

УДК 681.3.07

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДСИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ КОМАНД В ЯДРАХ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ

Недзельский Д.А.

## EFFICACY OF THE COMMAND GENERATING SUBSYSTEM IN MODERN PROCESSOR CORES

Nedzelskyi D.A

*В статье рассмотрены особенности современных конвейерных ядер процессоров. Разработана модель подсистемы подготовки команд при выполнении программ, состоящих из вычислительных команд и команд переходов различного типа, а также методика определения эффективности реальной подсистемы подготовки команд в сравнении с идеальной. Получены аналитические выражения. Исследована эффективность подсистемы подготовки команд в зависимости от соотношения времени перезагрузки конвейера после перехода и времени генерации при отсутствии переходов, частоты команд переходов, вероятности совершения перехода. Рис. 1, табл. 1, ист. 4.*

**Ключевые слова:** процессор, ядро, конвейер команд, эффективность, переход

**Введение.** В настоящее время в ядрах современных процессоров используются разнообразные методы увеличения производительности, такие как:

- максимально возможные частоты;
- конвейерность;
- значительное количество специализированных функциональных устройств и буферов различного размера;
- предсказание ветвлений;
- выполнение команд вне очереди;
- суперскалярность;
- виртуальная многопоточность и ряд других.

Длина реальных конвейеров команд в ядрах современных процессоров составляет не менее 10 этапов. Ряд первых этапов конвейера ядра выполняет функции по чтению команд из подсистемы памяти, буферированию их, дешифрации и подготовке к выполнению. Совокупность этих этапов образует подсистему подготовки команд. Последующие этапы конвейера команд ядра выполняют подготовленные команды. Несмотря на использованные разнообразные методов увеличения производительности реальная

производительность ядер процессоров далека от теоретической производительности.

В частности, в работе [1] приведена методика и оценки коэффициентов использования, как подсистемы подготовки команд, так и подсистемы выполнения команд, состоящей из специализированных функциональных устройств ( $\PhiУ_i$ ) ядра процессора, для любых значений  $i$  и для любых типов программ в самых благоприятных условиях работы конвейерного ядра при отсутствии «помех». Даже при отсутствии «помех» коэффициенты использования специализированных  $\PhiУ_i$  далеки от своих предельных значений.

В работе [2] рассмотрены эффективности некоторых структурных решений по уменьшению отрицательного влияния команд условных переходов.

Более полные работы по исследованию влияния на производительность подсистемы подготовки команд различных параметров как структуры подсистемы подготовки команд, так и характеристик выполняемых программ неизвестны.

**Цель статьи.** Разработка модели и получение аналитических выражений по оценке эффективности подсистемы подготовки команд в зависимости от параметров, как структуры ядра, так и характеристик выполняемых программ.

### **Модель структуры подсистемы подготовки команд**

Для исследования реальная структура ядра процессора представлена в виде модели, состоящей из 2 фаз – подсистемы подготовки команд и подсистемы выполнения подготовленных команд с буфером между ними (рис.).

Эффективность функционирования подсистемы подготовки команд исследуется при следующих условиях:

- на вход подсистемы подготовки команд поступает бесконечная последовательность команд программы;

— исследуемые программы выполняются в наиболее благоприятных с точки зрения производительности условиях (в частности, вся необходимая информация находится в кэш-памяти ядра);

— размеры буферов между ступенями подсистемы подготовки команд и буфера между подсистемой подготовки команд и подсистемой выполнения подготовленных команд достаточной величины;

— с вероятностью  $\omega_{II}$  очередная команда программы это команда перехода любого типа (то ли это команда безусловного перехода, то ли это команда условного перехода);

— с вероятностью  $1 - \omega_{II}$  очередная команда программы это команда, которая выполняется в подсистеме выполнения команд (вычислительная команда);

—  $q$  - вероятность того, что переход, определенный командой перехода, будет выполнен и будет осуществлена перезагрузка конвейера;

—  $1 - q$  - вероятность того, что переход, определенный командой перехода, не будет выполнен и перезагрузки конвейера не будет;

—  $S$  - количество команд генерируемых подсистемой подготовки команд в одном пакете (группе). Если  $S=1$ , то в каждом такте генерируется одна команда.

—  $A$  - время в тактах генерации первого пакета (команды) после перехода (время перезагрузки конвейера в результате выполнения перехода);

—  $B$  - время в тактах генерации пакета (команды) при отсутствии перехода (при отсутствии перезагрузки конвейера).

Определим среднее время генерации одного пакета подсистемой подготовки команд следующим образом

$$t_{ПАК} = (1 - \omega_{II}) * B + \omega_{II} * [q * A + (1 - q) * B] \quad (1)$$

После упрощения получим

$$t_{ПАК} = B + \omega_{II} * q * (A - B) \quad (2)$$

Если в пакете  $S$  команд, то среднее время генерации одной команды

$$t_{КОМ} = \frac{t_{ПАК}}{S} = \frac{B + \omega_{II} * q * (A - B)}{S} \quad (3)$$

В идеальном конвейере подсистемы подготовки команд

$$t_{ПАК}^{ИДЕАЛ} = B \quad (4)$$

Производительность подсистемы подготовки команд это величина обратная среднему времени подготовки одной команды. Тогда производительность реальной подсистемы подготовки команд

$$PP_{РЕАЛ} = \frac{1}{t_{КОМ}} = \frac{t_{ПАК}}{S} = \frac{S}{B + \omega_{II} * q * (A - B)} \quad (5)$$

Производительность идеальной подсистемы подготовки команд

$$PP_{ИДЕАЛ} = \frac{S}{B} \quad (6)$$

Времена подготовки команд выражены в тактах ядра процессора.

Определим эффективность функционирования подсистемы подготовки команд в виде отношения реальной производительности подсистемы подготовки команд к идеальной производительности подсистемы подготовки команд.

$$R = \frac{PP_{РЕАЛ}}{PP_{ИДЕАЛ}} = \frac{S * B}{S * [B + \omega_{II} * q * (A - B)]} = \frac{1}{1 + \omega_{II} * q * (\frac{A}{B} - 1)} \quad (7)$$

В таблице приведены результаты зависимости эффективности функционирования подсистемы подготовки команд (коэффициента  $R$ ) от параметров  $\omega_{II}$ ,  $q$ ,  $A / B$ .

**Выводы**

1. Эффективность подсистем подготовки команд реальных ядер процессоров всегда меньше 1 при наличии в программах команд переходов,  $q \neq 0$ ,  $A / B \neq 1$ .

2. При  $A \rightarrow B$ , т.е. когда время перезагрузки конвейера подсистемы подготовки команд при переходе приближается к времени работы ступени конвейера при отсутствии переходов, эффективность подсистемы подготовки команд стремится к предельному значению, равному 1, независимо от значения переменных  $\omega_{II}$  и  $q$ .

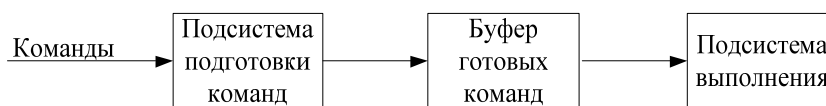


Рис. Структура модели ядра процессора

Таблиця

**Зависимости эффективности функционирования подсистемы подготовки команд (коэффициента R) от параметров  $\omega_{II}$ ,  $q$ ,  $A/B$**

$\omega_{II}$	$q$	$A/B$	R
0.05	0.98	6	0.80321
		4	0.87184
		2	0.95329
	0.95	6	0.80808
		4	0.87527
		2	0.95465
0.10	0.98	6	0.67114
		4	0.77280
		2	0.91075
	0.95	6	0.67797
		4	0.77821
		2	0.91324
0.15	0.98	6	0.57639
		4	0.69396
		2	0.98551
	0.95	6	0.58394
		4	0.70052
		2	0.87527
0.20	0.98	6	0.50505
		4	0.62972
		2	0.83612
	0.95	6	0.51282
		4	0.63694
		2	0.84034

3. При отсутствии в программах команд переходов ( $\omega_{II} = 0$ ) эффективность подсистемы подготовки команд стремится к предельному значению, равному 1.

4. При увеличении  $\omega_{II}$  эффективность подсистемы подготовки команд существенно уменьшается.

5. Отношение  $A/B$  характеризует длину конвейера подсистемы подготовки команд. В подсистемах подготовки команд реальных ядер процессоров A и B отличаются не менее чем в 5-6 раз. Вот почему при разработке подсистем подготовки команд ядер времена работы отдельных ступеней конвейера подсистем подготовки команд стремятся сделать одинаковыми, а количество ступеней минимально возможным.

#### Л и т е р а т у р а

- Недзельский Д.А. Исследование эффективности одноядерных суперскалярных вычислительных систем / Д.А. Недзельский. - Л.: Вісник СХУ ім. В. Даля, 2011. - №15 (169) Ч. 2. - С. 133-140.
- Недзельский Д.А. Исследование и анализ эффективности структурных методов компенсации влияния команд переходов на производительность конвейерных ядер процессоров / Д.А. Недзельский. - Л.: Вісник СХУ ім. В. Даля, 2013. - №16 (205), Ч. 2. - С.174-181.
- Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем. 2-е изд. / С.А. Орлов, Б.Я. Цилькер – СПб.: Питер, 2011. – 688 с.
- Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. - М.: Мир, 1979. – 600 с.

#### References

- 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.
- 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.
- Orlov S.A., Cilker B.YA. Ordanization EVM and systems. 2nd Edition. SPb.:Piter, 2011. – 688 p.
- Klienrock L. Computer systems with queens. - M.: Mir, 1979. – 600p.

#### Недзельський Д.О. Дослідження ефективності підсистеми підготовки команд в ядрах сучасних процесорів

*Розглянуті особливості сучасних конвейерних ядер процесорів. Розроблена модель підсистеми підготовки команд при виконанні програм, що складаються з обчислювальних команд і команд переходів різного типу, а також методика визначення ефективності реальної підсистеми підготовки команд порівняно з ідеальною. Отримані аналітичні вирази. Досліджена ефективність підсистеми підготовки команд залежно від співвідношення часу перезавантаження конвеєра після переходу і часу генерації за відсутності переходів, частоти команд переходів, вірогідності здійснення переходу. Рис. 1, таблиця. 1, джерел. 4.*

**Ключові слова:** процесор, ядро, конвеєр команд, перехід, ефективність.

#### Nedzelskyi D.A. Research of the efficiency of the command generating subsystem in modern processor cores

*Features of modern pipelined processor cores are considered. The model of the command generating subsystem is developed for the execution of programs consisting of computational commands and transition commands of various types, as well as a technique for determining the effectiveness of the real command generating subsystem in comparison with the ideal one. Analytical expressions are obtained. The efficiency of the command generating subsystem has been studied depending on the ratio of the reboot time of the pipeline after the transition and the generation time in the absence of transitions, the frequency of the transition commands, and the probability of the transition. This article contains fig. 1, table 1, and 4 references.*

**Keywords:** processor, kernel, command pipeline, transition, efficiency.

**Недзельський Дмитро Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії факультету інформаційних технологій та електроніки Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. mail: nedzelsky946@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Рязанцев О.І.**

Стаття подана 20.08.2017