



Верификация Поток управления

МФТИ
Весна 2025

Архитектурно видимые эффекты передачи управления

- Назовите архитектурно видимые эффекты передачи управления

Архитектурно видимые эффекты передачи управления

- Назовите архитектурно видимые эффекты передачи управления
 - Изменение PC

Архитектурно видимые эффекты передачи управления

- Назовите архитектурно видимые эффекты передачи управления
 - Изменение PC
 - *Изменение привилегированности исполнения*

Оцениваем размах верификации

- Какие инструкции rv32i могут изменять PC?

Оцениваем размах верификации

- Какие инструкции rv32i могут изменять PC?
 - Все

Оцениваем размах верификации

- Какие инструкции rv32i могут изменять PC?
 - Все
- Какие инструкции могут передавать управление не на следующую инструкцию?

Оцениваем размах верификации

- Какие инструкции rv32i могут изменять PC?
 - Все
- Какие инструкции могут передавать управление не на следующую инструкцию?
 - Бранчи: beq, bne, ...

Оцениваем размах верификации

- Какие инструкции rv32i могут изменять PC?
 - Все
- Какие инструкции могут передавать управление не на следующую инструкцию?
 - Бранчи: beq, bne, ...
 - jal, jalr

Модель покрытия

- Обычные инструкции

Модель покрытия

- Обычные инструкции
 - Для всех комбинаций значений входных операндов РС увеличивается на размер текущей инструкции

Модель покрытия

- Обычные инструкции
 - Для всех комбинаций значений входных операндов РС увеличивается на размер текущей инструкции
- Инструкции передачи управления

Модель покрытия

- Обычные инструкции
 - Для всех комбинаций значений входных операндов РС увеличивается на размер текущей инструкции
- Инструкции передачи управления
 - Для всех комбинаций значений входных операндов РС принимает ожидаемое значение

Модель покрытия

- Обычные инструкции
 - Для всех комбинаций значений входных операндов РС увеличивается на размер текущей инструкции
- Инструкции передачи управления
 - Для всех комбинаций значений входных операндов РС принимает ожидаемое значение
- Гарантирует ли такая модель покрытия отсутствие ошибок в передаче управления?

Модель покрытия

- Обычные инструкции
 - Для всех комбинаций значений входных операндов РС увеличивается на размер текущей инструкции
- Инструкции передачи управления
 - Для всех комбинаций значений входных операндов РС принимает ожидаемое значение
- Гарантирует ли такая модель покрытия отсутствие ошибок в передаче управления?
 - В общем случае нет, потому что *иногда* между инструкциями передачи управления может быть *неявная* связь

Аппаратные оптимизации

- Какие модули/аппаратные оптимизации могут влиять при передаче управления?

Аппаратные оптимизации

- Какие модули/аппаратные оптимизации могут влиять при передаче управления?
 - BPU

Аппаратные оптимизации

- Какие модули/аппаратные оптимизации могут влиять при передаче управления?
 - BPU
 - Prefetcher

Аппаратные оптимизации

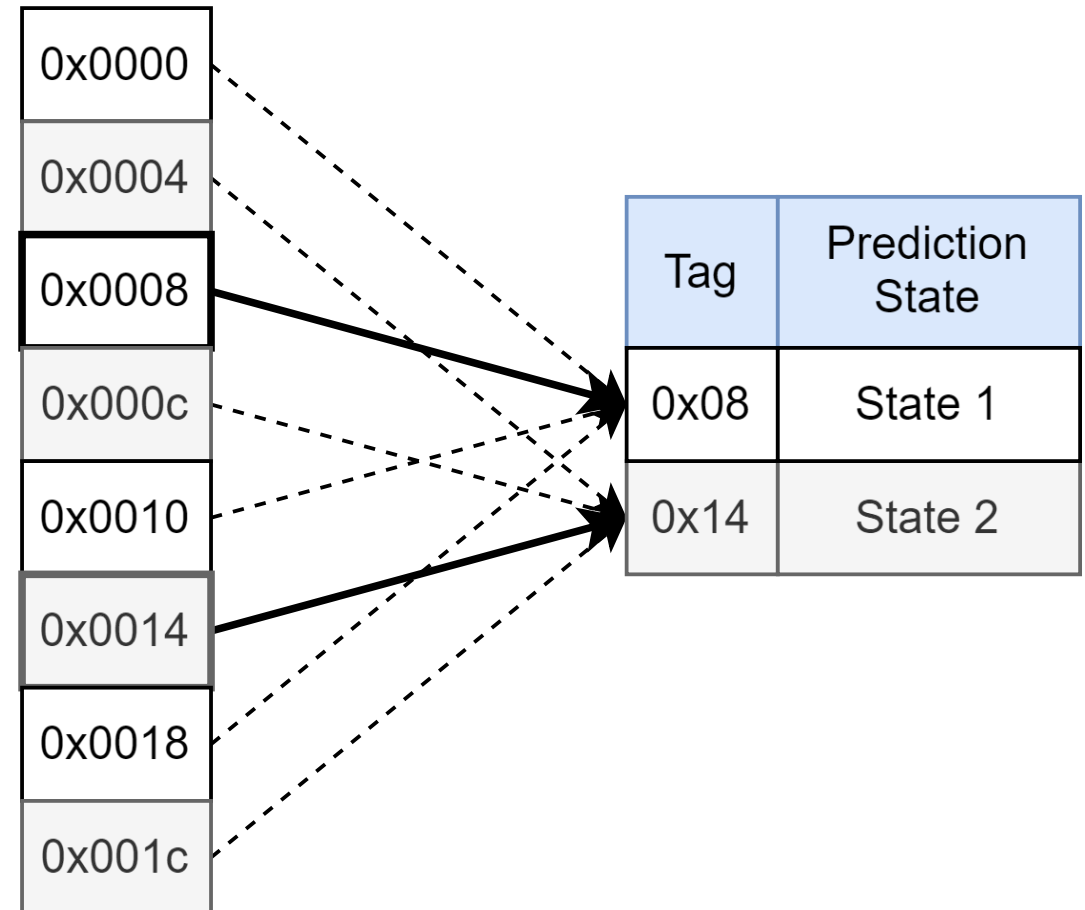
- Какие модули/аппаратные оптимизации могут влиять при передаче управления?
 - BPU
 - Prefetcher
 - Спекулятивное исполнение

BPU

- BPU – Branch Prediction Unit
 - Модуль предсказания переходов
- Предсказывает условные и не прямые переходы

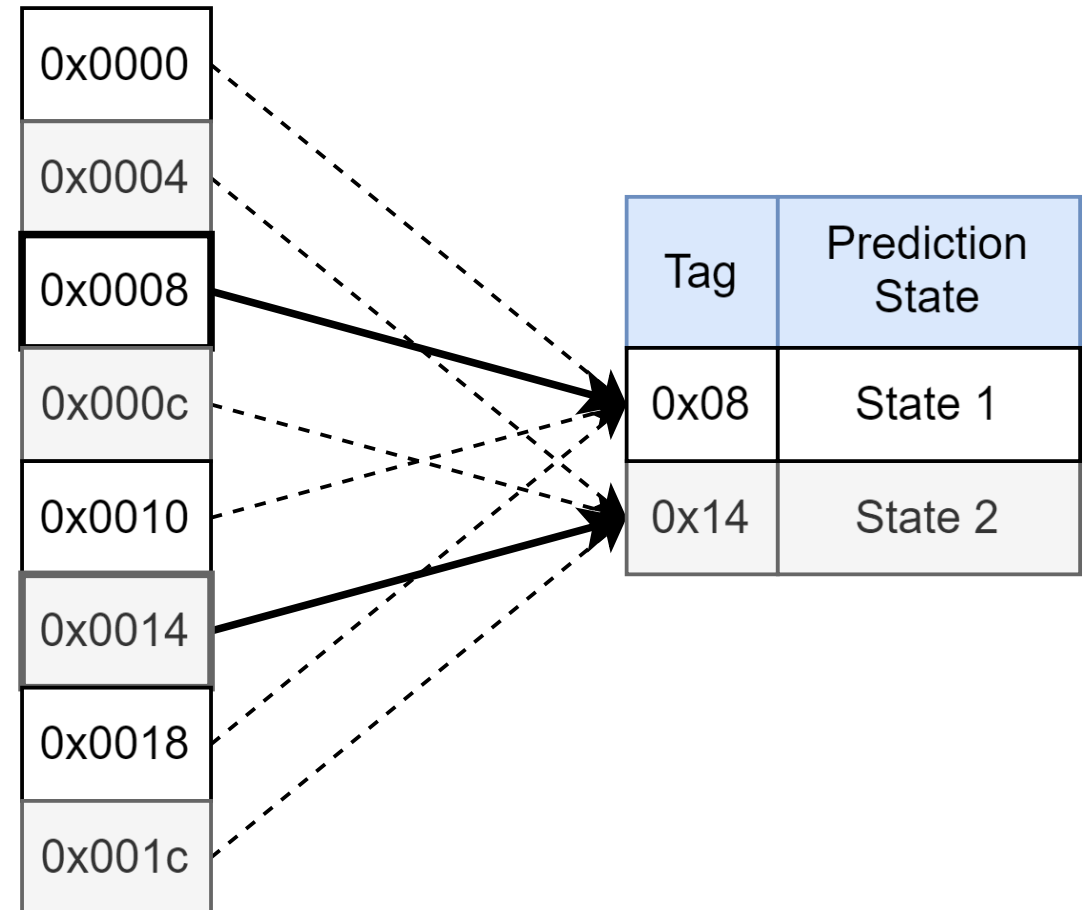
BRU подробно

- По устройству branch predictor представляет таблицу
 - Tag это первые N бит адреса инструкции перехода, которую отслеживает BRU
- Почему для сопоставления инструкции перехода используется Tag вместо полного адреса?



BRU подробно

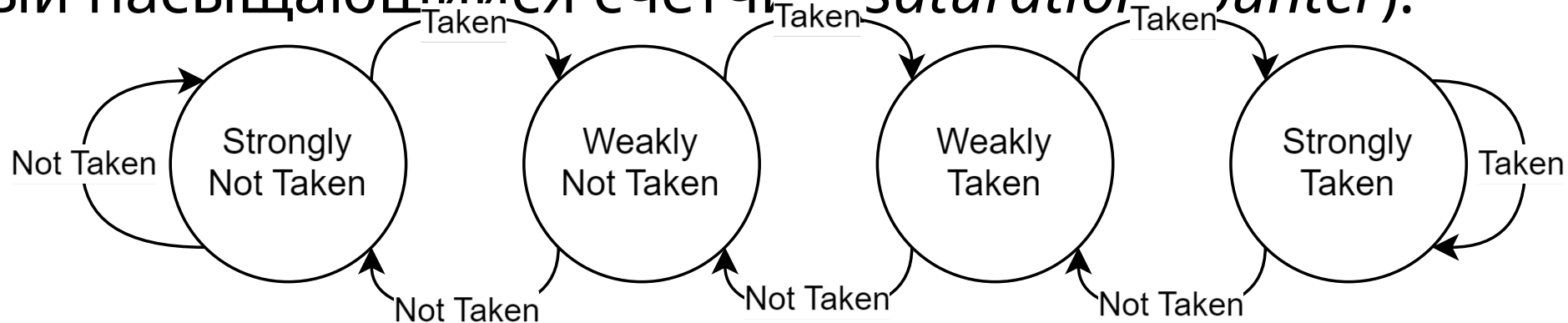
- По устройству branch predictor представляет таблицу
 - Tag это первые N бит адреса branch инструкции, которую отслеживает BRU
 - State это состояние предсказателя, соответствующее отслеживаемому branch'у
- Алгоритмы предсказания в BRU бывают разные



Предсказатель на основе конечного автомата

Конечный автомат – абстракция, описывающая устройство, которое имеет один вход, один выход и в каждый момент времени находится в одном из конечного числа состояний

Пример предсказателя на основе конечного автомата – 2-битный насыщающийся счетчик (*saturation counter*):



To be continued ...

На следующем занятии

- Будем находить баги в работе с памятью