

УДК 681.3.07

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУПЕРСКАЛЯРНОСТІ ТА КЕШ-ПАМ'ЯТІ ПРОДЕШИФРОВАНИХ КОМАНД СУЧАСНИХ ПРОЦЕСОРІВ

Недзельський Д.О., Костиця Р.Г.

AN INVESTIGATION OF PERFORMANCE EFFICIENCY OF THE DECODE STEP IN MODERN SUPERSCALAR CPUS

Nedzelskyi D.A, Kostyria R.G.

В статті досліджена ефективність підсистеми генерації команд сучасних конвеєрних ядер процесорів при використанні таких структурних методів збільшення продуктивності як суперскалярність і кеш-пам'ять продешифрованих команд. Розроблена модель підсистеми генерації команд при виконанні програм, які складаються з обчислювальних команд та команд переходів різного типу. Для 4-х варіантів структури підсистеми генерації команд (з / без суперскалярного і з / без кеш-пам'яті продешифрованих команд): отримано аналітичні вирази для теоретичних продуктивностей підсистем генерації команд; виконано порівняння 4-х варіантів структури в залежності від різних параметрів як структури підсистем генерації команд, так і властивостей програм. Варіант структури підсистеми генерації команд доцільно вибрати виходячи з продуктивностей різних варіантів структур підсистем генерації команд і вартості реалізації цих варіантів. Рис. 1, табл. 4, джерел 5.

Ключові слова: процесор, ядро, конвеєр генерації команд, перехід, ефективність, суперскалярність, кеш-пам'ять продешифрованих команд.

Вступ. Нині в ядрах сучасних процесорів використовуються різноманітні методи збільшення продуктивності, такі як: максимально можливі частоти; конвеєрність; значна кількість спеціалізованих функціональних пристроїв та буферів різного розміру; передбачення переходів; виконання команд поза чергою; суперскалярність; кеш-пам'ять продешифрованих команд; віртуальна багатопоточність та ряд інших.

Сукупність перших етапів конвеєра ядра процесора, які виконують функції по читанню команд з підсистеми пам'яті, буферуванні їх, «розмітці» (якщо це необхідно), попередньому й остаточному дешифруванню утворює підсистему генерації команд. Подальші етапи конвеєра команд ядра виконують продешифровані команди.

Вплив деяких методів збільшення продуктивності ядер розглянутий в роботах [1], [2], [3].

Зокрема, в роботі [1] приведена методика та оцінки коефіцієнтів використання підсистеми генерації команди та підсистеми виконання команд в

найсприятливіших умовах роботи конвеєрного ядра за відсутності «перешкод» для будь-яких значень: розміру буфера готових для виконання команд; коефіцієнтів навантаження функціональних пристроїв; типів програм. Навіть за відсутності «перешкод» коефіцієнти використання спеціалізованих функціональних пристроїв далекі від своїх граничних значень.

В роботі [2] досліджені ефективності деяких структурних рішень по зменшенню негативного впливу команд умовних переходів.

В роботі [3] розроблена модель підсистеми генерації команд при виконанні програм, що складаються з обчислювальних команд і команд переходів різного типу. Також розроблена методика визначення ефективності реальної підсистеми генерації команд залежно від частоти команд переходів, вірогідності переходу і від деяких структурних параметрів ядра процесора.

Роботи по дослідженню впливу суперскалярності, кеш-пам'яті продешифрованих команд на продуктивність підсистем генерації команд залежно від різних параметрів як структури підсистеми генерації команд, так і характеристик виконуваних програм авторами невідомі.

Під суперскалярністю розуміється здатність підсистеми генерації команд кожного такту генерувати (дешифрувати) декілька команд одночасно.

Мета статті. Розробка моделі, методики та аналітичних виразів оцінки ефективності різних варіантів структури підсистеми генерації команд з/без суперскалярності та кеш-пам'яті продешифрованих команд залежно від параметрів як структури ядра, так і характеристик виконуваних програм.

Основна частина. Модель ядра процесора. Для цілей дослідження реальна структура ядра процесора представлена у вигляді моделі, що складається з 2 фаз, - підсистеми генерації команд і підсистеми виконання підготовлених команд з буфером між ними (рис. 1). Буфер може бути як звичайним буфером, так і кеш-пам'яттю продешифрованих команд.



Рис. 1. Структура моделі ядра процесора

Таблиця 1

Параметри програм і досліджуваних структур підсистеми генерації команд

Параметр	Опис
ω_{Π}	вірогідність того, що чергова команда програми це команда переходу будь-якого типу (чи то це команда безумовного переходу, чи то це команда умовного переходу)
$1 - \omega_{\Pi}$	вірогідність того, що чергова команда програми це команда, яка виконується в підсистемі виконання команд (обчислювальна команда)
q	вірогідність того, що перехід, визначений командою переходу, буде виконаний і буде здійснено перезавантаження конвеєра генерації команд
$1 - q$	вірогідність того, що перехід, визначений командою переходу, не буде виконаний і перезавантаження конвеєра генерації команд не буде
S	кількість команд, що генеруються підсистемою генерації команд в одному такті. Якщо $S = 1$, то в кожному такті генерується одна команда
A	час перезавантаження конвеєра генерації команд в результаті виконання команди переходу за відсутності в структурі ядра кеш-пам'яті продешифрованих команд (КДК)
D	час (в тактах) перезавантаження конвеєра генерації команд в результаті виконання команди переходу за наявності в структурі ядра КДК
B	час (в тактах) генерації команд для структур ядра без КДК
B / S	B / S - час (в тактах) генерації однієї команди з пакету для структур ядра з суперскалярністю $S > 1$ і без КДК
C	час (в тактах) генерації команди при її наявності в КДК
C / S	час (в тактах) генерації однієї команди з пакету за наявності команди в КДК (для структур ядра з суперскалярністю $S > 1$)

В роботі досліджуються теоретичні (пікові) продуктивності 4-х структур підсистеми генерації команд при виконанні наступних умов:

- в структурах ядер усіх варіантів є блок передбачення переходів;
- реалізований конвеєрний принцип;
- ширина і розміри всіх проміжних буферів між етапами підсистеми генерації команд достатньої величини;
- буфер між підсистемами моделі ядра необмеженого розміру. Це дозволяє виключити з дослідження продуктивності підсистеми генерації команд структуру і продуктивність підсистеми виконання команд і її вплив на продуктивність підсистеми генерації команд.
- досліджувані програми виконуються в найбільш сприятливих з точки зору продуктивності умовах (зокрема, вся необхідна інформація знаходиться в кеш-пам'ятях ядра);
- на вхід підсистеми генерації команд поступає нескінченна послідовність команд програми.

Параметри програм і досліджуваних структур підсистеми генерації команд ядра процесора приведені в таблиці 1.

Досліджувані варіанти структур підсистеми генерації команд

Варіант 1. Підсистема генерації команд без суперскалярності та без кеш-пам'яті продешифрованих команд ($S = 1$, немає КДК).

Це простий варіант структури підсистеми генерації команд. У підсистемі генерації команд є тільки один дешифратор команд. Чергова команда читається з підсистеми пам'яті (як правило з кешу команд L1К). Продешифрована команда заноситься в буфер підсистеми виконання команд.

Варіант 2. Підсистема генерації команд без суперскалярності, але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд ($S = 1$, є КДК).

В ядрі процесора є кеш-пам'ять продешифрованих команд і тільки один дешифратор команд. Чергова порція командної інформації читається з підсистеми пам'яті (як правило з кеша команд L1К). Продешифрована команда, заноситься в КДК.

Варіант 3. Підсистема генерації команд з суперскалярністю, але без кеш-пам'яті продешифрованих команд ($S > 1$, немає КДК).

В ядрі процесора немає кеша продешифрованих команд і є S дешифраторів команд. Чергова порція командної інформації (пакет) читається з підсистеми пам'яті (як правило з кеша команд L1К).

Дешифрується необхідною кількістю дешифраторів і пакет готових команд заноситься в буфер готових до виконання команд.

Варіант 4. Підсистема генерації команд з суперскалярністю і з кеш-пам'яттю продешифрованих команд ($S > 1$, є КДК).

Це найбільш складний варіант структури ядра. В ядрі процесора є кеш-пам'ять продешифрованих команд і S дешифраторів команд. Чергова порція командної інформації (пакет) читається з підсистеми пам'яті (як правило з кеша команд L1K) і потім дешифрується S дешифраторами ($S > 1$). Пакет продешифрованих команд заноситься в КДК.

Визначення продуктивностей підсистеми генерації команд

Під продуктивністю підсистеми генерації команд розуміється величина зворотна середньому часу генерації однієї команди.

Варіант 1. Підсистема генерації команд без суперскалярності і без кеш-пам'яті продешифрованих команд ($S = 1$, немає КДК).

Середній час генерації команди

$$t_{КОМ} = (1 - \omega_{\Pi}) * B + \omega_{\Pi} * [q * (A + B) + (1 - q) * B]$$

Після спрощення

$$t_{КОМ} = B + \omega_{\Pi} * q * A.$$

Продуктивність першого варіанту структури підсистеми генерації команд

$$PP_{ВАР1} = \frac{1}{t_{КОМ}} = \frac{1}{B + \omega_{\Pi} * q * A}.$$

Варіант 2. Підсистема генерації команд без суперскалярності, але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд ($S = 1$, є КДК).

Середній час генерації команди

$$t_{КОМ} = (1 - \omega_{\Pi}) * [(1 - P_{КДК}) * B + P_{КДК} * C] + \omega_{\Pi} * \{ [q * [(1 - P_{КДК}) * (A + B) + P_{КДК} * D] + (1 - q) * [(1 - P_{КДК}) * B + P_{КДК} * C]] \}$$

Після перетворення

$$t_{КОМ} = P_{КДК} * C + (1 - P_{КДК}) * (B + \omega_{\Pi} * q * A)$$

Продуктивність другого варіанту структури підсистеми генерації команд

$$PP_{ВАР2} = \frac{1}{t_{КОМ}} = \frac{1}{P_{КДК} * C + (1 - P_{КДК}) * (B + \omega_{\Pi} * q * A)}$$

Варіант 3. Підсистема генерації команд з суперскалярністю, але без кеш-пам'яті продешифрованих команд ($S > 1$, немає КДК).

Середній час генерації команди

$$t_{КОМ} = (1 - \omega_{\Pi}) * B / S + \omega_{\Pi} * [q * (A + B / S) + (1 - q) * B / S]$$

Після перетворень

$$t_{КОМ} = (1 - \omega_{\Pi}) * B / S + \omega_{\Pi} * (q * A + B / S)$$

$$t_{КОМ} = B / S + \omega_{\Pi} * q * A$$

Продуктивність третього варіанту структури підсистеми генерації команд

$$PP_{ВАР3} = \frac{1}{t_{КОМ}} = \frac{1}{B / S + \omega_{\Pi} * q * A}.$$

Варіант 4. Підсистема генерації команд з суперскалярністю та з кеш-пам'яттю продешифрованих команд ($S > 1$, є КДК).

Середній час генерації команди

$$t_{КОМ} = (1 - \omega_{\Pi}) * [(1 - P_{КДК}) * B / S + P_{КДК} * C / S] + \omega_{\Pi} * \{ [q * [(1 - P_{КДК}) * (A + B / S) + P_{КДК} * (D + C / S)] + (1 - q) * [(1 - P_{КДК}) * B / S + P_{КДК} * C / S]] \}$$

Після перетворень

$$t_{КОМ} = P_{КДК} * C / S + (1 - P_{КДК}) * B / S + \omega_{\Pi} * q * [(1 - P_{КДК}) * A + P_{КДК} * D]$$

Продуктивність цього варіанту структури підсистеми генерації команд

$$PP_{ВАР4} = \frac{1}{t_{КОМ4}} = \frac{1}{P_{КДК} * C / S + (1 - P_{КДК}) * B / S + \omega_{\Pi} * q * [(1 - P_{КДК}) * A + P_{КДК} * D]}$$

Чи

$$PP_{ВАР4} = \frac{S}{P_{КДК} * C + (1 - P_{КДК}) * B + S * \omega_{\Pi} * q * [(1 - P_{КДК}) * A + P_{КДК} * D]}$$

Діапазони зміни параметрів у виразах для продуктивності

Частота команд переходу ω_{Π} визначається виключно типом виконуваної програми. Однією з поширених команд переходів є команда перевірки завершення циклу і перехід на початок циклу в переважній більшості випадків.

Довжина циклу (кількість команд в циклі) може змінюватися в широких межах - від одиниць до декількох десятків і більше.

Для дослідження вибраний діапазон від 0.05 до 0.20, що еквівалентно кількості команд в циклі від 20 до 5.

Вірогідність наявності продешифрованих команд в кеш-пам'яті продешифрованих команд за визначенням вірогідності

$$P_{КДК} = \frac{N_{\text{вдалих_звернень}}}{N_{\text{звернень}}},$$

де: $N_{\text{вдалих_звернень}}$ - кількість звернень, коли продешифровані команди є в кеш-пам'яті продешифрованих команд;

$N_{\text{звернень}}$ - загальна кількість звернень в кеш-пам'яті продешифрованих команд.

Якщо в циклі є k команд, а сам цикл виконується n разів, то

$$P_{КДК} = \frac{(n-1) * k}{n * k} = \frac{n-1}{n}.$$

При досить великих значеннях n $q \rightarrow 1$, і чим більше n , тим менша похибка. Для дослідження вибраний діапазон $P_{КДК}$ від 0.99 до 0.90, що еквівалентно кількості циклів від 10 до 100.

Вірогідність q виконання переходу командою переходу за визначенням вірогідності

$$q = \frac{N_{\text{виконаних_переходів}}}{N_{\text{переходів}}},$$

де: $N_{\text{виконаних_переходів}}$ - кількість виконаних переходів в початок циклу;

$N_{\text{переходів}}$ - загальна кількість команд переходів в циклі.

Якщо цикл виконується n разів, то

$$q = \frac{(n-1)}{n}.$$

При досить великих значеннях n $P_{КДК} \rightarrow 1$, і чим більше n , тим менша похибка. Оскільки

$$P_{КДК} = \frac{n-1}{n} \text{ і } q = \frac{(n-1)}{n},$$

то для дослідження вибрані діапазони зміни $P_{КДК}$ та q від 0.99 до 0.90, що еквівалентно кількості циклів від 10 до 100.

Діапазон параметра A (це час перезавантаження конвеєра генерації команд в результаті виконання команди переходу) - від 6 до 4 тактів залежно від структурних особливостей конвеєра генерації команд.

Діапазон параметра B (це час генерації команд дешифратором за відсутності кеш-пам'яті продешифрованих команд або відсутності продешифрованої команди в кеш-пам'яті продешифрованих команд) вибраний 1 або 2 такти залежно від структурних особливостей конвеєра генерації команд.

Діапазон параметра C - 1 такт.

Діапазон зміни коефіцієнта суперскалярності $S = 1, 2, 3, 4$.

Діапазон параметра D - 1, 2 такти.

Порівняння варіантів

Для порівняння різних варіантів структур підсистеми генерації команд використано відношення їх продуктивностей

$$R_{ij} = \frac{PP_i}{PP_j}.$$

Порівняння варіантів 2 і 1

Відношення продуктивностей варіантів структури з кеш-пам'яттю продешифрованих команд і без неї за відсутності суперскалярності дає формулу

$$R_{21} = \frac{PP_2}{PP_1} = \frac{B + \omega_{\Pi} * q * A}{P_{КДК} * C + (1 - P_{КДК}) * (B + \omega_{\Pi} * q * A)}$$

Після перетворень

$$R_{21} = \frac{B / C + \omega_{\Pi} * q * A / C}{P_{КДК} + (1 - P_{КДК}) * (B / C + \omega_{\Pi} * q * A / C)}$$

Точні і наближені значення R_{21} залежно від значень параметрів B / C ; A / C ; $P_{КДК}$; ω_{Π} ; q приведені в таблиці 2.

Висновки

1. $R_{21} > 1$ при будь-яких значеннях параметрів. Це означає, що варіант структури без суперскалярності але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд, більш продуктивний, що підтверджує інтуїтивні припущення про те, що ускладнення структури повинне забезпечувати збільшення продуктивності.

2. Для порівняння варіантів 2 і 1 для варіантів програм з $P_{КДК}$ близьким до 1 в першому наближенні можна використати вираз

$$R_{21} \approx B / C + \omega_{\Pi} * q * A / C.$$

Таблиця 2

Залежності R_{21} від параметрів B/C ; A/C ; $P_{КДК}$; $\omega_{П}$; q

$\omega_{П}$	q	$P_{КДК}$	A/C	B/C	Точне R_{21}	Приблизне R_{21}	Похибка (%)
0.05	0.99	0.99	6	1	1.303	1.297	0.47
	0.95	0.95	6	1	1.328	1.285	3.24
	0.90	0.90	6	1	1.340	1.270	5.22
	0.99	0.99	4	1	1.196	1.198	0.17
	0.95	0.95	4	1	1.186	1.190	3.37
	0.90	0.90	4	1	1.175	1.180	4.26
0.10	0.99	0.99	6	1	1.585	1.594	0.57
	0.95	0.95	6	1	1.526	1.570	2.88
	0.90	0.90	6	1	1.461	1.540	5.41
	0.99	0.99	4	2	2.364	2.396	1.35
	0.95	0.95	4	2	2.226	2.380	6.92
	0.90	0.90	4	2	2.078	2.360	13.58
0.20	0.99	0.99	6	1	2.162	2.188	1.20
	0.95	0.95	6	1	2.125	2.140	7.06
	0.90	0.90	6	1	1.877	2.080	10.81
	0.99	0.99	4	2	2.743	2.792	1.79
	0.95	0.95	4	2	2.537	2.760	9.18
	0.90	0.90	4	2	2.321	2.720	17.2

3. Значення показника ефективності варіанту 2 в порівнянні з варіантом 1 залежить головним чином від співвідношення параметрів B та C . Параметри A , $\omega_{П}$, q впливають значно менше.

Порівняння варіантів 3 і 1

Якщо порівняти продуктивності варіантів структури 3 і без суперскалярності, але без кеш-пам'яті продешифрованих команд, то отримаємо формулу

$$R_{31} = \frac{PP_3}{PP_1} = \frac{B + \omega_{П} * q * A}{B/S + \omega_{П} * q * A} = \frac{1 + \omega_{П} * q * A/B}{1/S + \omega_{П} * q * A/B}$$

Граничне значення показника ефективності R_{31} при прагненні показника суперскалярності S до ∞

$$\lim_{S \rightarrow \infty} R_{31} = \frac{B + \omega_{П} * q * A}{B/S + \omega_{П} * q * A} = 1 + \frac{1}{\omega_{П} * q * A/B}$$

Значення R_{31} , залежно від параметрів A/B ; $\omega_{П}$; q ; S приведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Залежності коефіцієнта R_{31} від параметрів A/B ; $\omega_{П}$; q ; S

$\omega_{П}$	q	S	A/B	R_{31}
0.05	0.99	2	6	1.627
		3	6	2.058
		4	6	2.371
		2	4	1.716
		3	4	2.255
		4	4	2.674

Висновки

1. Оскільки $S > 1$, то чисельник R_{31} завжди більший 1. Це означає, що реалізація суперскалярності навіть в мінімальному вигляді збільшує теоретичну продуктивність підсистеми генерації команд.

2. Збільшення коефіцієнта суперскалярності трохи збільшує теоретичну продуктивність підсистеми генерації команд без кеш-пам'яті продешифрованих команд.

3. Граничне значення показника ефективності R_{31} при прагненні показника суперскалярності S до ∞ визначається в основному значеннями параметрів A/B ; $\omega_{П}$; q .

$$\lim_{S \rightarrow \infty} R_{31} = 1 + \frac{1}{\omega_{П} * q * A/B}$$

Порівняння варіантів 3 і 2

Відношення продуктивностей варіантів структури з суперскалярністю і без кеш-пам'яті продешифрованих команд і без суперскалярності, але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд дає таке

$$R_{32} = \frac{PP_3}{PP_2} = \frac{P_{КДК} * C + (1 - P_{КДК}) * (B + \omega_{П} * q * A)}{B/S + \omega_{П} * q * A}$$

Після перетворення

$$R_{32} = \frac{P_{КДК} + (1 - P_{КДК}) * (B/C + \omega_{П} * q * A/C)}{B/(C * S) + \omega_{П} * q * A/C}$$

Для порівняння варіантів 3 і 2 при виконанні програм з $P_{КДК}$ близьким до 1 можна використати наближений вираз

$$R_{32} \approx \frac{S}{B/C + S * \omega_{\Pi} * q * A/C}$$

Висновки

1. Варіант структури з суперскалярністю і без кеш-пам'яті продешифрованих команд продуктивніший за варіант структури без суперскалярності, але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд.

2. R_{32} монотонно зростає від мінімального значення, менше ніж 1 при $S = 1$, до максимального значення при $S = \infty$

$$\lim_{S \rightarrow \infty} R_{32} = \frac{P_{КДК} + (1 - P_{КДК}) * (B/C + \omega_{\Pi} * q * A/C)}{\omega_{\Pi} * q * A/C}$$

Максимальне значення R_{32} не залежить від значення коефіцієнта суперскалярності S .

3. При вірогідності $P_{КДК}$ близької до 1 для порівняння варіантів 3 і 2 можна використати наближений вираз

$$R_{32} \square \frac{S}{B/C + S * \omega_{\Pi} * q * A/C}$$

і його граничне значення

$$\lim_{S \rightarrow \infty} R_{32} = \frac{1}{\omega_{\Pi} * q * A/C}$$

Наприклад, при $B/C = 1$, $A/C = 6$, $\omega_{\Pi} = 0.05$ и $q = 1$

$$R_{32} = \frac{1}{1/S + 0.3} \text{ і якщо:}$$

$$S = 1 - R_{32} = 0.769 ; S = 2 - R_{32} = 1.250 ;$$

$$S = 3 - R_{32} = 1.579 ; S = 4 - R_{32} = 1.818 ;$$

$$S = \infty - R_{32} = 3.333 .$$

4. При реалізації варіанту структури з суперскалярністю, але без кеш-пам'яті продешифрованих команд слід обережно вибирати коефіцієнт суперскалярності S . S більше оптимального значення не забезпечує істотного приросту продуктивності.

Порівняння варіантів 4 і 1

Відношення продуктивностей варіантів структури з суперскалярністю і кеш-пам'яттю продешифрованих команд, і без суперскалярності і без кеш-пам'яті продешифрованих команд, дає таке

$$R_{41} = \frac{PP_4}{PP_1} = \frac{S * (B + \omega_{\Pi} * q * A)}{P_{КДК} * C + (1 - P_{КДК}) * B + S * \omega_{\Pi} * q * [(1 - P_{КДК}) * A + P_{КДК} * D]}$$

Після перетворень

$$R_{41} = \frac{S * (B/C + \omega_{\Pi} * q * A/C)}{P_{КДК} * (1 + S * \omega_{\Pi} * q * D/C) + (1 - P_{КДК}) * (B/C + S * \omega_{\Pi} * q * A/C)}$$

При вірогідності $P_{КДК}$ близької до 1 для порівняння варіантів 4 і 1 можна використати наближений вираз

$$R_{41} \leq \frac{B/C + \omega_{\Pi} * q * A/C}{1/S + \omega_{\Pi} * q * D/C}$$

Граничне значення відношення R_{41} буде таке

$$\lim_{S \rightarrow \infty} R_{41} = \frac{B/C + \omega_{\Pi} * q * A/C}{\omega_{\Pi} * q * D/C}$$

У виразі для R_{41} добре видно вклади в підвищення продуктивності коефіцієнта суперскалярності (чим більший коефіцієнт S , тим більший коефіцієнт R_{41}) і кеш-пам'яті продешифрованих команд (чим більше відношення B/C і A/C , тим більше вплив кеш-пам'яті продешифрованих команд).

Деякі значення R_{41} залежно від значень параметрів приведені в таблиці 4.

Висновки

1. Реалізація суперскалярності в поєднанні з кеш-пам'яттю продешифрованих команд істотно збільшує теоретичну продуктивність підсистеми генерації команд в порівнянні з найпростішим варіантом структури без суперскалярності та без кеш-пам'яті продешифрованих команд. $R_{41} > 1$ при будь-яких значеннях параметрів.

2. Ефективність структури підсистеми підготовки команд з суперскалярністю у поєднанні з кеш-пам'яттю продешифрованих команд, монотонно зростає від мінімального значення при $S = 1$ до граничного значення

$$\lim_{S \rightarrow \infty} R_{41} = \frac{B/C + \omega_{\Pi} * q * A/C}{\omega_{\Pi} * q * D/C}$$

Наприклад, при $B/C = 1$, $A/C = 6$, $\omega_{\Pi} = 0.05$ і $q = 1$ $\lim_{S \rightarrow \infty} R_{41} = 26$.

Таблиця 4

Значення R_{41} залежно від значень параметрів B/C ; A/C ; D/C ; S ; ω_{II} ; q

ω_{II}	q	S	B/C	A/C	D/C	Точне R_{41}	Приблизне R_{41}	Похибка R_{41}
0.05	0.99	1	1	6	1	1.233	1.236	0.24
		2	1	6	1	2.350	2.360	0.43
		3	1	6	1	3.366	3.386	0.59
		4	1	6	1	4.294	4.331	0.86
		1	1	4	1	1.140	1.142	0.17
		2	1	4	1	2.174	2.180	0.28
		3	1	4	1	3.117	3.129	0.39
		4	1	4	1	3.980	4.000	0.50

4. Граничне значення показника ефективності R_{41} при прагненні показника суперскалярності S до ∞ визначається в основному значеннями параметрів ω_{II} , q , A/D , B/D .

5. При вірогідності $P_{КДК}$ і q близьких до 1 (особливо при виконанні циклічних ділянок програм з великою кількістю циклів), для порівняння варіантів 4 й 1 можна використати наближений вираз

$$R_{41} \leq \frac{B/C + \omega_{II} * q * A/C}{1/S + \omega_{II} * q * D/C}.$$

Висновок

1. Розроблена модель і методика визначення ефективностей варіантів структури підсистеми генерації команд при виконанні програм, що складаються з обчислювальних команд і команд переходів різного типу, дозволяють отримати аналітичні вирази співвідношення теоретичних продуктивностей чотирьох варіантів структур в залежності: від частоти команд переходу; вірогідності виконання переходу; вірогідності наявності продешифрованої команди в кеш-пам'яті продешифрованих команд (якщо вона є в структурі ядра); значення коефіцієнта суперскалярності (якщо суперскалярність реалізована в ядрі); часу параметрів перезавантаження конвеєра генерації команд; часу дешифрування команди з кеш-пам'яті продешифрованих команд.

2. Виходячи зі значень продуктивностей різних варіантів структур підсистем генерації команд в ядрах процесорів і вартості їх реалізації можливий вибір структури підсистеми генерації команд близькою до оптимальної.

3. Дослідження реальних продуктивностей різних варіантів структур підсистем генерації команд в ядрах процесорів є завданням подальших досліджень.

Література

1. Недзельский Д.А. Исследование эффективности одноядерных суперскалярных вычислительных систем. Луганск. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. - 2011. - №15 (169) Ч. 2. - с. 133-140.
2. Недзельский Д.А. Исследование и анализ эффективности структурных методов компенсации влияния команд переходов на производительность конвейерных ядер процессоров. Луганск: Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2013. - №16 (205), Частина 2. - С.174-181.
3. Недзельский Д.А. Исследование эффективности подсистемы генерации команд в ядрах современных процессоров. Луганск: Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2017. - №8 (238), - С.64-66.
4. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2011. – 688 с.
5. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. - М.: Мир, 1979. - 600с.

References

1. Nedzelskij D.A. Reaseach of efectivness one core syperskalar computers. Announcer of the South Ukraine University of V. Dal. - 2011. - №15 (169) Ch. 2. - pp. 133-140.
2. Nedzelsky D.A. Research and analysis of the effectiveness of structural methods for compensating the influence of the teams of transitions on the performance of pipeline processors. Announcer of the South Ukraine University of V. Dahl. 2013. - No. 16 (205), Part 2. - P.174-181.
3. Nedzelsky D.A. Research of the efficiency of the command generating subsystem in modern processor cores. Announcer of the South Ukraine University of V. Dahl. 2017. - No. 8 (238). - P.64-66.
4. Orlov S.A., Cilker B.YA. Ordanization EVM and systems. 2nd Edition. SPb.:Piter, 2011. – 688 p.
5. Klienrock L. Computer systems with queens. - M.: Mir, 1979. – 600p.

Недзельський Д.А., Костыря Р.Г. Исследование эффективности суперскалярности и кэш-памяти декодированных команд современных процессоров

В статье исследуется эффективность подсистемы генерации команд для современных конвейерных процессорных ядер с использованием таких структурных методов повышения производительности, как суперскалярная и кэш-память декодированных команд. Разработана модель подсистемы генерации команд для выполнения программ, состоящих из вычислительных команд и команд перехода различных типов. Для 4 вариантов структуры подсистемы генерации команд (с / без суперскалярной и с / без кэш-памяти декодированных команд): получены аналитические выражения для теоретической производительности подсистем генерации команд; сравнение четырех вариантов структуры выполняется в зависимости от различных параметров, таких как структура подсистемы генерации команд и свойства программ. Целесообразно выбрать вариант структуры подсистемы генерации команд на основе производительности различных вариантов реализации этих вариантов. Рис. 1, табл. 4, библиограф. 5.

Ключевые слова: процессор, ядро, конвейер генерации команд, переход, эффективность, суперскаляр, кэш-память декодированных команд.

Nedzelskyi D.A., Kostyria R.G. An investigation of performance efficiency of the decode step in modern superscalar cpus

In the article, the efficiency of the subsystem for generation of commands for modern pipelined processor cores is studied using such structural methods of increasing the performance as superscalar and cache memory of the decoded commands. A model of the command generation subsystem is developed for the execution of programs consisting of computational commands and transition commands of various types. For 4 variants of the structure of the command generation sub-system (with / without superscalar and with / without cache memory of the decoded commands): analytical expressions for the theoretical performance of the command generation sub-systems are obtained; a comparison of 4 variants of the structure is performed depending on various parameters as the structure of the command generation subsystem and the properties of the programs. It is expedient to choose the variant of the structure of the command generation sub-system based on the performance of various variants of the structures of the command generation subsystems and the cost of implementing these variants. Fig. 1, table 4, references 5.

Keywords: processor, kernel, conveyer of generation of commands, transition, efficiency, superscalar, cache memory of the prodecoded commands.

Недзельський Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії факультету інформаційних технологій та електроніки Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.

E - mail: nedzelsky946@gmail.com

Костыря Роман Геннадійович – магістрант факультету інформаційних технологій та електроніки Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. E - mail: romannkost@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Смолій В.М.**

Стаття подана 12.08.2018