Анализ и оптимизация на софтуерни приложения

Александър Пенев

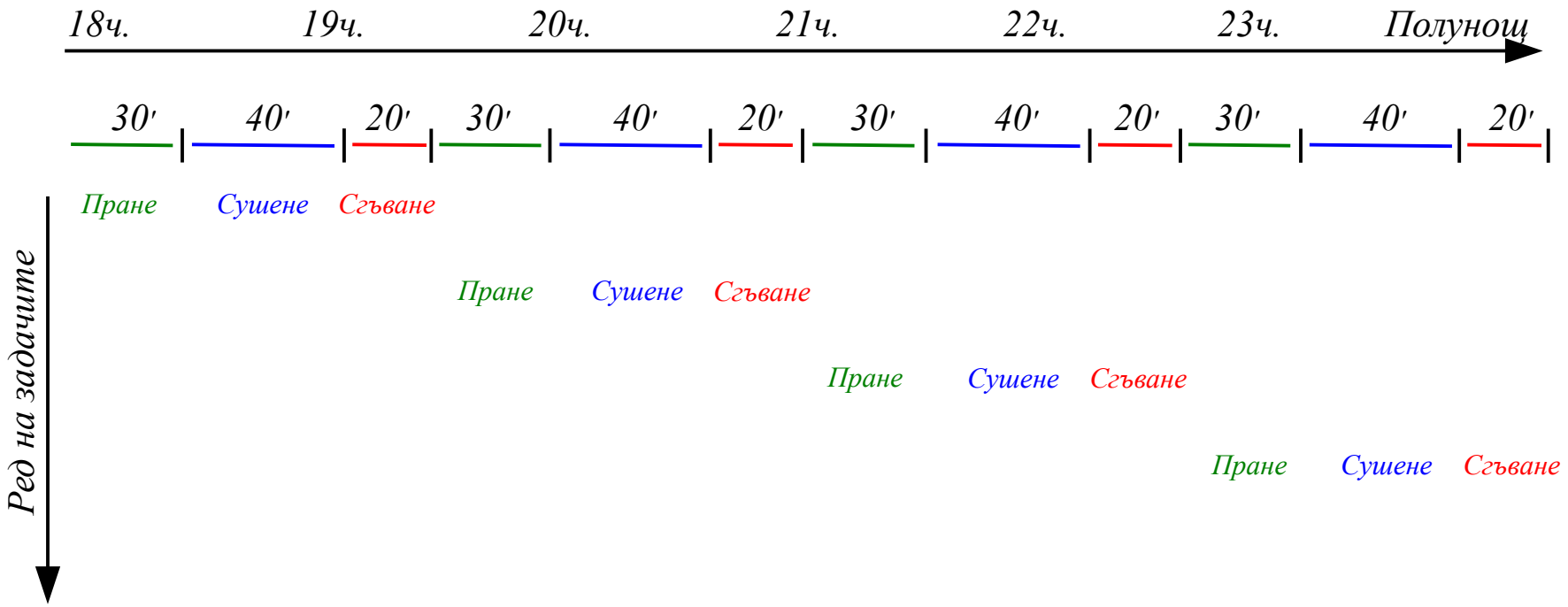
Васил Василев

Микроархитектури

Съдържание

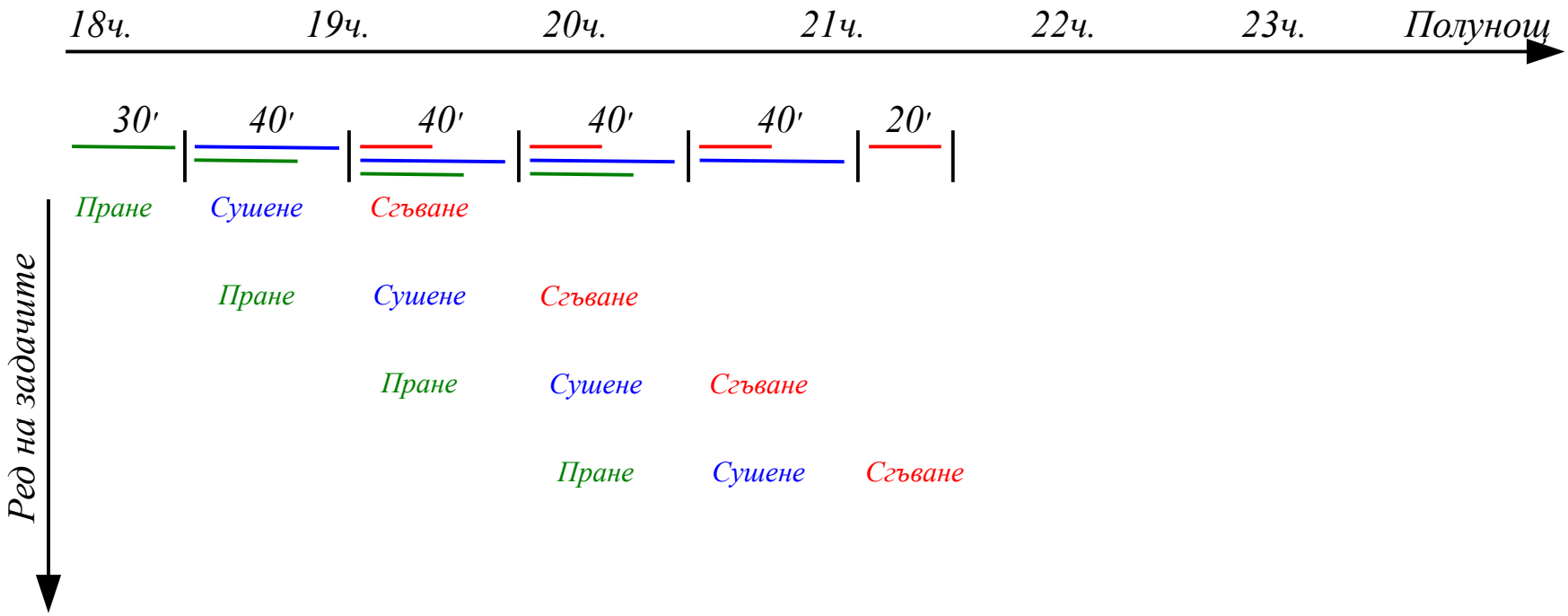
- Конвейерно изпълнение
- Проблеми при конвейерното изпълнение
- Структурни опасности
- Даннови опасности
- Контролни опасности
- SIMD
- Предсказване на преходи и спекулативно изпълнение

Последователно пране



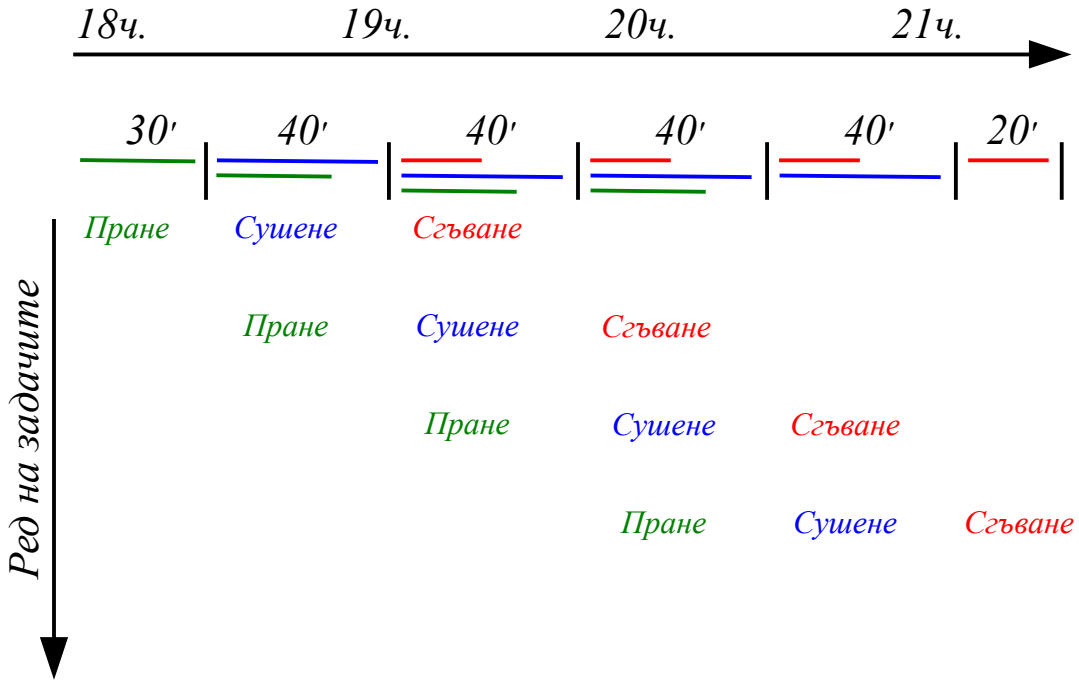
- Прането отнема 30 мин
- Сушенето отнема 40 мин
- Сгъването отнема 20 мин
- Последователното пране отнема 6 часа за 4 купа дрехи

Конвейерно пране



- Конвейерно означава задачата да се започва колкото се може по-скоро
- Конвейерното пране отнема 3.5 часа!

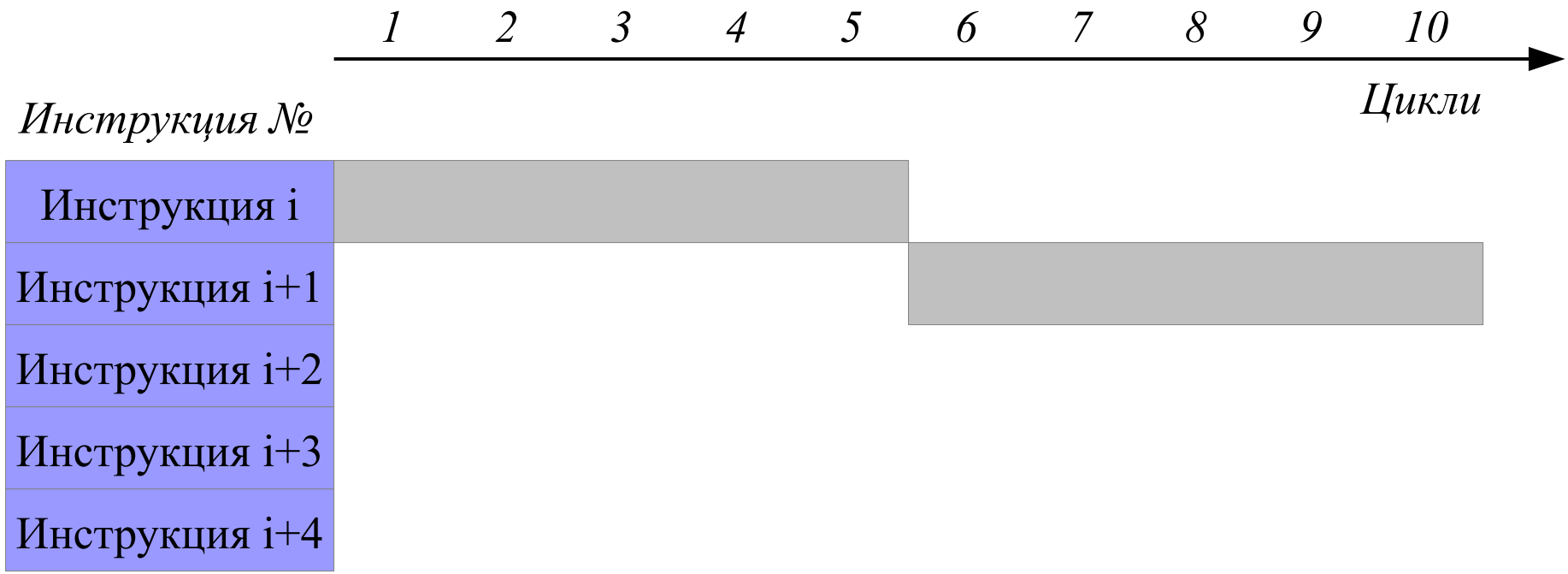
Изводи от конвейерното изпълнение



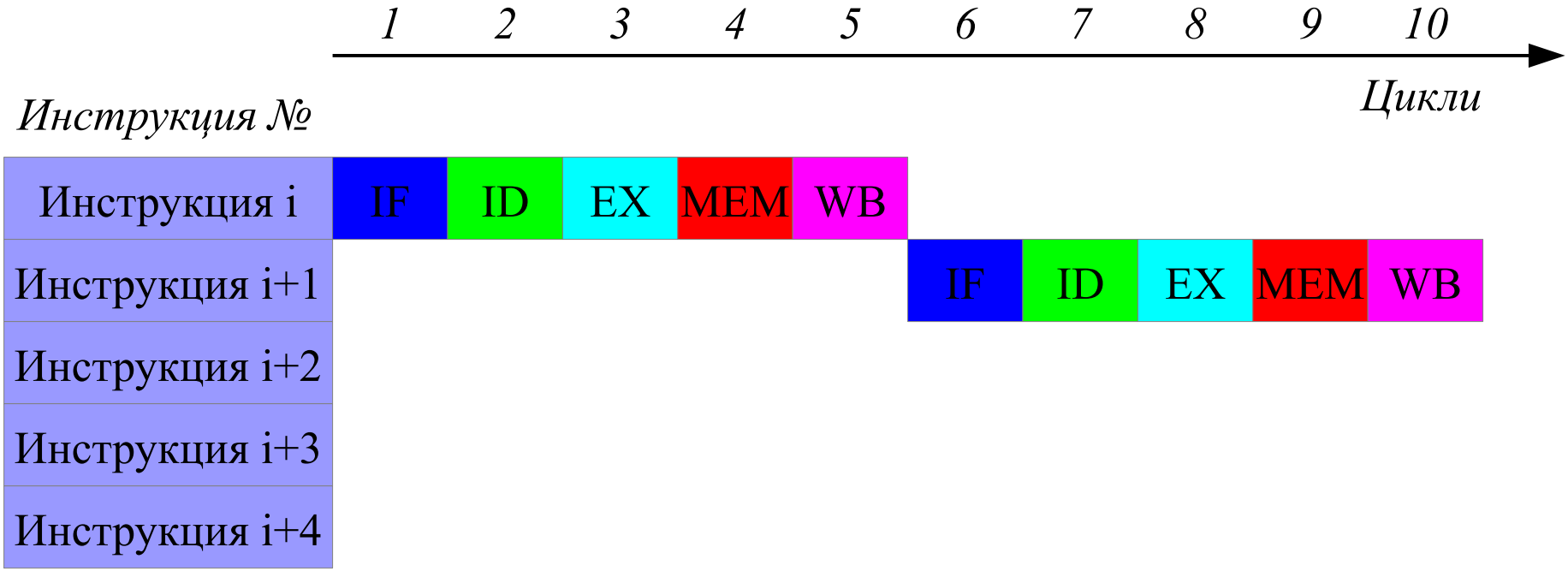
- Конвейерното изпълнение не намалява латентността на отделните задачи, а само пропускателната способност на цялото задание
- Ефективността на конвейера е ограничена от най-бавната операция

- Множествено задачи се изпълняват едновременно когато използват различни ресурси
- Възможното ускорение е броя стъпки в конвейера
- Небалансираните дължини на стъпките намаляват ускорението
- Времето за напълване на конвейера и времето на изпразване намаляват ускорението
- Stall при наличие на зависимости

Изпълнение на инструкции

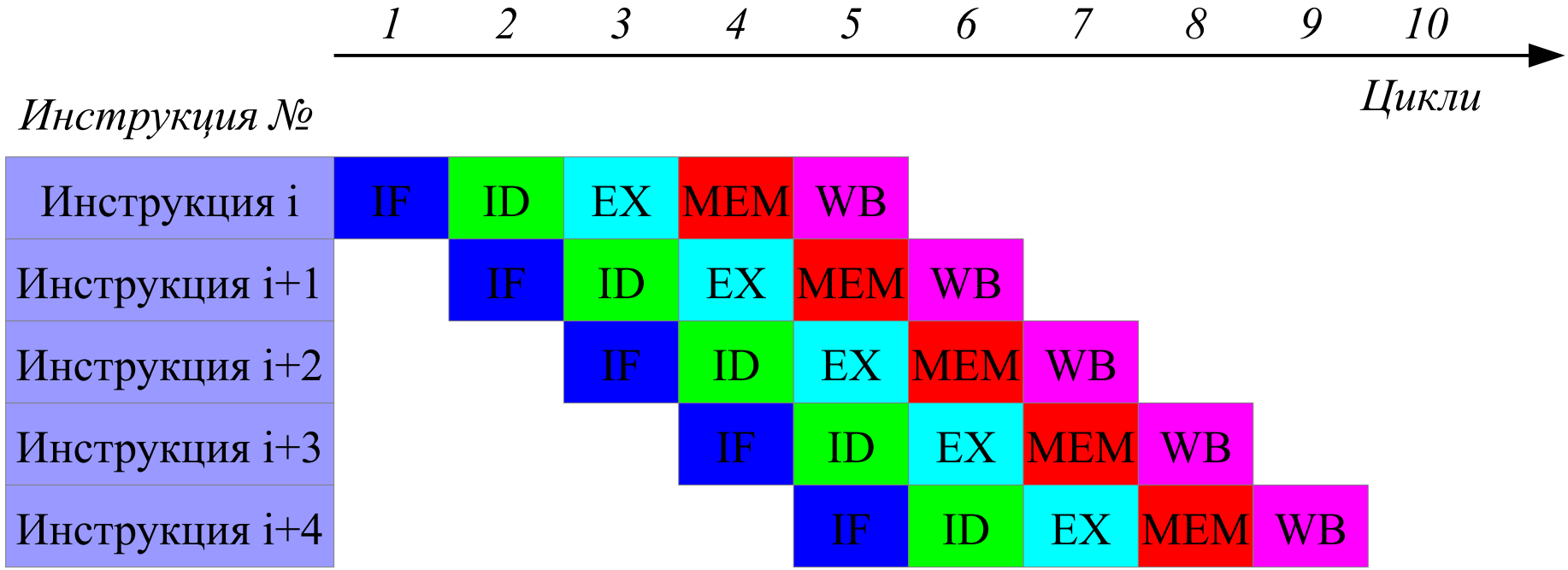


Изпълнение на инструкции



- IF – Instruction Fetch
- ID – Instruction Decode
- EX – Execution
- MEM – Memory Access
- WB – Write Back

Изпълнение на инструкции



- IF – Instruction Fetch
- ID – Instruction Decode
- EX – Execution
- MEM – Memory Access
- WB – Write Back

Ограничения при конвейерното изпълнение

Опасностите (hazards) не позволяват следващата инструкция да бъде изпълнена по време на определения й цикъл

- Структурни опасности (structural hazards)
  Опити за използване на един и същ хардуер за две различни неща едновременно
- Даннови опасности (data hazards)
  Инструкция зависи от резултата на друга инструкция, която е още в конвейера
- Контролни опасности (control hazards)
  Причинени са от забавянето между извличането на инструкции и решенията за промени в потока инструкции (control flow) – условни и безусловни преходи

Даннови опасности: истинска зависимост

Инструкцията зависи от данните, получени от предходната инструкция

```
1.   A = 3
2.   B = A
3.   C = B
```

Ако две инструкции са взаимнозависими от данните си те не могат да бъдат:

- Изпълнени едновременно
- Напълно да се застъпват в конвейера
- Да се изпълняват непоследователно (out-of-order)

При настъпване на такава ситуация в конвейера се казва че има риск от четене след запис (RAW hazard)

Даннови опасности: анти зависимост

Инструкцията зависи от инструкция 2 (инстр. 2 трябва да се изпълни преди инстр. 3)

```
1.   B = 3
2.   A = B + 1
3.   B = 7
```

Нарича се още зависимост от имената

Когато две инструкции използват един и същи регистър или адрес в паметта, но няма поток от данни между тези две инструкции. Има две версии на този тип зависимост

При настъпване на такава ситуация в конвейера се казва че има риск от запис след четене (WAR hazard)

Даннови опасности: изходна зависимост

Инструкцията зависи от инструкция 1 (инстр. 1 трябва да се изпълни преди инстр. 3)

```
1.   A = 2 * X
2.   B = A / 3
3.   A = 9 * Y
```

Нарича се още зависимост от имената

Когато две инструкции използват един и същи регистър или адрес в паметта, но няма поток от данни между тези две инструкции. Има две версии на този тип зависимост

При настъпване на такава ситуация в конвейера се казва че има риск от запис след запис (WAW hazard)

Зависимост от имената

Зависимостта от имената може да се избегне като се смени името в инструкцията, така че да няма конфликт

- Софтуерно преименуване (на регистри)
  Прави се от компилатора
- Хардуерно преименуване (на регистри)
  Прави се от процесора. Недостатък: по време на изпълнение

```
1.  A = 2 * X
2.  B = A / 3
3.  A = 9 * Y
```

```
1. A2 = 2 * X
2. B = A2 /3
3. A = 9 * Y
```

```
1.  B = 3
2.  A = B + 1
3.  B = 7
```

```
1. B = 3
2. B2 = B
3. A = B2 + 1
4. B = 7
```

Контролни опасности

Всяка инструкция е зависима от някакво множество преходи. Тези зависимости трябва да се спазват, за да може да се запази семантиката на програмата

```
if c1 {
  I1;
}
if c2 {
  I2;
}
```

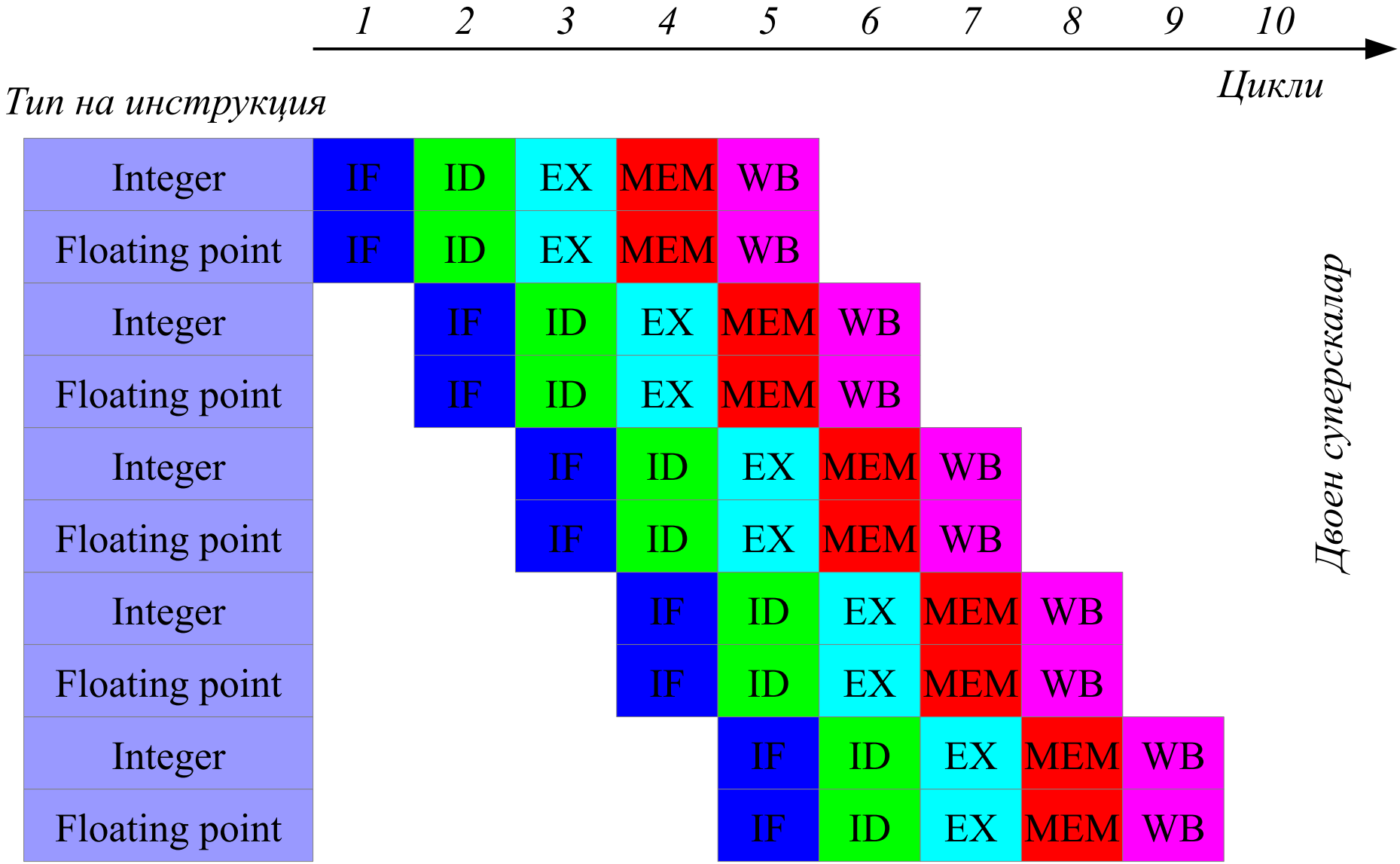
I1 зависи от условието c1, а I2 зависи от условието c2, но не и от c1.

Контролни опасности

Избягването на тези конфликти е трудно. Единственият начин е да не се спазва последователността от изпълнение. С други думи изпълнение на инструкции, които не би трябвало да се изпълняват и следователно водят до нарушаване на контролните зависимости. Това е приложимо само когато може да се запази семантиката на програмата.

Този вид изпълнение се нарича спекулативно изпълнение.

Суперскаларно изпълнение



Даннови опасности при ILP

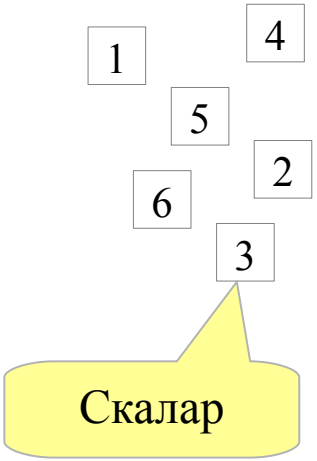
- Локализация на Instruction level parallelism
  Много инструкции да се изпълняват паралелно
- Хардуерът/Софтуерът трябва да запази редът на изпълнение на програмите
  Трябва да се запази редът на изпълнение на инструкциите и да изглежда така че те се изпълняват от последователно и следват сорс кода
- Важност на данновите зависимости:
  - Отбелязва възможни опасности
  - Определя редът, в който резултатите трябва да се калкулират
  - Ограничава отгоре колко паралелизъм може да се използва

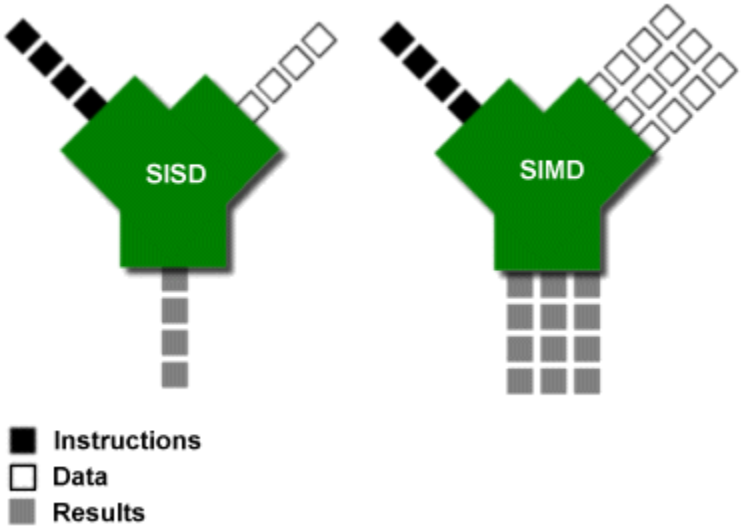
Крайна цел: използване на паралелизма като се запази последователното изпълнение само когато то има негативен ефект върху изпълнението на програмата

Мултимедийни инструкции

- SIMD (Single Instruction Multiple Data)
  Техниката се използва, за да се постигне паралелизъм на ниво данни като при векторните процесори
- Най-новата реализация на SIMD се нарича от Интел SSE

Мултимедийни инструкции





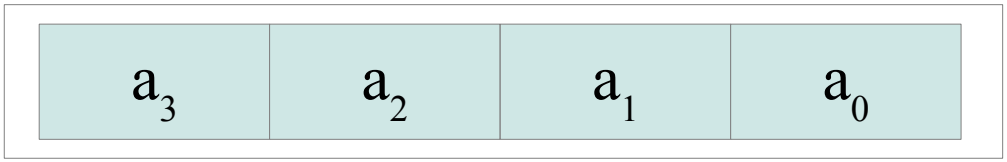
2	6	1	3	5	4
1	6	3	2	5	4
1	2	3	4	5	6

Вектор

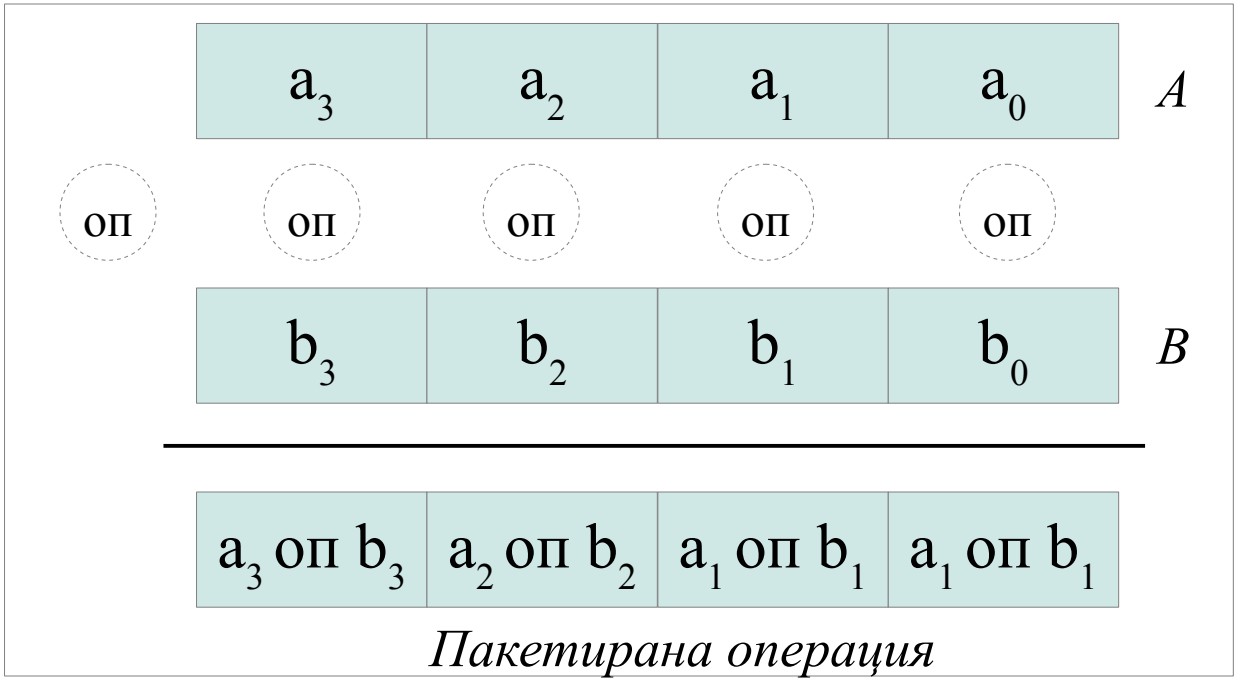
Мултимедийни инструкции

- Пакетиран тип данни

  Намират се в отделен регистров файл



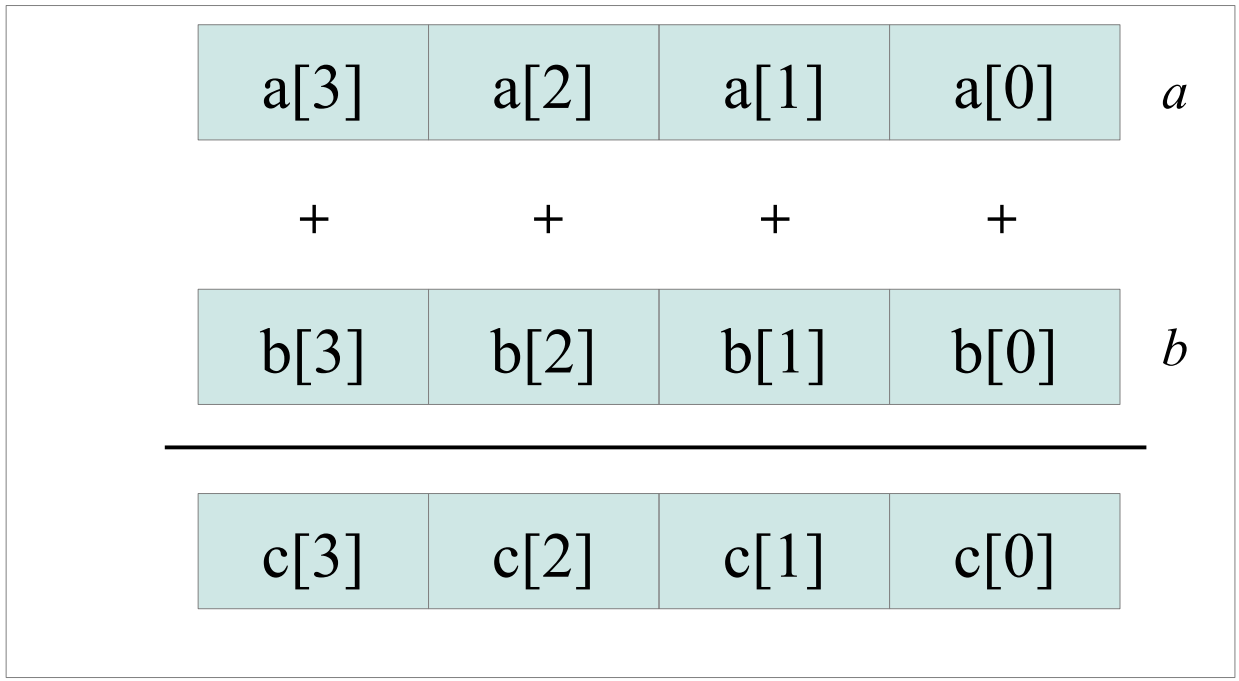
- SIMD



Мултимедийни инструкции

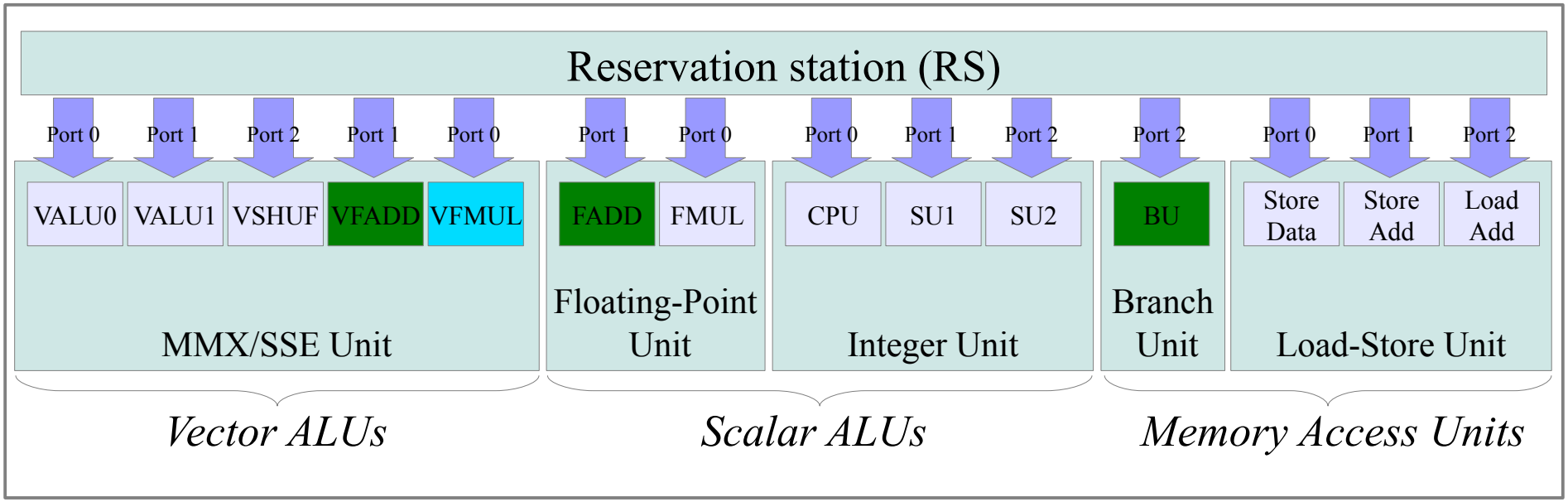
```
for(i=0; i< MAX; ++i)
  c[i] = a[i] + b[i];
```

- SIMD



Intel Core Микроархитектура. Суперскаларно изпълнение

- 3 Load/Store
- 1 Branch
- 3 Integer
- 2 Floating point
- 5 SSE



Спекулативно изпълнение

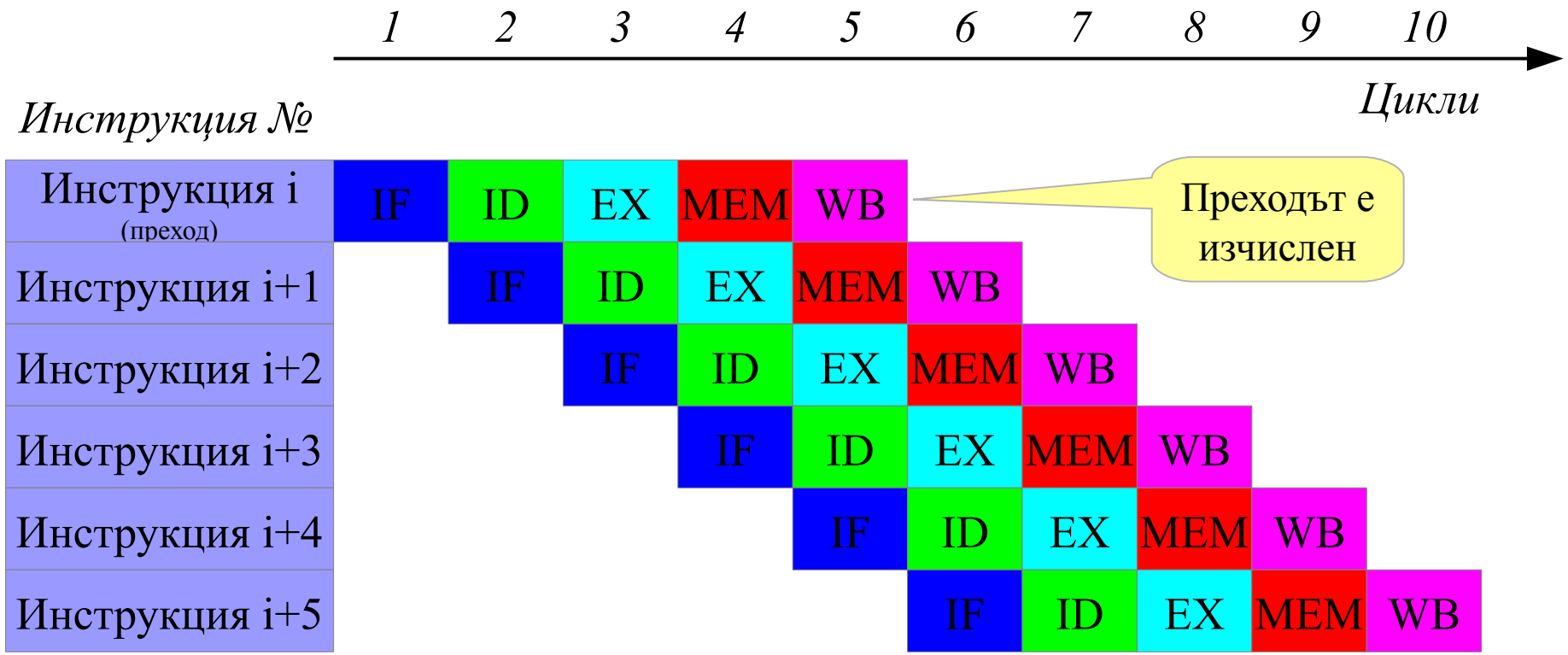
Различни механизми за предсказване

Постига се по-добра ILP като се преодоляват контролните зависимости чрез спекулиране на резултата от преходите и изпълнява програмата сякаш предсказанията са верни

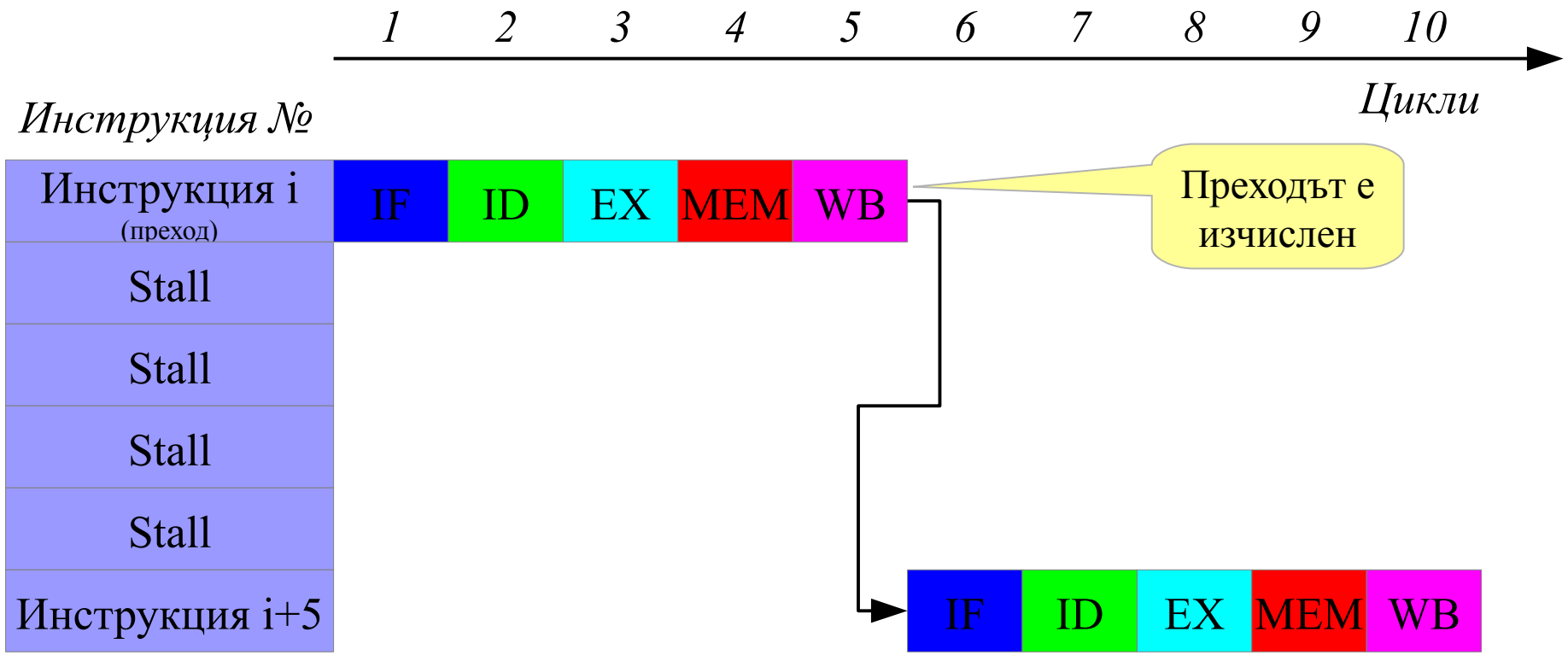
- Предсказване на преходи
- Предсказване на стойности
- Prefetching

  Предвиждане на начинът на достъп до паметта

Предсказване на преходи и спекулативно изпълнение



Предсказване на преходи и спекулативно изпълнение



Предсказване на преходи и спекулативно изпълнение

Механизмът за предсказване трябва да определи кое от двете разклонения на условието ще се изпълни

- Съвременните предсказващи системи са 99+% точни

  Дори могат да предсказват адресите от индиректните преходи

Извличат се и се изпълняват спекулативно предсказаните адреси

- Няма мехурчета в конвейера

Когато преходът най-накрая е оценен и адресът е ясен тогава спекулативното изпълнение се потвърждава или отхвърля