних операторів Φ_i за ярусами таким чином, що в j -му ярусі розміщені функціональні оператори, які залежать хоча б від одного функціонального оператора $(j-1)$ -го ярусу і не залежать від операторів наступних ярусів. В середині ярусу функціональні оператори між собою не мають з'єднань.

Кожний j -й ярус алгоритму описується наступними параметрами:

- наборами незалежних функціональних операторів Φ_{jk} , де j – номер ярусу, k – номер функціонального оператора в ярусі;
- набором каналів надходження даних і видачі проміжних результатів;
- розрядністю кожного каналу зв'язку.

Кількість ярусів визначає висоту h , а максимальна ширина ярусів визначає її ширину L ЯПФ відображення алгоритму. При відображенні орієнтованого графу алгоритму у ЯПФ номери ярусів j є часовими індексами, а номери k функціональних операторів у ярусі є просторовими індексами. За допомогою просторово-часових індексів у системі координат час-простір задається розміщення функціональних операторів. Параметри потокового графу: складність функціональних операторів Φ_i , ширина L і висота h є взаємно залежними, зміна одного з них веде до зміни інших.

Відображення орієнтованого графу у ЯПФ будемо називати потоковим графом (ПГ). Перехід від алгоритму розв'язання задачі до ПГ необхідно здійснюється в три етапи:

- декомпозиція алгоритму розв'язання задачі;
- проектування комунікацій (обмін даними) між функціональними операторами;
- перехід від ФГ алгоритму до ПГ.

На етапі декомпозиції алгоритм розв'язання задачі Φ розбивається на функціональні оператори Φ_i , між якими устанавлюються зв'язки, що відповідають даному алгоритму. Чим більшу ступінь деталізації

алгоритму отримуємо у результаті декомпозиції, тим гнучкішим буде алгоритм і тим легше можна забезпечити високу ефективність використання обладнання. Декомпозицію можна здійснювати за методом декомпозиції даних або функціональної декомпозиції.

Для синтезу високоефективних структур аналізу та синтезу зображень використовується метод функціональної декомпозиції, при якому алгоритм Φ розбивається на операції Φ_i , кожна із яких може бути реалізована операційними блоками певного рівня ієрархії. Час і спосіб виконання операції Φ_i операційним блоком є одними із основних параметрів при визначенні конвеєрного такту роботи T_k і розрядності каналів надходження даних n_k . Результатом першого етапу розробки є граф-схема алгоритму, де функціональні оператори Φ_i мають приблизно однаковий час виконання, а їх складність визначається засобами реалізації.

На етапі проектування комунікацій для конвеєрної алгоритмічної реалізації алгоритму необхідно визначити структуру каналів обміну даними між функціональними операторами Φ_i . Для чого виконується перехід від граф-схеми алгоритму до потокового графу, в якому здійснюється просторово-часове розміщення і закріплення функціональних операторів Φ_i за ярусами. Структура зв'язків у потоковому графі між функціональними операторами Φ_{jk} сусідніх ярусів визначає кількість каналів надходження даних m_j і структуру з'єднань між операційними блоками при апаратній реалізації алгоритму.

Для переходу до відображення алгоритму у вигляді ПГ необхідно його записати у вигляді матриці $n \times n$, елемент якої "1" відповідає наявності каналу зв'язку, "0" – відсутності зв'язку [5]. Матриця формується таким чином, що для кожного функціонального оператора Φ_i джерела інформації формується стрічка, яка відображає його зв'язки з іншими функціональними операторами. Якщо позначити через вектори $\overset{\cdot}{V}_{\Phi_1}, \dots, \overset{\cdot}{V}_{\Phi_n}$ відповідні стовпці матриці, то можна визначити результуючий вектор стовпець:

$$\overset{\cdot}{V}_0 = \overset{\cdot}{V}_{\Phi_1} + \overset{\cdot}{V}_{\Phi_2} + \dots + \overset{\cdot}{V}_{\Phi_n}.$$

В векторі $\overset{\cdot}{V}_0$ визначаємо номери елементів, які дорівнюють нулю, наприклад, десятий. За визначеним номером знаходимо функціональний оператор, що не має нащадків і відповідно утворює нульовий ярус, в даному випадку Φ_{10} . Далі за формулою обчислюємо:

$$\overset{\cdot}{V}_1 = \overset{\cdot}{V}_0 - \overset{\cdot}{V}_{\Phi_{10}}.$$

У векторі $\overset{\cdot}{V}_1$ знаходимо номери нульових елементів, за якими визначаємо функціональні оператори, що утворюють перший ярус. Аналогічно обчислюємо наступні вектори та визначаємо функціональні оператори, що утворюють наступні яруси.

Етапи синтезу спеціалізованих апаратних компонентів засобів аналізу та синтезу зображень.

Синтез спеціалізованих апаратних компонентів складається із наступних етапів:

- розробки алгоритмів реалізації спеціалізованих апаратних компонентів;
- визначення основних характеристик спеціалізованих апаратних компонентів;
- перехід від алгоритму до структури спеціалізованих апаратних компонентів.

При виборі та розробці алгоритмів реалізації спеціалізованих апаратних компонентів засобів аналізу та синтезу зображень враховуються вимоги R і характеристики H , але визначальним є забезпечення обмежень B . Для оцінки розроблених алгоритмів використовуються характеристики: інформаційні, операційні та точності. До інформаційних характеристик відносяться: кількість констант, вхідних, вихідних і проміжних даних, кількість каналів і їх розрядність, кількість і види операцій. Операційні характеристики дозволяють оцінити час реалізації та обчислювальну здатність. До характеристик точності алгоритму відносяться: розрядність операційних пристроїв, способи округлення.

Шляхи підвищення ефективності використання обладнання в комп'ютерних засобах аналізу та синтезу зображень. В спеціалізованих компонентах висока ефективність використання обладнання досягається за рахунок мінімізації витрат обладнання та часу обчислення [3]. Перехід від алгоритму розв'язання задачі до структури спеціалізованого компоненту формально зводиться до мінімізації витрат обладнання:

$$W_{CK} = W_{\text{ПУ}} + W_{\text{ІІ}} + W_{\text{ІІ}} + \sum_{i=1}^k W_{\text{ІІЕ}_i} m_i,$$

де W_{CK} , $W_{\text{ПУ}}$, $W_{\text{ІІ}}$, $W_{\text{ІІ}}$, $W_{\text{ІІЕ}_i}$ – витрати обладнання відповідно на реалізацію спеціалізованого компоненту, пристрою управління, інтерфейсних пристроїв, пам'яті, процесорних елементів;

k – кількість типів процесорних елементів, i -й процесорний елемент, m_i – кількість процесорних елементів i -го типу, при забезпеченні високої продуктивності.

Підвищення ефективності використання обладнання комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень можна досягнути як архітектурному, так і схемотехнічному рівнях.

На архітектурному рівні основними шляхами підвищення ефективності використання обладнання

комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень є:

- адаптації програмно-апаратних засобів до алгоритмів аналізу та синтезу зображень;
- забезпечення регулярності, модульності архітектури спеціалізованих компонентів і широкого використання стандартних елементів;
- збільшення пропускну здатності каналів вводу-виводу і розширення їх функцій;
- скорочення кількості внутрішньосистемних пересилань команд, даних і забезпечення балансу між введенням-виведенням та обчисленнями;
- суміщення в часі процесів функціонування максимальної кількості компонентів;
- використання системи макрокоманд і спеціалізованих апаратних компонентів;
- заміна програмних модулів апаратними;
- розширення використання паралельної і конвеєрної обробки та децентралізації обчислень;
- використання паралельної пам'яті для зовнішнього та внутрішнього обміну;
- просторове та функціональне розділення внутрішньої пам'яті з широким використанням різних за швидкістю і шириною доступу модулів пам'яті;
- багатоканальний доступ до пам'яті з метою забезпечення декількох звертань протягом одного командного циклу;
- гармонійне поєднання можливостей інтегральної технології з розширенням функцій пам'яті, збільшення кількості внутрішніх і зовнішніх каналів доступу та покращення параметрів модулів пам'яті (ємності, швидкодії і т.д.);
- адаптація пам'яті до структури даних і специфіки задач аналізу та синтезу зображень.

Схемотехнічний рівень підвищення ефективності використання обладнання в основному використовується при розробці спеціалізованих апаратних компонентів. На схемотехнічному рівні можна виділити такі шляхи підвищення ефективності використання обладнання:

- перехід на НВІС-технологію, застосування спеціалізованих замовних і напівзамовних НВІС, нових високопродуктивних однокристальних мікро-ЕОМ, мікропроцесорів, трансп'ютерів, мікроконтролерів;
- інтеграція на кристалі НВІС як можна більше функцій для опрацювання та зберігання даних, а також інтерфейсу для зв'язку з іншими елементами системи;
- вибір ефективних методів і алгоритмів реалізації спеціалізованих компонентів;
- зменшення розрядності операційних пристроїв, ємності пам'яті, кількості і розрядності каналів передачі даних.

Висновки

1. Розробку комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень доцільно здійснювати на основі інтегрованого підходу, який охоплює сучасну елементну базу, методи та алгоритми реалізації аналізу та синтезу зображень, архітектури сучасних комп'ютерних засобів і компонентів, враховує вимоги конкретних застосувань і ґрунтується на таких принципах побудови: змінного складу обладнання; модульності; конвеєризації та просторового паралелізму обробки даних; однорідності та регулярності архітектури; спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів та вимог конкретного застосування.

2. Проблемно-орієнтована реалізація комп'ютерних засобів аналізу і синтезу зображень передбачає поєднання універсальних і спеціальних підходів, програмних і апаратних засобів і забезпечує високу ефективність використання обладнання.

3. Для вибору комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень запропоновано використовувати критерій ефективності використання обладнання, який зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку комп'ютерним елементам за продуктивністю.

4. Основними шляхами підвищення ефективності використання обладнання при реалізації комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень є: адаптація програмно-апаратних засобів до алгоритмів аналізу та синтезу зображень; збільшення пропускну здатності каналів вводу-виводу і розширення їх функцій; скорочення кількості внутрішньосистемних пересилань команд, даних і забезпечення балансу між введенням-виведенням та обчисленнями; суміщення в часі процесів функціонування максимальної кількості компонентів; використання системи макрокоманд і спеціалізованих апаратних компонентів; розширення використання паралельної і конвеєрної обробки та децентралізації обчислень; використання паралельної пам'яті для зовнішнього та внутрішнього обміну; адаптація пам'яті до структури даних і специфіки задач аналізу та синтезу зображень; вибір ефективних методів і алгоритмів реалізації спеціалізованих компонентів; зменшення розрядності операційних пристроїв, ємності пам'яті, кількості і розрядності каналів передачі даних.

Література

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техноснава, 2006. – 1072 с.
2. Палагин А. В. Реконфигурируемые вычислительные системы / А. В. Палагин, В. Н. Опанасенко. – К.: Просвіта, 2006. – 280 с.

3. Цмоць І. Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі / Цмоць І. Г. – Львів: УАД, 2005. – 227 с.
4. Параллельная обработка информации: в 5т. / АН УССР. Физ.-мех. ин-т. Проблемно-ориентированные и специализированные средства обработки информации / А. И. Аксенов, В. В. Аристов, Е. Ю. Барзилович и др.; под ред. Б. Н. Малиновского и Грицика В. В. К.: Наукова думка, 1990. – 504 с.
5. Грушицкий Р. И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Грушицкий Р. И., Мурсаев А. Х., Угрюмов Е. П. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
6. Воеводин В. В. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
7. Немнюгин С. А. Параллельное программирование для многопроцессорных систем / С. А. Немнюгин, О. Л. Стесик. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 400 с.
8. Касьянов В. Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В. Н. Касьянов, В. А. Евстигнеев. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 1104 с.

Надійшла 21.3.2011 р.

УДК 004.891.3: 004.3

О.В. ПОМОРОВА, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, О.С. ОНИЦУК
Хмельницький національний університет

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В статті показано місце нейромережного методу оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення (НМОП) в процесі розроблення програмного забезпечення за методологією *Safety Case*, обрано архітектуру штучної нейронної мережі для реалізації НМОП, описано методику навчання та результати функціонування нейромережної складової НМОП.

In the article the location of the artificial neural net's method of design results evaluation and software quality characteristics prediction (NMEP) is demonstrated in software development process for Safety Case methodology, ANN architecture for the NMEP realization is selected, ANN training methodology and results of neural net's component functioning is described

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), методологія *Safety Case*, метрики якості та складності програмного забезпечення, штучна нейронна мережа (ШНМ), нейромережний метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення (НМОП).

Вступ

Методологія *Safety Case* (Safety computer-aided software engineering – безпечна автоматизована програмна інженерія) розвивається вже більше 20 років [1– 4]. Первинним об'єктом методології *Safety Case* є мінімізація ризиків безпеки та комерційних ризиків програмного забезпечення шляхом побудови звіту, який повинен забезпечити докази, причини, аргументи та свідчення того, що програмне забезпечення (ПЗ) є безпечним, і всі вимоги до ПЗ належним чином виконані. Наразі ця методологія стала загальноприйнятною, однак рівень її автоматизації залишається низьким.

Процес створення безпечного ПЗ пов'язаний і залежить від значної кількості документів (вимоги, стандарти, специфікації), вихідного коду, методів оцінювання ПЗ та аналізу їх результатів, результатів тестування та ступеня їх документування. Рис. 1 [5] представляє узагальнену модель методології *Safety Case*.

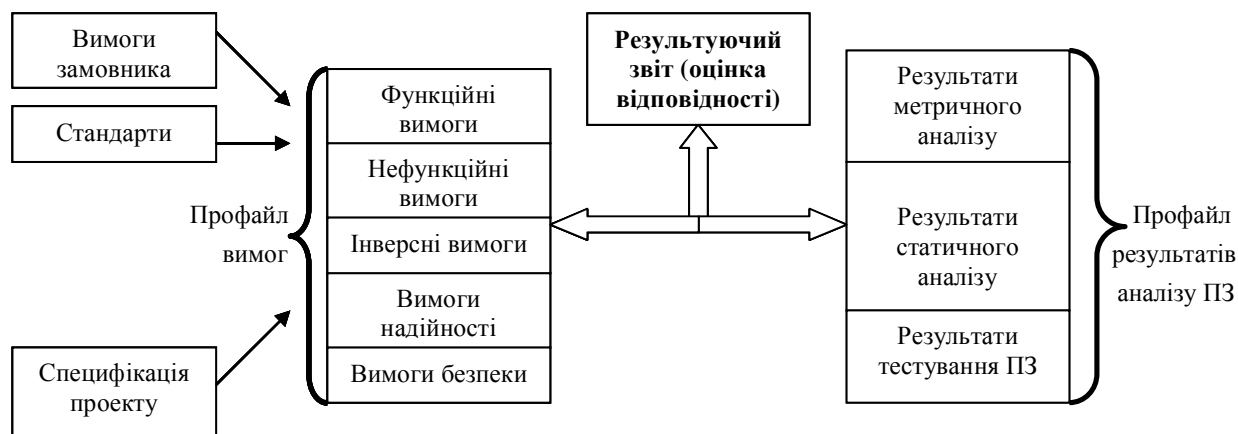


Рис. 1. Узагальнена модель методології *Safety Case*

Основні частини моделі *Safety Case*:

- профайл вимог до програмного забезпечення з врахуванням стандартів щодо розроблення ПЗ,