

## Улучшенная обработка условных переходов типа “if-then” для суперскалярного микропроцессора в случае прыжка через одну команду

О. И. Ладин<sup>1,2</sup>, А. Ю. Сивцов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>АО «Интел А/О»

Высокая эффективность использования функциональных блоков микропроцессора суперскалярной архитектуры обеспечивается работой модуля предсказания переходов. Следовательно, одним из существенных ограничений производительности микропроцессоров суперскалярной архитектуры являются ошибки предсказаний этого модуля. При неверном предсказании возникает необходимость удалить из машины уже загруженные команды и загрузить правильные, следующие за переходом.

В общем случае исполняемые команды можно разделить на зависящие по управлению от перехода (Control Dependent, CD) и не зависящие по управлению (Control Independent, CI), которые, в свою очередь, можно подразделить на зависящие по данным от CD команд (Control Independent Data Dependent, CIDD) и не зависящие по данным (Control Independent Data Independent, CIDI). Исполнение CIDI команд, как и факт загрузки CIDD команд, абсолютно не зависит от результата перехода. В настоящий момент предложены техники, использующие факт независимости CI команд [1][2][3] для избежания их удаления и повторной загрузки в микропроцессор при неверном предсказании направления условного перехода.

В работе исследуется подобный метод, позволяющий избежать повторной загрузки CI команд и повторного исполнения CIDI команд при неправильном предсказании условных переходов типа “if-then”, для которых точка схождения путей исполнения есть адрес этого перехода, что упрощает их обнаружение оборудованием. Для переходов такого типа существует только одна ветвь CD команд, путь на провал содержит в себе все команды пути на взятие, что упрощает их обработку. В отличие от механизма, работающего с переходами, содержащими произвольное число CD команд [4], в данной работе рассмотрен важный крайний случай – переходы типа “if-then” с прыжком через единственную команду (рис. 1). Выбор этого случая обусловлен более простой техникой детектирования – достаточно знать только две последовательные команды: переход и CD команду; и возможностью применения технологии Макро-слияния этих двух команд, что позволяет решить проблемы с зависимостями CIDD команд от CD команды.

Увеличение производительности достигается благодаря отсутствию необходимости перезагружать CI команды и переисполнять CIDI команды. Также нет необходимости перенаправлять конвейер загрузки новых инструкций, так как правильный путь исполнения не содержит новых команд, которые должны были бы быть загружены взамен имеющимся. Корректность данных для CIDD команд, зависящих от CD команды, обеспечивается предикативным исполнением CD команды. Последовательные “if-then” переход и его CD команда декодируются в составную CD команду под предикатом (рис. 2), которым является направление перехода.

В программный потактовый симулятор микропроцессора архитектуры Intel 64 было внедрено детектирование условных переходов типа “if-then” и обработка согласно предложенной схеме. Различия в типах CD команды вносят ограничения на спектр возможных переходов, которые могут выступать в качестве предиката для данной инструкции.

При моделировании было установлено, что количество откатов потока управления с целью восстановления после неправильно предсказанного перехода может быть снижена на 2% с использованием предложенной техники.

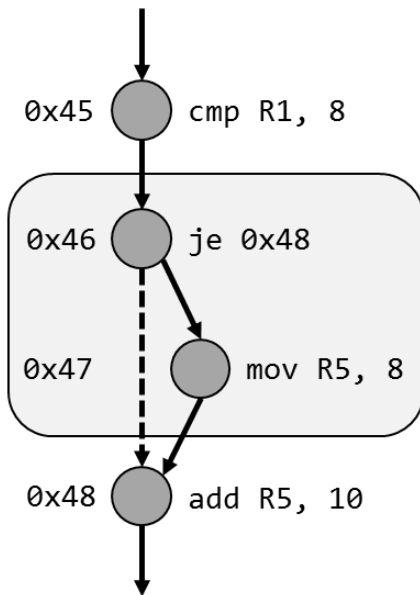


Рис. 1. Схематичное изображение условного перехода типа “if-then” с прыжком через одну команду.

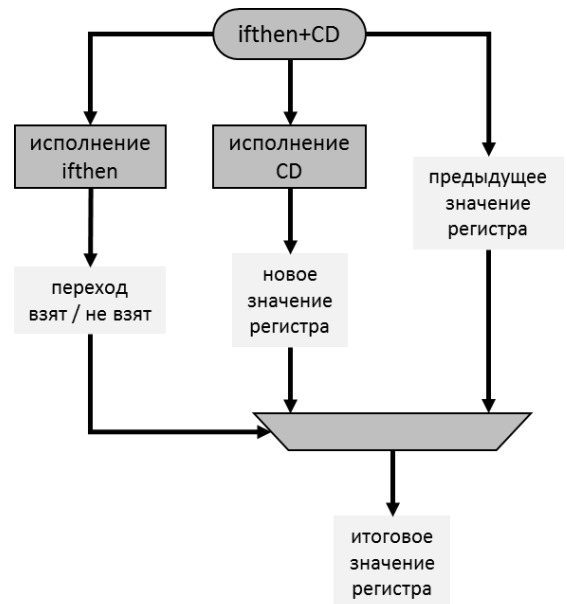


Рис. 2. Схематичное изображение составной команды CD с предикатом.

### Литература

1. *Chen-Yong Cher, T. N. Vijaykumar* Skipper: A Microarchitecture For Exploiting Control-flow Independence // The 34th annual ACM/IEEE international symposium on Microarchitecture. 2001. P. 4-15.
2. *Jamison D. Collins, Dean M. Tullsen, Hong Wang* Control Flow Optimization Via Dynamic Reconvergence Prediction // The 37th annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture. 2004. P. 129-140.
3. *Ahmed S. Al-Zawawi, Vimal K. Reddy, Eric Rotenberg, Haitham H. Akkary* Transparent Control Independence (TCI) // The 34th annual international symposium on Computer architecture. 2007. P. 448-459.
4. *Ладин О.И., Сивцов А.Ю.* Исследование потенциала механизма улучшенной обработки условных переходов типа “if-then” для суперскалярного микропроцессора // Труды 58-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». 2015.