

УДК 004.2 (045)

Синельніков О.О.

МATHLAB ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Інститут комп'ютерних технологій Національного авіаційного університета

У статті розглядаються різні підходи до підвищення ефективності високопродуктивних обчислень в ЕОМ загалом і у високопродуктивних паралельних обчислювальних системах зокрема. Аналізується можливість застосування у таких системах коду, названого парадигматичним, з метою підвищення продуктивності та рівня достовірності результатів обчислень. Пропонується новий підхід до організації обчислювальних операцій, з урахуванням особливостей такого представлення двійкової інформації у паралельних обчислювальних системах.

Постановка проблеми. З розвитком інтегральної технології відбуваються якісні зміни топологічних та функціональних характеристик сучасних інтегральних мікросхем. Для підвищення ефективності проектування сучасних засобів високопродуктивних обчислень, використовуючи всі останні досягнення інтегральної технології, виникає потреба в пошуку та розробці нових методів та підходів, які будуть реалізовані у вигляді самостійних підсистем та включені в маршрут проектування відповідних САПР. Особливістю останніх років є використання спеціалізованих математичних пакетів в якості інструменту для розробки і наступного дослідження методів моделювання високопродуктивних обчислювальних засобів. В освітніх та науково-дослідних інститутах та організаціях найбільше поширення отримала система *MATLAB*. Ця обставина обумовлена можливістю використання вже готових математичних процедур та функцій, що дозволяє займатися відпрацюванням та дослідженнями безпосередньо реалізованого методу, не відволікаючись на написання використаних в ньому окремих математичних перетворень та обчислень.

Аналіз останніх досліджень. Практичне рішення проблеми моделювання високопродуктивних обчислювальних систем яка б одночасно була і операційним середовищем так і мовою програмування зв'язують, у першу чергу, з прикладною системою програм *MATLAB* (*The Math Works Inc.*), що дозволяє знаходити

технічні рішення задач в різних сферах людської діяльності, таких як обробка сигналів, інформатика, зв'язок, обчислювальна техніка, безпеки польотів, навігацію, радіомовлення, управління повітряним рухом літальних апаратів, автомобільну та побутову електроніку та багато іншого.

Відомо що, підвищення продуктивності обчислювальних засобів зв'язують, у першу чергу, з використанням систем та пакетів, які б забезпечували потужне обчислювальне середовище, що дозволило б виконувати обчислювальні експерименти. Завдяки системі *MATLAB* є можливість проводити багато експериментів з комп'ютерного моделювання, таких як дослідження впливу різних факторів на безпеку польотів літаків. Адже відомо, що найбільш небезпечними етапами польоту літака є зліт та посадка, до яких відносяться більш 60% всіх пригод, і лише 30% до набору висоти та зниження. Використання радіолокаційних засобів на етапі злету – посадки дуже обтяжливо. Для проведення траєкторних обчислень на початковому на кінцевому етапах польоту літальних апаратів використовуються телевізійні спостережні системи. За допомогою комп'ютерного моделювання в системі *MATLAB* було запропоновано метод, який забезпечує синтез зображення: двомірної маски літаку на основі його тримірної моделі. На відміну від інших існуючих методів *MATLAB* дозволяє визначити кутові параметри руху літака – кути пікірування, крену та курсу, та дозволяє визначити повний вектор руху літака при

траєкторних змінах. Всі обчислення дуже вимогливі до потужностей систем моделювання, що обмежені точністю траєкторних вимірів, адже похибки в вимірах не повинні перевищувати 0,5 метру. Результати дослідів в системі *MATLAB* забезпечили потужне обчислювальне середовище, яке дало можливість виконати точний обчислювальний експеримент, який достатній для практичного використання.

Ще одне призначення системи *MATLAB* відноситься до програм, які розроблені на мовах програмування *C*, *Fortran* і т.п., які не втрачають актуальність і в наш час. Вхідна та вихідна інформація цих програм, як правило, представляє собою текстові файли великих розмірів, підготовка та обробка яких потребує значних витрат, як машинного часу, так і часу спеціалістів високої кваліфікації. Завдання зменшення цього часу та залучення широкого кола користувачів вирішується шляхом розробки в середовищі *MATLAB GUI* – інтерфейсу користувача цих програм зі збереженням початкових *exe* – файлів. Такий підхід дозволяє зменшити час на переробку програм та доповнити програми первинної обробки інформації.

Методи контролю переданої інформації

В сучасних каналах зв'язку високопродуктивних обчислювальних систем все частіше використовується принцип штучного розширення спектру, який дає можливість забезпечити потаємність та перешкодостійкість переданої інформації. Застосування основних методів розширення спектру призводить до виникнення явища пакетування помилок на виході каналу зв'язку. Для ефективної боротьби з цим явищем як один з методів використовують перешкодостійке кодування, або псевдовипадкове скремблуння. Найкращі результати при використанні цих методів досягаються при моделюванні розподілення пакетних помилок в системі *MATLAB* на основі статистики в каналах зв'язку, тобто визначення ймовірностей появи помилок різної кратності. Знання таких результатів дозволяє оцінювати

ймовірність помилкового декодування при використанні кодів с заданою кодовою відстанню d в режимі виправлення помилок по мінімальній хемінговій відстані, не впроваджуючи самих процедур кодування та декодування. Аналітичний розрахунок функції кратності помилки $P(n, m)$ та функції нижньої межі помилкового декодування $P_d(n, d)$ дуже важкий та не завжди точний. Тому що, такі характеристики простіше отримати при моделюванні дискретних та напівбезперервних каналів на високопродуктивній системі у середовищі *MATLAB*. В бібліотеці елементів вбудованого пакету *Simulink* мається детектор тільки бітових помилок, тому для дослідження статичних властивостей каналів зв'язку знадобилася розробка детектора пакетних помилок. Принцип роботи детектору пакетних помилок базується на розбитті бітового потоку на виході каналу зв'язку на блоки однакової довжини n . Далі блок, який пройшов канал зв'язку порівнюється по модулю 2 з переданим блоком для визначення в прийнятому блоці помилок. Після цього виконується підрахунок кількості помилок в блоці. Відсутність помилок на довжині n означає появу помилок нульової кратності, наявність однієї помилки на довжині n говорить про появу однократної помилки, наявність двох помилок – про появу двохкратної помилки. Таким чином, на довжині n можуть з'являтися помилки кратності від 0 до n і це визначає повноту всіх можливих подій, які можуть з'явитися на довжині n . Далі окремо підраховується кількість випадків появи помилок кожної кратності від 0 до n і поділом їх на кількість переданих за час експерименту блоків та підраховуються ймовірності появи помилок різної кратності на довжині n . По результатам цих розрахунків можна визначити ймовірну довжину пакету, і відповідно, правильно обрати довжину та виправляючу здібність перешкодостійкого коду.

Основною метою статті є пошук додаткових можливостей підвищення загальної продуктивності обчис-

лювальних систем у значній мірі незалежно від їх архітектури. Звернемося до особливостей подання та зберігання інформації у високопродуктивних обчислювальних системах.

Як відзначається в [1], парафазний спосіб представлення інформації має перевагу у продуктивності над однофазним способом за рахунок виключення попереднього скидання регістра в стан "0". Розглянемо далі інші можливості, пов'язані із застосуванням парафазного коду.

В [1] встановлено, що традиційний спосіб подання двійкової інформації в ЕОМ, при якому обидві цифри двійкового розряду представлені одним тригером (взаємозалежне подання) привів до втрати природної контролездатності позиційних числень, що у свою чергу обумовило використання в ЕОМ різних надлишкових кодових побудов, що дозволяють виявляти або виправляти помилки. При такому принципі побудови апаратного контролю не може бути забезпечене безвідмовне функціонування органів контролю по наступних причинах.

Система контролю будується на елементах, по паспортній інтенсивності відмов однакових з елементами контрольованих вузлів. Енергетичні режими роботи елементів системи контролю по суті не відрізняються від режимів роботи контрольованих елементів, оскільки процедура контролю по модулю заснована на виконанні обчислювальних операцій за правилами розрахувань одночасно з виконанням контрольованих операцій. Резервування елементів контролю приводить до погіршення ряду параметрів обчислювальної системи.

Імовірність D_l одержання у обчислювальній системі безпомилкового (достовірною) результату визначається в як:

$$D_l = 1 - (1 - P_{kl} * P_{nl} * P_{ml}) * R_l, \quad (1)$$

де P_{kl} – імовірність безвідмовної роботи органів контролю; P_{nl} – імовірність охоплення контролем устаткування обчислювальної системи; P_{ml} – методична ймовірність виявлення помилок категорії l ; R_l –

імовірність виникнення помилок категорії l ($l = 1, 2, \dots, \Psi$).

З виразу (1) випливає, що проблема не може бути вирішена на основі традиційного подання цифрової інформації: із взаємозалежним поданням 0 і 1 в одному розряді одним тригером, тому що не забезпечуються умови $P_{kl} = 1, P_{nl} = 1, P_{ml} = 1$, при виконанні яких $D_l = 1$ незалежно від значень R_l , або $R_l = 0$ (що, природно, практично недосяжно). Тому що, зі збільшенням значень модуля (при контролі по модулі) імовірність P_{ml} зростає незначно й це – практично повністю компенсується неминучим при цьому зменшенням імовірності P_{kl} .

Поширимо парафазний спосіб записування та зчитування інформації (тобто, передавання) й на її зберігання. При цьому кожний i -й двійковий розряд має бути представленим двома незалежними тригерами: один відповідає цифрі 0 (нульова позиція i -го розряду), а другий – 1 (одична позиція i -го розряду). Отже, i -й розряд слова A має зберігатися у вигляді $a_{i1} \cap a_{i0}$ або $a_{i1} \cap a_{i0}$.

Повна множина категорій помилок, що можливі в i -му розряді при представленні інформації парафазним кодом:

- перша – не представлено жодної цифри;
- друга – представлено дві цифри одночасно;
- третя – представлена тільки одна цифра, але помилково.

Виявлення помилок перших двох категорій забезпечується з методичною імовірністю $P_{ml} = 1$, а третьої з імовірністю $P_{ml} = 0$. Отже вірогідність D_l цифрової інформації, як і в [1], повністю визначається імовірністю R_3 утворення помилки третьої категорії: $D_l = 1 - R_3$.

Утворення помилок третьої R_3 категорії можливо при спільному прояві помилок перших двох категорій у перебігу часу $t = a * \Delta t_k$, де Δt_k – розв'язна здатність автоматичного контролю за часом; $0 < a < 1$.

Внаслідок досить малого ступеня імовірності помилкових переходів $0 \rightarrow 1$ і

$1 \rightarrow 0$ в одному розряді за час $t = a^* \Delta t_k$ на практиці імовірність R_3 може бути визначена наближеним виразом:

$$R_3 = 0,9a^2 K_e^2 * 10^{27}.$$

Таким чином, подання інформації парафазним кодом дозволяє практично вирішити проблему автоматичного контролю обчислювальної системи. У кодових комбінаціях не виділяються контрольні й інформаційні символи, надлишкова інформація розподілена рівномірно між всіма позиціями цих комбінацій, не залежить від виду операції, представляючи можливість для охоплення контролем усієї безлічі повнорозрядних чисел. Тому можна вважати умову охоплення контролем устаткування обчислювальної системи принципово досяжним.

Розглянемо деякі особливості формування сигналів у суматорі, який працює із застосуванням парафазного коду, а також відповідні елементи пристрою.

Формування значень напівсуми в i -ому розряді відбувається відповідно до виразів:

$$Z_{i,01} = \bar{x}_{i,1} \bar{x}_{i,0} \bar{y}_{i,1} \bar{y}_{i,0} \vee \bar{x}_{i,1} x_{i,0} \bar{y}_{i,1} \bar{y}_{i,0};$$

$$Z_{i,00} = \bar{x}_{i,1} x_{i,0} \bar{y}_{i,1} \bar{y}_{i,0};$$

$$Z_{i,10} = x_{i,1} \bar{x}_{i,0} \bar{y}_{i,1} \bar{y}_{i,0},$$

де $Z_{i,01}$, $Z_{i,00}$ і $Z_{i,10}$ – значення напівсуми в i -ому розряді, причому $Z_{i,01}$ – “1” в i -ому розряді і перенос “0” в $i+1$ -й, $Z_{i,00}$ – “0” у i -ому розряді і перенос “0” в $i+1$ -й, $Z_{i,10}$ – “0” в i -ому розряді і перенос “1” в $i+1$ -й;

$x_{i,1} \bar{x}_{i,0}$ – сигнали високого рівня з “одичного” і “нульового” виходів тригера, що представляє цифру “1” в i -ому розряді операнда X ; $x_{i,0} \bar{x}_{i,1}$ – сигнали високого рівня з “одичного” і “нульового” виходів тригера, що представляє цифру “0” в i -ому розряді операнда X ; значення сигналів $\bar{y}_{i,1} \bar{y}_{i,0}$ і $\bar{y}_{i,1} \bar{y}_{i,0}$, що представляють операнд Y – аналогічні.

Формування значень переносів “1” у тетраді двійкових розрядів суматора відбувається відповідно до виразів:

$$\Pi_i = Z_{i-1,01} Z_{i-2,01} Z_{i-3,01} \Pi_{i-4} \vee Z_{i-1,01} Z_{i-2,01} Z_{i-3,10} \vee Z_{i-1,01} Z_{i-2,10} \vee \dots \vee (Z_{i-1,10} Z_{i,10});$$

$$\Pi_{i-1} = Z_{i-2,01} Z_{i-3,01} \Pi_{i-4} \vee Z_{i-2,01} Z_{i-3,10} \vee (Z_{i-2,10} Z_{i-1,10});$$

Вираз для $i+1$ -го розряду, з урахуванням необхідності, при складанні повнорозрядних операндів, узгодження даної тетради двійкових розрядів з наступною, більш старшою:

$$\Pi_{i+1} = Z_{i,01} Z_{i-1,01} Z_{i-2,01} Z_{i-3,01} \Pi_{i-4} \vee Z_{i,01} Z_{i-1,01} Z_{i-2,01} Z_{i-3,10} \vee \dots \vee Z_{i,01} Z_{i-1,01} Z_{i-2,10} \vee \vee Z_{i,01} Z_{i-1,10} \vee (Z_{i,10} Z_{i+1,10}),$$

де Π_i – перенос “1” в i -й розряд суми з множини молодших розрядів.

Висновки

Аналіз властивостей парафазного коду і структур високопродуктивних обчислювальних пристроїв показує, що функції контролю можуть виконуватися одночасно з процесом обчислення, не додаючи непродуктивних часових витрат. Можливість контролю кожного розряду операнду окремо дозволяє планувати процес обчислення поразрядно, або частками операндів, що сприяє скороченню апаратних витрат. Використання та подання інформації парафазним кодом дозволяє практично вирішити проблему автоматичного контролю високопродуктивної обчислювальної системи. У кодових комбінаціях не виділяються контрольні й інформаційні символи, надлишкова інформація розподілена рівномірно між всіма позиціями цих комбінацій, не залежить від виду операції, представляючи можливість для охоплення контролем усієї безлічі повнорозрядних чисел. Тому можна вважати умову охоплення контролем устаткування обчислювальної системи принципово досяжним, що в свою чергу надає можливості для застосування практичного вирішення проблеми підвищення продуктивності обчислювальних систем.

Список літератури

1. Гуменюк В. А., Жуков Н. А., Гуменюк А. В. Применение неразделимых кодов «М из N» в высокопроизводительных параллельных вычислительных системах // Проблемы информатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2004. – №11. – С. 256-263.