

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет информационных технологий
Кафедра параллельных вычислений**

ОТЧЕТ

О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

«Изучение модуля предсказания ветвлений»

Студента 2 курса, 21211 группы

Петрова Сергея Евгеньевича

Направление 09.03.01 – «Информатика и вычислительная техника»

Преподаватель:
Антон Юрьевич Кудинов

Новосибирск 2022

СОДЕРЖАНИЕ

<i>СОДЕРЖАНИЕ</i>	<i>2</i>
<i>ЦЕЛЬ</i>	<i>3</i>
<i>ЗАДАНИЕ</i>	<i>3</i>
<i>ТЕОРИЯ</i>	<i>4</i>
<i>Организация ВРУ</i>	<i>4</i>
<i>Буфер целей ветвлений</i>	<i>4</i>
<i>Предсказатель результата перехода</i>	<i>5</i>
<i>ТЕСТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ВРУ</i>	<i>7</i>
<i>Буфер целей ветвлений</i>	<i>7</i>
<i>Предсказатель результата перехода</i>	<i>7</i>
<i>ОПИСАНИЕ РАБОТЫ</i>	<i>8</i>
<i>Пошаговое описание выполненной работы</i>	<i>8</i>
<i>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</i>	<i>11</i>

ЦЕЛЬ

- Изучение модуля предсказания переходов;
- Определение организации модуля предсказания переходов;

ЗАДАНИЕ

1. Изучить [статью](#) и реализовать предложенные тесты;
2. Запустить тесты и определить организацию модуля предсказания переходов;
3. Составить отчет по лабораторной работе. Отчет должен содержать следующее:
 - Титульный лист.
 - Цель лабораторной работы.
 - Определенные параметры модуля предсказания переходов
 - Полный компилируемый листинг реализованной программы и команды для ее компиляции.
 - Вывод по результатам лабораторной работы.

ТЕОРИЯ

Конвейерная обработка инструкций позволяет микропроцессору выполнять множество действий одновременно. Но команды перехода вызывают зависимость по управлению. В результате выполнения только на некоторой стадии становится известно, какая команда должна выполняться после нее. Если это не та команда, которая следует за ней в коде программы, то процессор вынужден сделать сброс конвейера. Для устранения зависимостей, вызванных командами перехода, используется механизм раннего обнаружения и предсказания переходов.

Организация BPU

Модуль предсказания переходов (*branch predictor unit, BPU*) — устройство, входящее в состав микропроцессоров, имеющих конвейерную архитектуру, предсказывающее, будет ли выполнен условный переход в исполняемой программе и какова цель перехода. Каким бы сложным ни был предиктор ветвления, в нем можно выделить 2 основных компонента: буфер целей ветвлений (*branch target buffer, BTB*) и предсказатель результата перехода (*outcome predictor*).

Буфер целей ветвлений

Буфер целей ветвлений является структурой кеша, в которой индекс кеша — часть адреса команды перехода, а данные кеша — это последний целевой адрес рассматриваемой инструкции (Рис. 1).

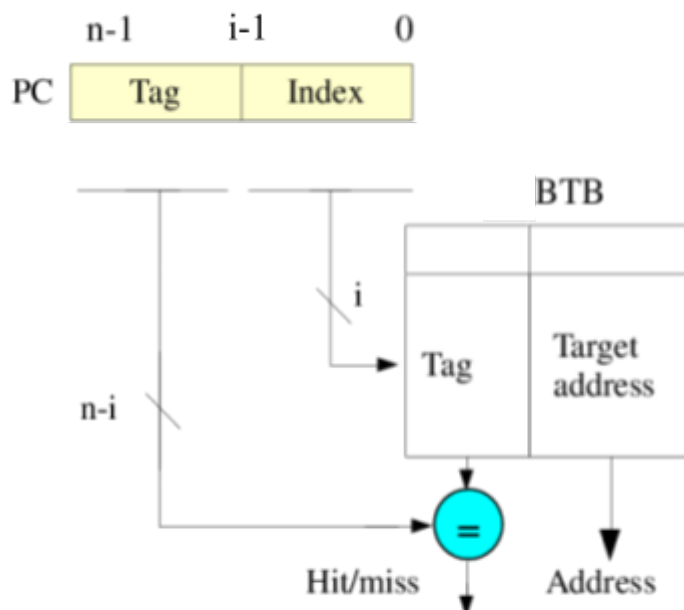


Рис. 1. Структура BTB

Предсказатель результата перехода

Для предсказания результата ветвления существует два метода: статический и динамический.

Статические методы используют информацию из кода программы. При использовании этого способа процессор делает однозначный вывод о срабатывании команды перехода по ее виду. Пример статического предсказания:

- Если инструкция перехода выполняет переход назад (на младшие адреса), то в конвейер загружаются инструкции, расположенные по адресу перехода (обнаружение циклов);
- Если инструкция перехода выполняет переход вперед (на старшие адреса), то в конвейер загружаются инструкции, расположенные после инструкции перехода;

Статическое предсказание используется в качестве резервного метода, когда динамические предикторы не имеют достаточной информации для использования.

Динамические способы основаны на истории переходов, которая формируется в процессе выполнения программы. Решение о срабатывании перехода принимается при помощи таблицы прогнозирования ветвлений (branch prediction table, BPT).

Для примера рассмотрим таблицу, в ячейках которой хранятся двухбитные счетчики с насыщением (Рис. 2)

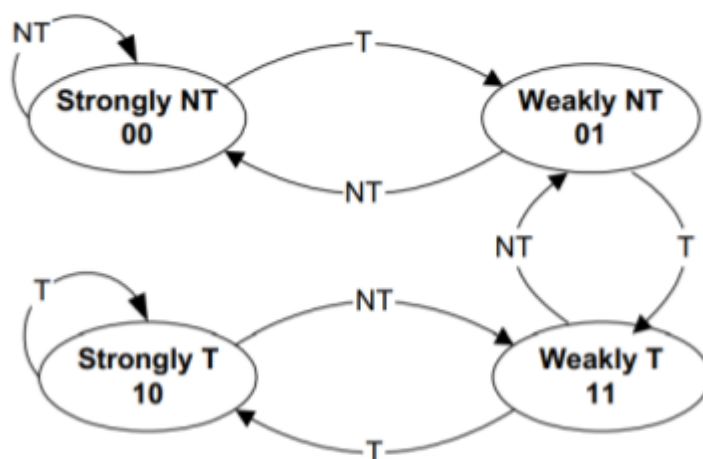


Рис. 2. Двухбитный счётчик с насыщением (T - taken, NT - not taken)

Доступ к ячейкам ВРТ можно получить разными способами. Простейший индекс ВРТ — это часть адреса ветки. Более сложные двухуровневые предикторы объединяют адрес перехода или его часть с регистром истории переходов (*branch history register, BHR*). ВНР — это регистр сдвига, который хранит N последних результатов переходов, где N — количество бит ВНР. По адресу инструкции и значению ВНР формируется индекс ячейки ВРТ при помощи некоторой функции индекса (конкатенация, исключаящее или). По счётчику в ячейке принимается решение, делать переход или нет.

В зависимости от типа записанной истории переходов предикторы могут быть глобальными (N последних результатов переходов) и локальными (N последних результатов переходов для каждой инструкции ветвления) (Рис. 3).

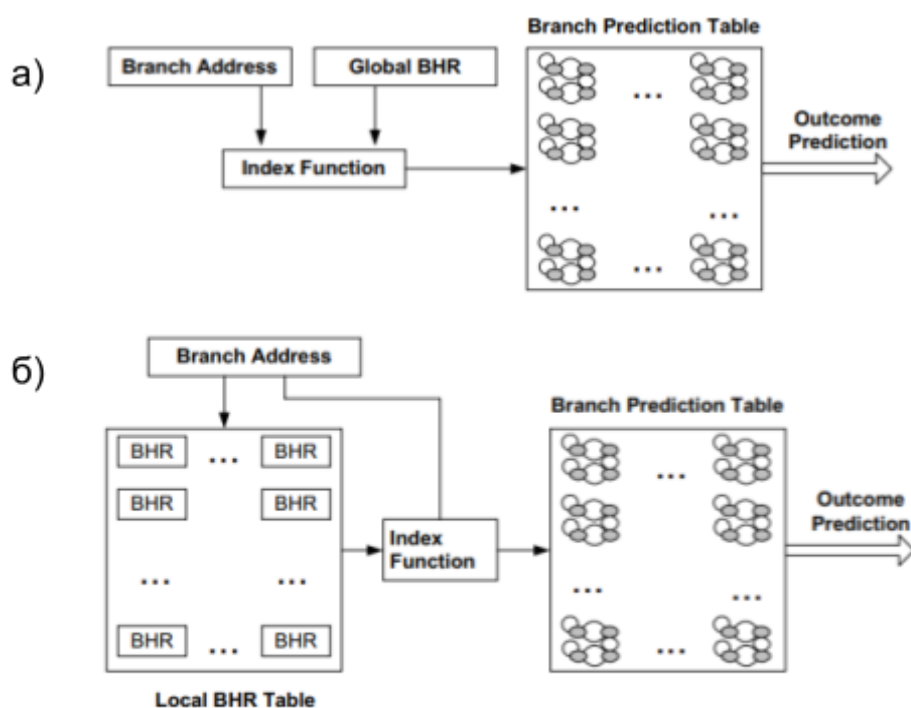


Рис. 3. Глобальный (а) и локальный (б) двухуровневый предиктор перехода

ТЕСТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ВРУ

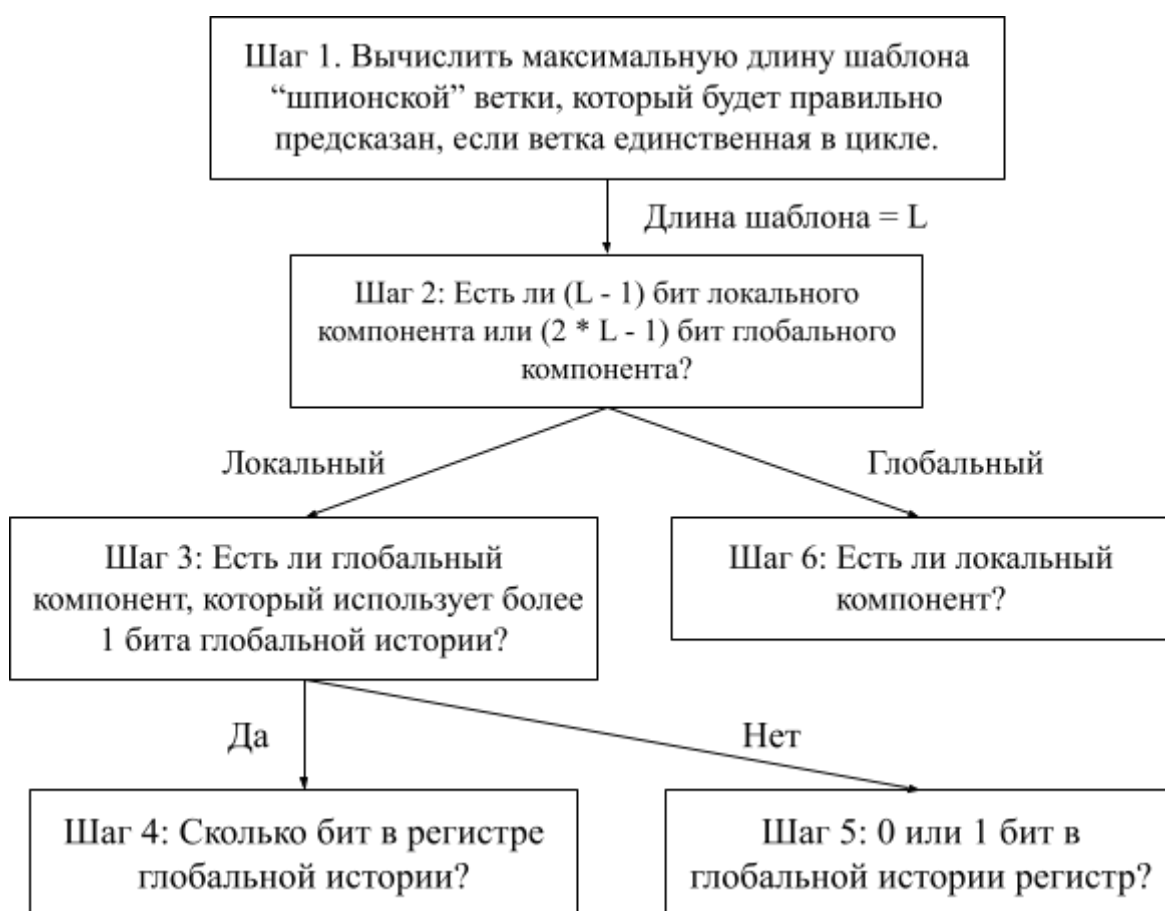
Буфер целей ветвлений

Для нахождения количества записей в ВТВ предлагается запустить тесты, каждый из которых имеет $N_{ВТВ} - 1$ условный переход в цикле, что в сумме составляет $N_{ВТВ}$ условных переходов, где $N_{ВТВ}$ – количество записей ВТВ. Эти условные переходы неверно прогнозируются, если отсутствуют в ВТВ. Изменяя количество условных инструкций, по росту промахов можно выяснить размер ВТВ.

Один из способов определить степень ассоциативности и количество адресных битов, используемых в качестве индекса ВТВ, состоит в том, чтобы запустить набор тестов, варьируя адресное расстояние D между инструкциями ветвления.

Предсказатель результата перехода

Алгоритм для распознавания организации предсказателя результата перехода состоит из 6 шагов (Рис. 5)



ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

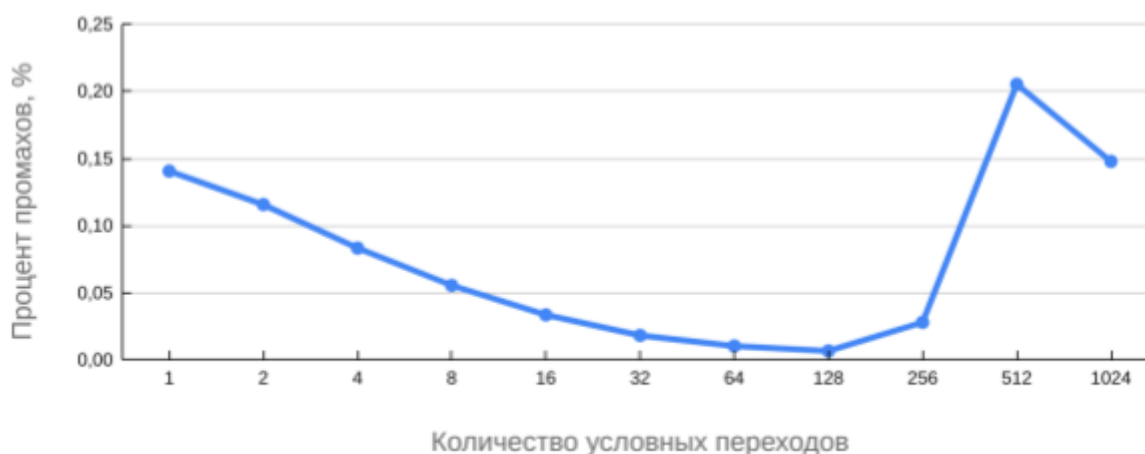
Пошаговое описание выполненной работы

1. Установил утилиты [perf](#) для использования счетчиков производительности процессора;
2. Реализовал необходимые тесты на языке Си, написал Makefile и bash-скрипты для их сборки и запуска тестов соответственно ([Исходный код](#));
3. Запустил bash-скрипт для вычисления размера ВТВ. По полученным данным построил графики 1, 2. По скачкам после 256 и 1024 можно предположить, что таковы размеры уровней.

График 1. Зависимость процента промахов предсказателя ветвлений от количества условных переходов



График 2. Зависимость процента промахов предсказателя ветвлений от количества условных переходов



4. Запустил bash-скрипт для вычисления степени ассоциативности ВТВ при 256, 1024 и 2048 условных переходах. По полученным

данным построил графики 3 и 4. На графике 3 видно, что при сдвигах 2, 8 и 16 процент промахов мал (на графике 4 при всех сдвигах высокий процент промахов), поэтому можно предположить, что степень ассоциативности 2 уровня ВТВ равна 4

График 3. Зависимость процента промахов предсказателя ветвлений от расстояния между 1024 условными переходами

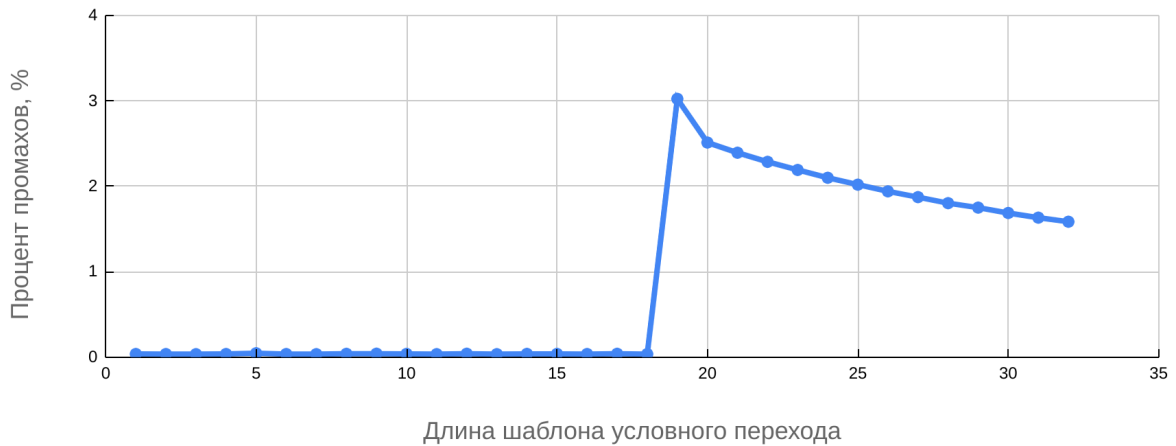


График 4. Зависимость процента промахов предсказателя ветвлений от расстояния между 2048 условными переходами



- Запустил *bash*-скрипт шага 1 алгоритма для распознавания организации предсказателя результата перехода. По полученным данным построил график 5. Скачок произошел при длине шаблона “шпионской” ветки равной 19, т.е. предиктор имеет 17 бит локальной истории или 34 бит глобальной истории.

График 5. Зависимость процента промахов предсказателя ветвлений от длины шаблона условного перехода в цикле (других условных переходов в цикле нет)



6. Запустил *bash*-скрипт шага 2 алгоритма для распознавания организации предсказателя результата перехода. Процент промахов вырос, значит, предиктор имеет 34 бита глобальной истории.

```
Performance counter stats for 'bin/main':

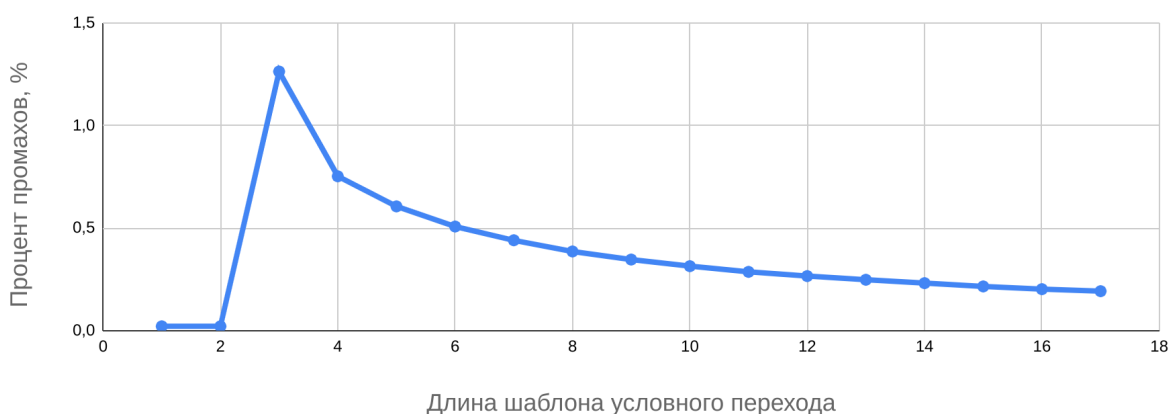
    3,601,023,826      branches
    5,595,840         branch-misses          #    0.16% of all branches

    3.177404582 seconds time elapsed

    3.175552000 seconds user
    0.000000000 seconds sys
```

7. Запустил *bash*-скрипт шага 6 алгоритма для распознавания организации предсказателя результата перехода. По росту промахов предсказателя можно предположить, что предиктор имеет 2 бита локальной истории.

График 6. Зависимость процента промахов предсказателя ветвлений от длины шаблона условного перехода в цикле (в цикле есть 32 всегда не выполняющихся условных перехода)



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы:

- *Изучена информация об устройстве модуля предсказания ветвлений;*
- *Определена организация модуля предсказания ветвлений:*
 - *ВТВ имеет 2 уровня: 1 уровень - 256 записей, 2 уровень - 1024 записей. 2 уровень имеет степень ассоциативности равную 4.*
 - *Предсказатель результата ветвления имеет глобальный BHR с 34 битами истории и локальные BHR с 2 битами истории.*