

The background features abstract, colorful swirls in shades of purple, green, and blue, interspersed with several yellow triangles pointing in various directions, creating a dynamic and artistic composition.

# **Архитектура VLIW / EPIC**

# Классификация архитектур

Скалярные



С параллелизмом  
на уровне команд (ILP)

Суперскалярные

VLIW / EPIC

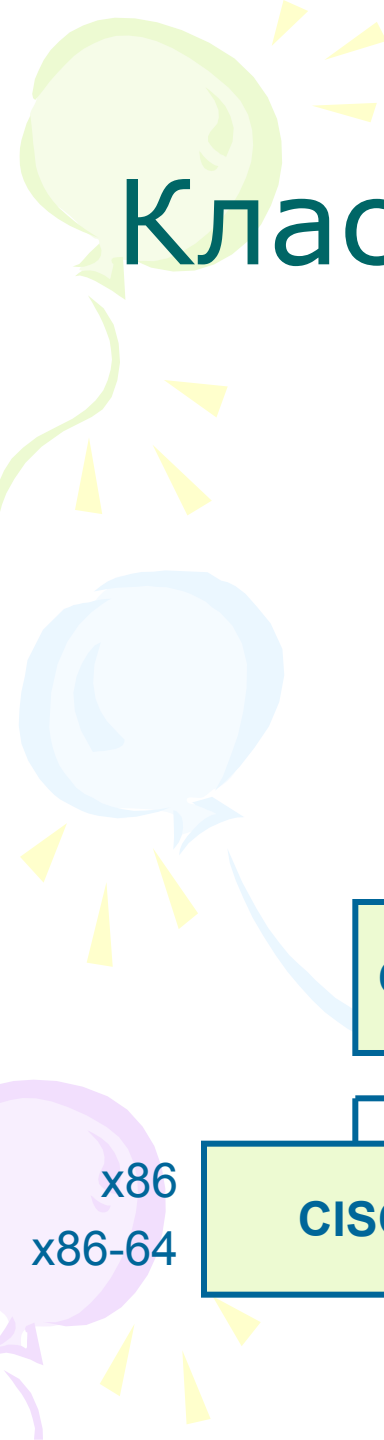
Itanium2  
Эльбрус 2000

CISC

RISC

Alpha  
Power, PowerPC  
SPARC  
MIPS

x86  
x86-64



# Параллелизм на уровне команд (Instruction Level Parallelism)

## **ILP-процессоры**

- Имеют несколько исполнительных устройств
- Могут исполнять несколько команд одновременно

## **Суперскалярные процессоры**

- Процессор сам распределяет ресурсы

## **VLIW / EPIC-процессоры**

Very Long Instruction Word /  
Explicitly Parallel Instruction Computing

- Компилятор распределяет ресурсы процессора

# Архитектура VLIW / EPIC

**VLIW** – Very Long Instruction Word

**EPIC** – Explicitly Parallel Instruction Computing

- На входе процессора последовательность больших команд, состоящих из нескольких простых операций, которые могут исполняться параллельно.
- Преимущества перед суперскалярами:
  - Меньше места на процессоре тратится на управление, больше остается на ресурсы: регистры, исполнительные устройства, кэш-память.
  - Более тщательное планирование дает лучшее заполнение исполнительных устройств (больше команд за такт).
- Недостатки:
  - Долгое время планирования потока команд.
  - Невозможность учесть динамику исполнения программы

# сравнение суперскалярных и VLIW/EPIC-процессоров

**Какие задачи управления приходится решать, чтобы процессор работал быстро:**

- Параллельное исполнение команд
  - Нужно найти независимые команды
- Спекулятивное исполнение команд
  - Нужно заранее угадать, выполнится ли переход
- Спекулятивная загрузка данных
  - Нужно проверить корректность преждевременной загрузки данных
- Размещение данных на регистрах
  - Нужно оптимально использовать регистры процессора

# сравнение суперскалярных и VLIW/EPIC-процессоров

**Какие задачи управления приходится решать, чтобы процессор работал быстро:**

- Параллельное исполнение команд
  - SS: Независимые команды ищет процессор
  - EPIC: Независимые команды ищет компилятор
- Спекулятивное исполнение команд
  - SS: Процессор автоматически предсказывает переход
  - EPIC: Компилятор подсказывает процессору как поступить
- Спекулятивная загрузка данных
  - SS: Процессор автоматически проверяет корректность
  - EPIC: Компилятор использует специальную команду проверки
- Размещение данных на регистрах
  - SS: Процессор автоматически отображает программные регистры на аппаратные и управляет стеком регистров
  - EPIC: Компилятор размещает данные на аппаратных регистрах и управляет стеком регистров с помощью специальных команд

# сравнение суперскалярных и VLIW/EPIC-процессоров

Какие про

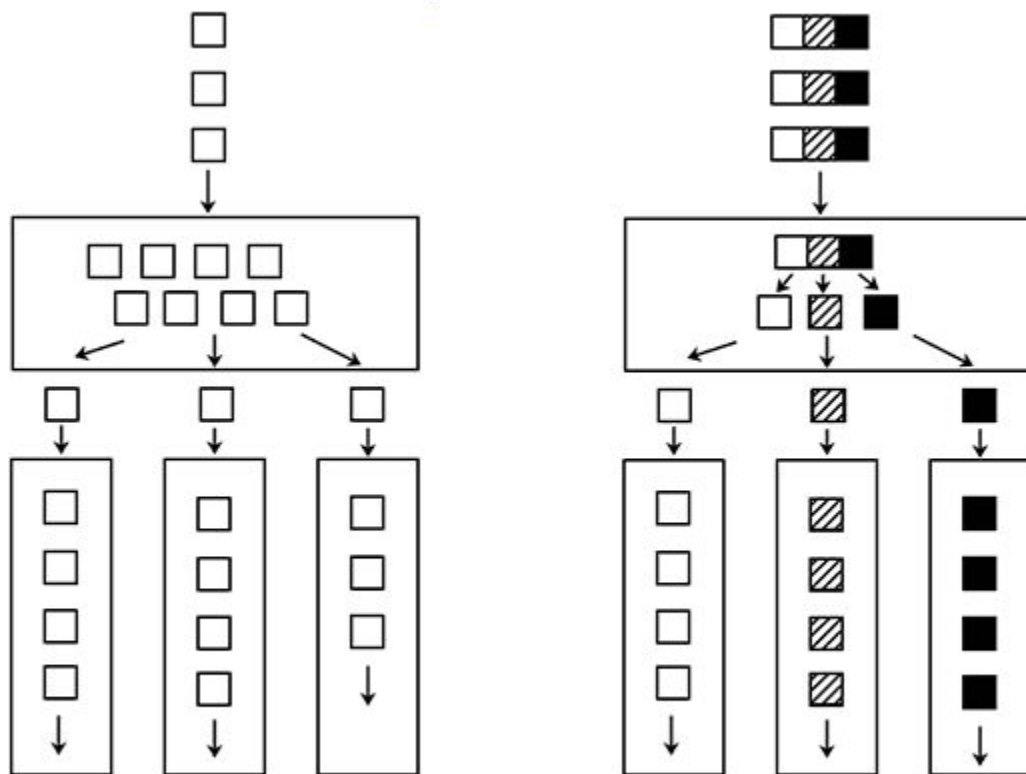
- Пар

- Спе

- Спе

- Разл

чтобы



Суперскалярный процессор

Архитектура VLIW

код

СТЬ

мные

ров

х

регистрах и управляет стеком регистров с помощью специальных команд

# сравнение суперскалярных и VLIW/EPIC-процессоров

**Какие задачи управления приходится решать, чтобы процессор работал быстро:**

- Параллельное исполнение команд
  - SS: Независимые команды ищет процессор
  - EPIC: Независимые команды ищет компилятор
- Спекулятивное исполнение команд
  - SS: Процессор автоматически предсказывает переход
  - EPIC: Компилятор подсказывает процессору
- Спекулятивная загрузка данных
  - SS: Процессор автоматически проверяет корректность
  - EPIC: Компилятор использует специальную команду проверки
- Размещение данных на регистрах
  - SS: Процессор автоматически отображает программные регистры на аппаратные и управляет стеком регистров
  - EPIC: Компилятор размещает данные на аппаратных регистрах и управляет стеком регистров с помощью специальных команд



# суперскалярных и VLIW/EPIC-процессоров

Суперскалярные	VLIW-EPIC
<p data-bbox="98 468 964 625"><b>Простой компилятор, процессор планирует поток команд</b></p> <p data-bbox="446 591 542 658">↓</p> <p data-bbox="98 715 964 758"><b>Меньше</b> команд за такт:</p> <ul data-bbox="98 779 964 829" style="list-style-type: none"><li>• 3, 4, 5 (в среднем &lt; 50%)</li></ul>	<p data-bbox="967 468 1818 572"><b>Сложный компилятор планирует поток команд</b></p> <p data-bbox="1387 591 1483 658">↓</p> <p data-bbox="967 658 1818 701"><b>Больше</b> команд за такт:</p> <ul data-bbox="967 722 1818 772" style="list-style-type: none"><li>• 6, 8, до 23 (в среднем &gt; 50%)</li></ul>
<p data-bbox="98 856 964 961"><b>Сложный исполнительный конвейер</b></p> <p data-bbox="446 968 542 1035">↓</p> <p data-bbox="98 1049 964 1153"><b>Меньше</b> места на кристалле для ресурсов процессора</p> <ul data-bbox="98 1175 964 1279" style="list-style-type: none"><li>• Исполнительные устройства</li><li>• Регистры, кэш-память</li></ul>	<p data-bbox="967 856 1818 961"><b>Простой исполнительный конвейер</b></p> <p data-bbox="1387 968 1483 1035">↓</p> <p data-bbox="967 1049 1818 1153"><b>Больше</b> места на кристалле для ресурсов процессора</p> <ul data-bbox="967 1175 1818 1279" style="list-style-type: none"><li>• Исполнительные устройства</li><li>• Регистры, кэш-память</li></ul>

# Сравнение конвейеров

CISC RISC VLIW

Этапы обработки команды



Предсказание ветвлений



Выборка



Декодирование в RISC



Переименование регистров



Переупорядочение и распараллеливание



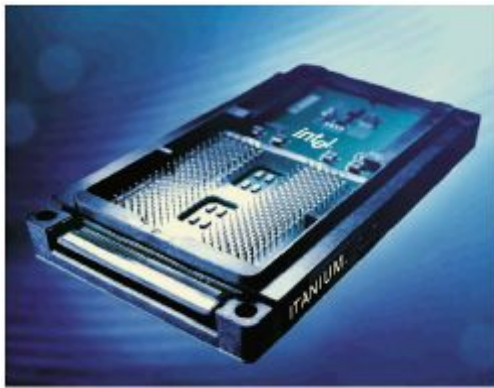
Исполнение



Завершение

# Архитектура VLIW / EPIC

- История
  - M-10 (1972)
  - Cydrome (1984-1988)
    - Cydra-5
      - 256 bit VLIW (7 ops.), reg. rotation., sw. pipeline
  - МК ЭЛЬБРУС 3 (1986-1994)
  - NXP Semiconductors
    - TriMedia (1987, 1997, ...)
      - VLIW / DSP, 5-8 ops., 256x128 bit regs, 45 FUs
  - Texas Instruments
    - C6000
      - VLIW / DSP



# Архитектура Itanium



★  
**HP/Intel IA64 architecture  
alliance announced**

← **Itanium 2 Processor Design** →

★  
**Itanium 2  
Products**

# Семейство процессоров Itanium

2001



Itanium  
(Merced)  
800 MHz  
4 MB L3 cache  
180 nm

2002



Itanium2  
(McKinley)  
1 GHz  
3 MB L3 cache  
180 nm

2003



Itanium2  
(Madison)  
1.5 GHz  
6 MB L3 cache  
130 nm

2006



Itanium2  
(Montecito)  
1.66 GHz  
2×12 MB L3  
cache  
2 cores  
HyperThreading  
90 nm

2010



Itanium  
(Tukwila)  
1.73 GHz  
24 MB L3 cache  
4 cores  
HyperThreading  
65 nm



# Архитектура Itanium (IA-64)

- **Явный ILP (параллелизм на уровне команд)**

- Компилятор объединяет команды процессора в связки, которые могут быть выполнены параллельно,
- Процессор обеспечивает большое число ресурсов для реализации ILP.

- **Способы увеличения ILP**

- Явная спекуляция по данным и управлению (уменьшает задержки по памяти),
- Предикатное исполнение команд (устраняет ветвления),
- Аппаратная поддержка программной конвейеризации циклов,
- Предсказание ветвлений.

- **Специальные способы увеличения производительности программ**

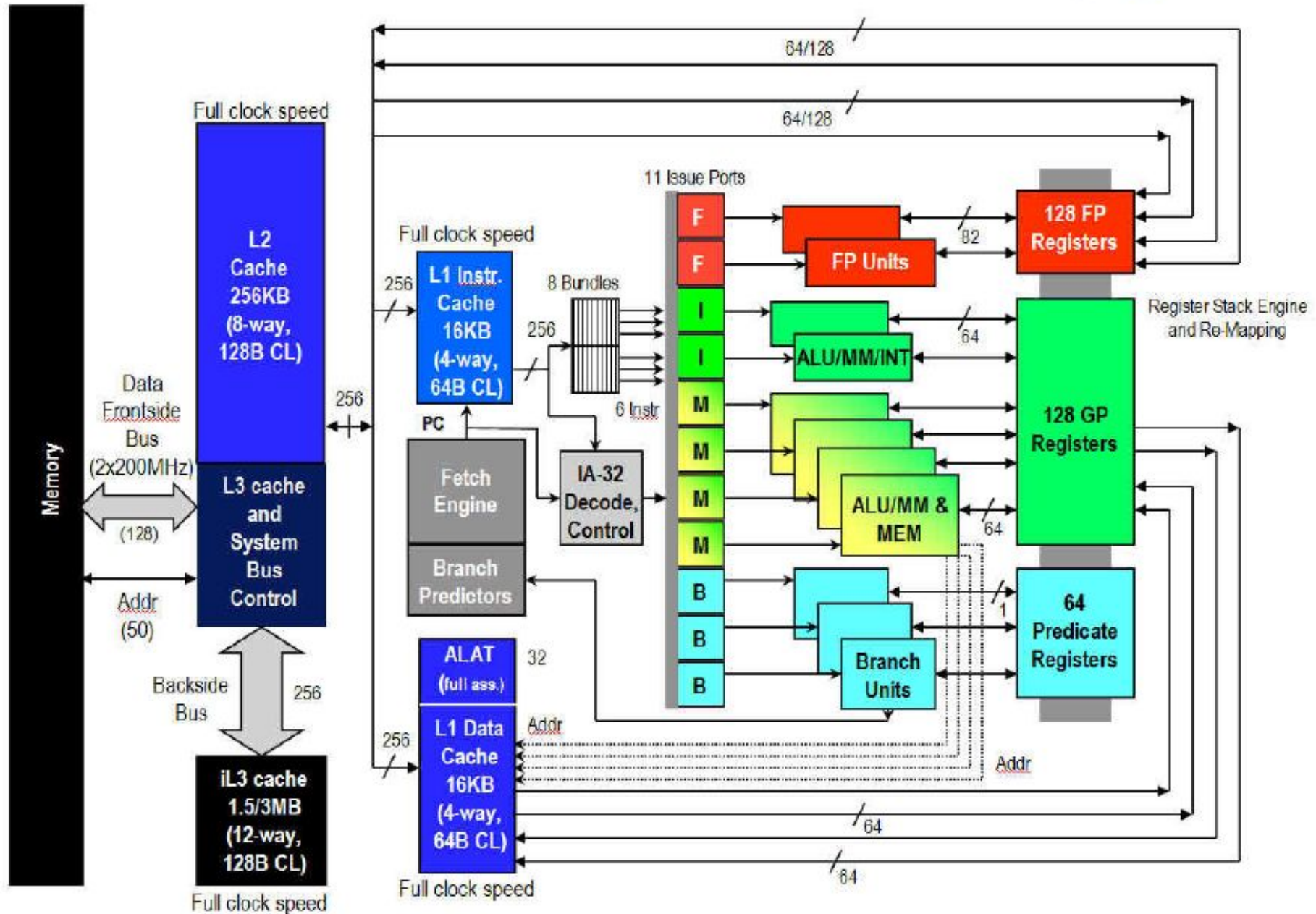
- Специальная поддержка модульности программ (регистровый стек, вращающиеся регистры),
- Высокопроизводительная вещественная арифметика,
- Специальные векторные инструкции.

# Особенности процессоров архитектуры Itanium (IA-64)

- Простой широкий конвейер
  - Много команд за такт (до 6)
- Большие вычислительные ресурсы
  - Много исполнительных устройств (11)
  - Большой объем (до 12 МВ) кэш-памяти
  - Большое число регистров (264)



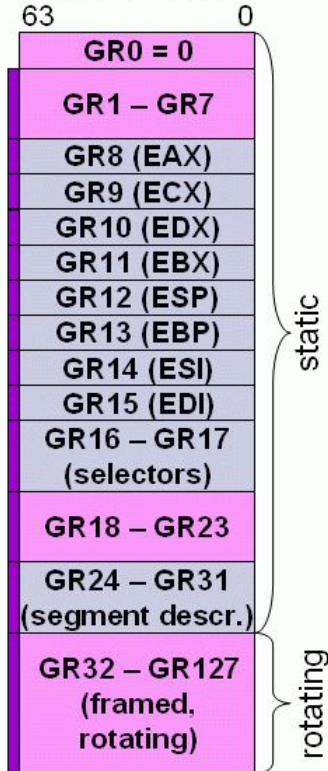
# Itanium<sup>®</sup> 2 Processor Block Diagram



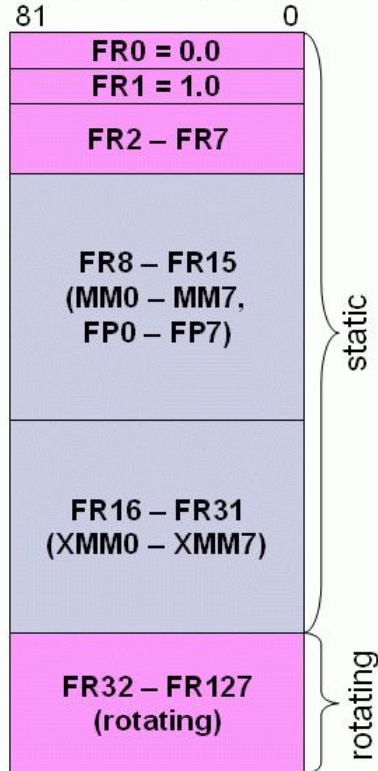
# Регистры IA-64

NaT bits

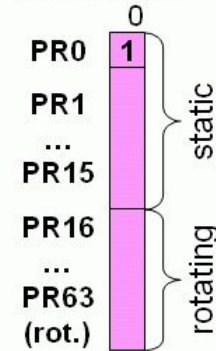
## General Registers



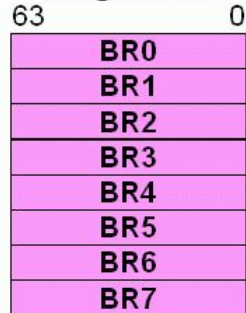
## Floating-Point Registers



## Predicate Registers



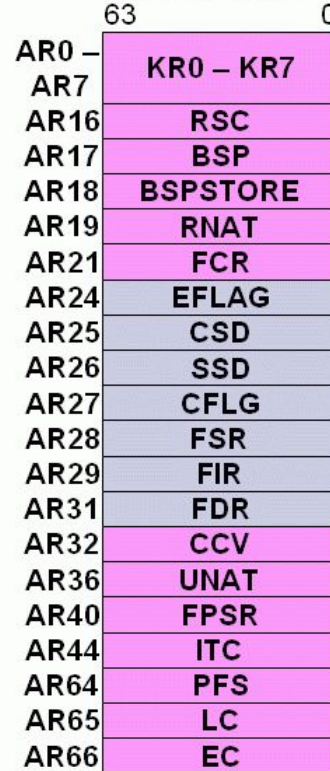
## Branch Registers



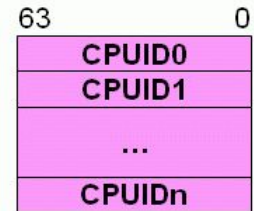
## Instruction Pointer



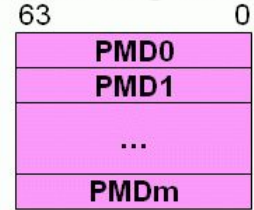
## Application Registers



## Processor Identifiers



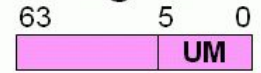
## Performance Monitor Data Registers



## Current Frame Marker



## Processor Status Register



User Mask

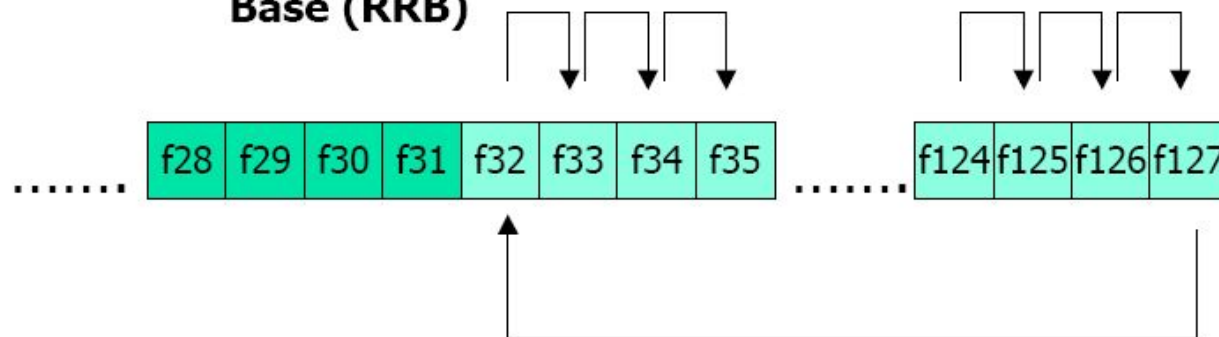
# Регистры IA-64

- 128 целочисленных регистра
  - 64 бита + 1 бит NAT
  - $r0 = 0$
  - целочисленные скалярные и векторные данные (1,2,4,8 байт)
- 128 вещественных регистра
  - 82 бита (17 + 64 + 1)
  - $f0 = 0.0$ ,  $f1 = 1.0$
  - вещественные скалярные и векторные данные (82, 2x32 бита)
- 64 предикатных регистра
  - 1 бит
  - $p0 = 1$
  - указания, выполнять ли команду
- 8 регистров ветвлений
  - 64 бита
  - адреса перехода
- 128 прикладных регистра
- Instruction Pointer

# Вращение регистров

- Верхние 75% регистров вращающиеся:
  - целочисленные: r32 – r127
  - вещественные: f32 – f127
  - предикатные: p16 – p63
- При выполнении специальной команды перехода (в цикле) вращающиеся регистры сдвигаются вправо на один:

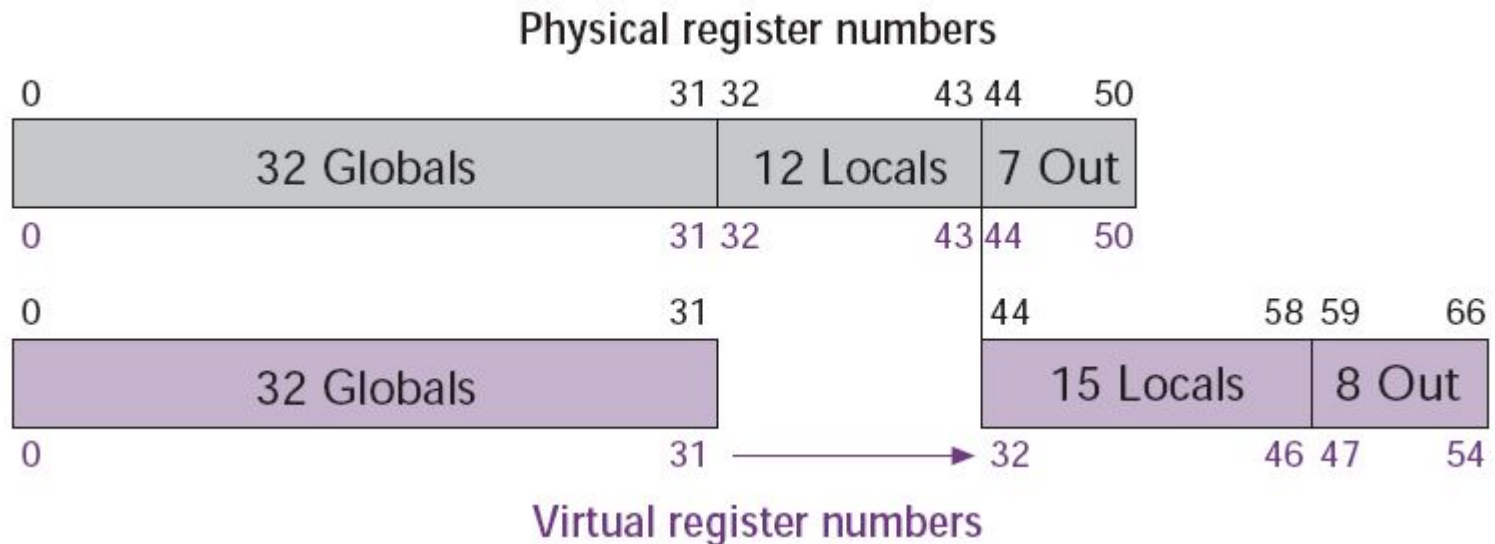
- **Virtual Register = Physical Register – Register Rotation Base (RRB)**



- Используется при программной конвейеризации циклов.

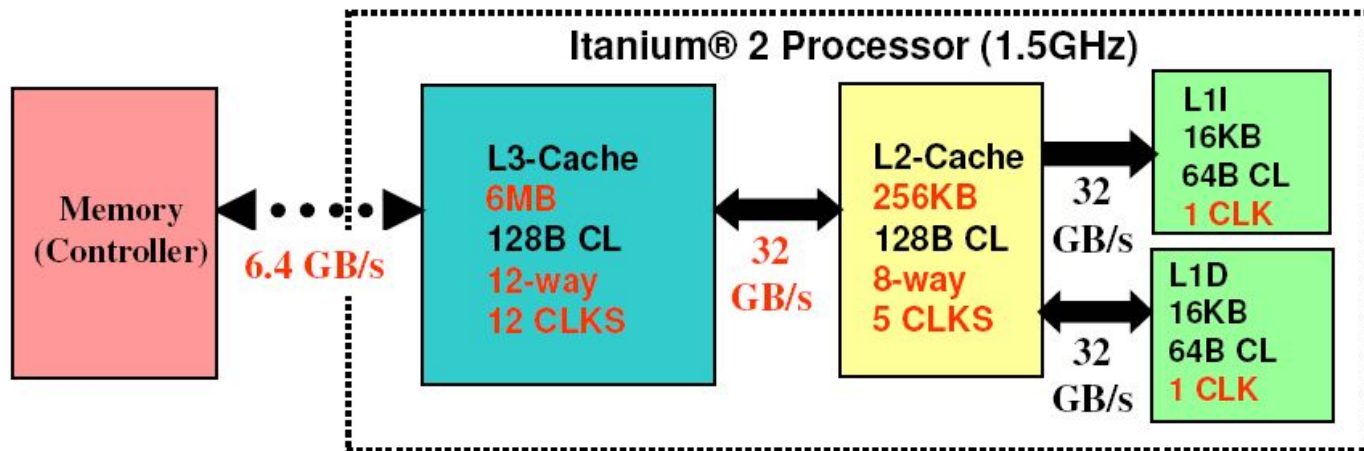
# Стек регистров

- При вызове подпрограмм и возврате происходит сдвиг регистрового окна – целочисленные регистры работают как стек.



- Для предотвращения «переполнения/переизбытка» регистров в памяти при «переполнении/переизбытке» стека работает аппаратура RSE (Register Stack Engine). Она приостанавливает выполнение команд, ждущих соответствующие регистры.

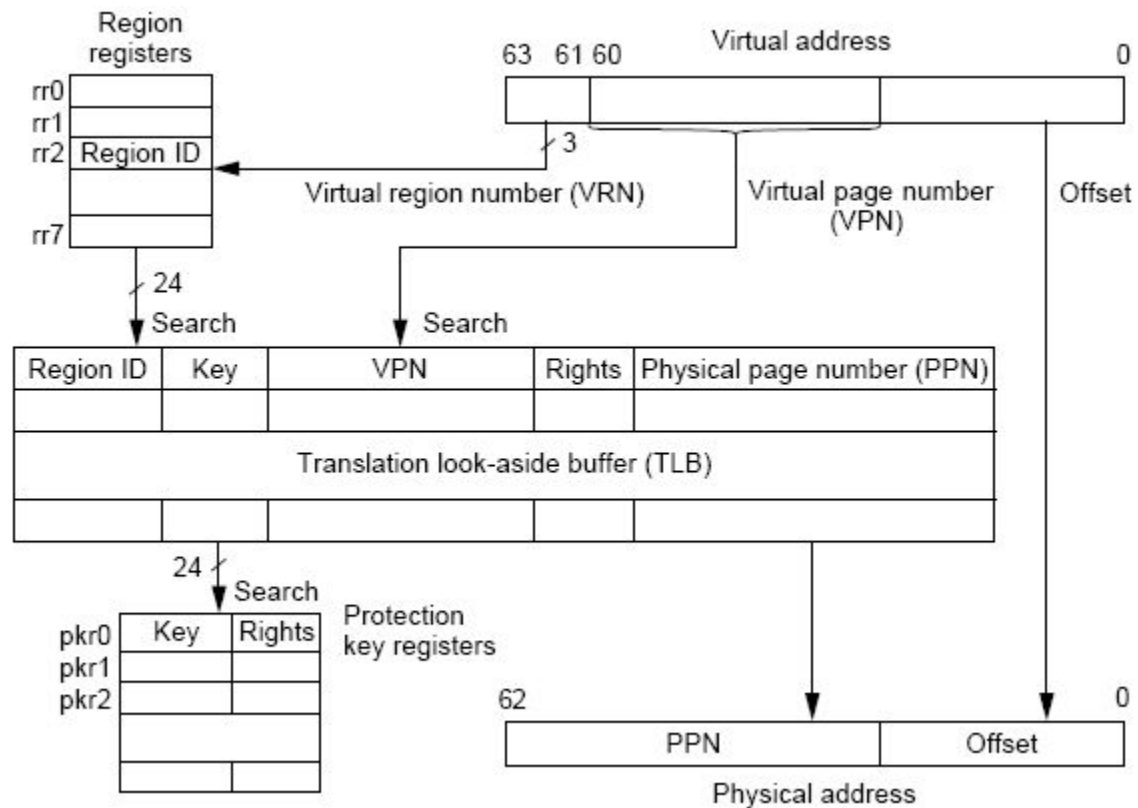
# Itanium2



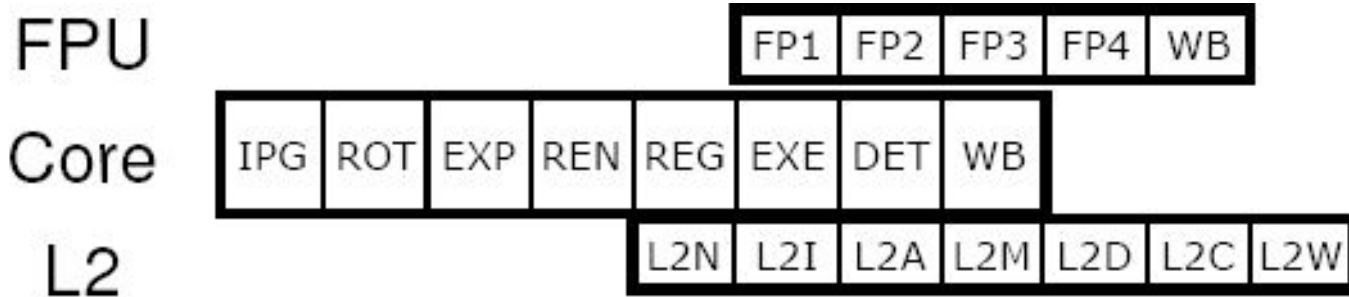
	L1I	L1D	L2	L3
Size	16K	16K	<b>256K</b>	<b>12M on die</b>
Line Size	64B	64B	128B	128B
Ways	4	4	<b>8</b>	<b>12</b>
Replacement	LRU	NRU	NRU	NRU
Latency (load to use)	<b>I-Fetch: 1</b>	<b>INT: 1</b>	<b>INT: 5</b> <b>FP: 6</b>	<b>INT: 12</b> <b>FP: 13</b>
Write Policy	-	WT (RA)	WB (WA + RA)	WB (WA)
Bandwidth	<b>R: 32 GBs</b>	<b>R: 16 GBs</b> <b>W: 16 GBs</b>	<b>R: 32 GBs</b> <b>W: 32 GBs</b>	<b>R: 32 GBs</b> <b>W: 32 GBs</b>

# Виртуальная память в IA-64

- 64-битное виртуальное адресное пространство
- Размер страницы: 4 KB – 4 GB
- 32 entry L1d TLB (4KB), 128 entry Data TLB (4KB-4GB)
- Схема преобразования виртуального адреса в физический:



# Конвейер Itanium2



<b>IPG</b>	Вычисление IP, чтение кэша L1I (6 инст.) и TLB.	<b>EXE</b>	Выполнение (6), обращение к кэшу L1D и TLB + обращение к тэгам L2 кэша (4)
<b>RO T</b>	Расцепление и буферизация инструкций.	<b>DET</b>	Обнаружение исключений, выполнение переходов
<b>EXP</b>	Разворачивание инструкции, назначение порта	<b>WB</b>	Завершение, запись регистрового файла
<b>RE N</b>	Переименование регистров (6 инстр.)	<b>FP1-W B</b>	Конвейер FP FMAC + запись результата в регистр
<b>REG</b>	Чтение регистровых файлов (6)	<b>L2N-L 2I</b>	L2 Queue Nominate / Issue (4)
		<b>L2A-W</b>	L2 Access, Rotate, Correct, Write (4)

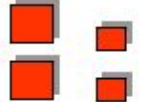
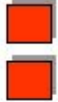
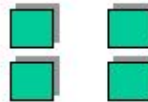
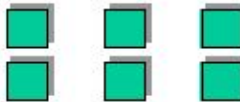
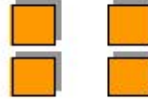
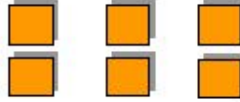

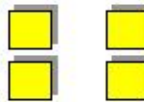
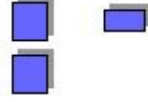
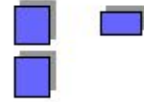
## Короткий 8-стадийный конвейер

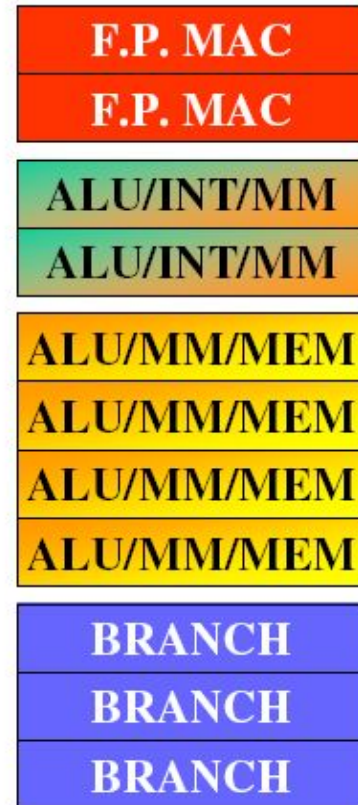
- Полностью детерминированный путь команд
- Упорядоченная выборка команд, неупорядоченное завершение
- Рассчитан на малые задержки при чтении данных!



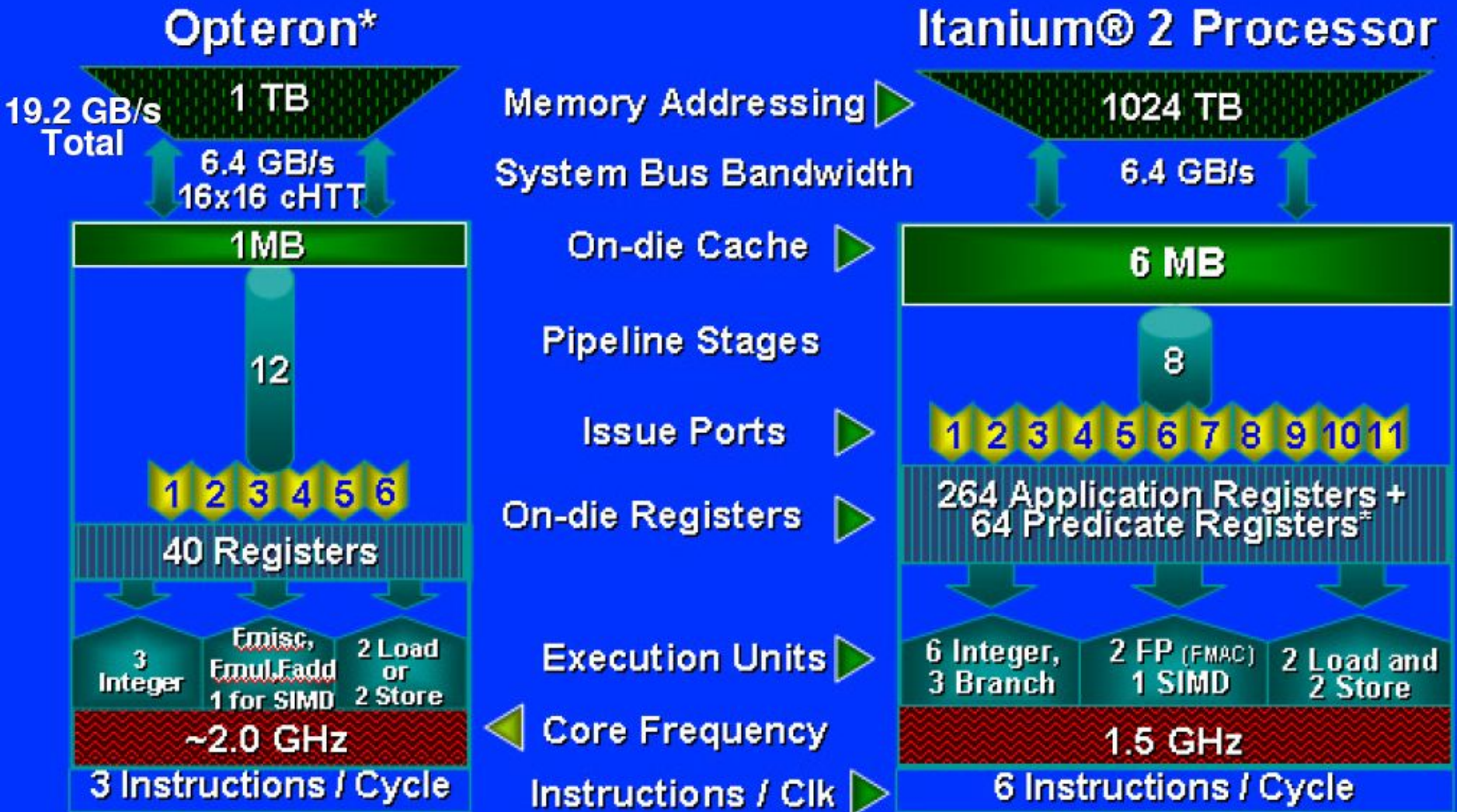
# Исполнительные устройства

## Issue Ports/Units

	Itanium <sup>®</sup>	Itanium <sup>®</sup> 2
<b>F.P.</b>		
<b>Integer</b>		
<b>Multimedia</b>		
<b>Load/Store</b>		
<b>Branch</b>		



# Сравнение Itanium2 и Opteron

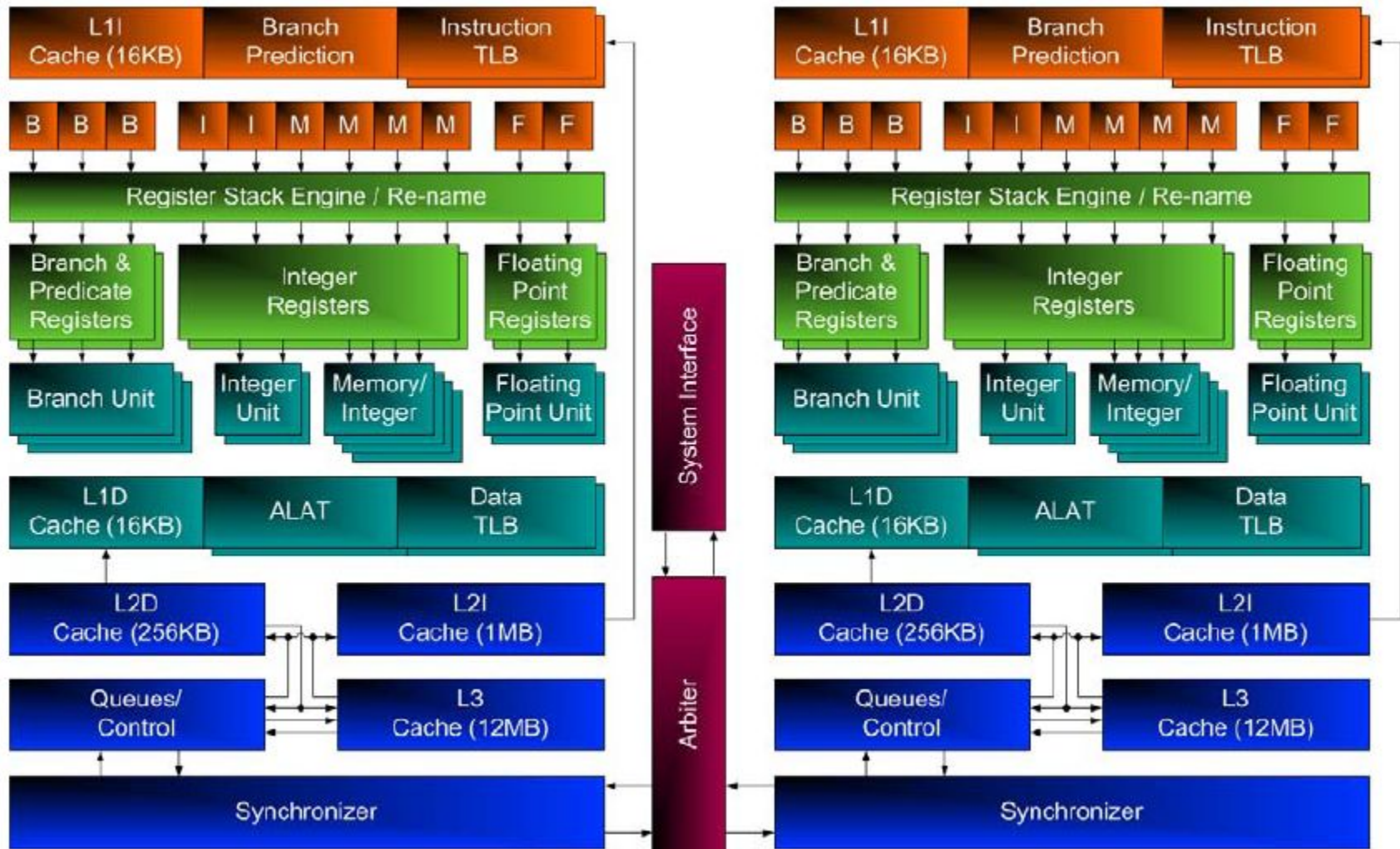


x86 with extra memory bits

Itanium Architecture

\* Intel's EPIC technology includes 64 single-bit predicate registers to accelerate loop unrolling and branch intensive code execution.

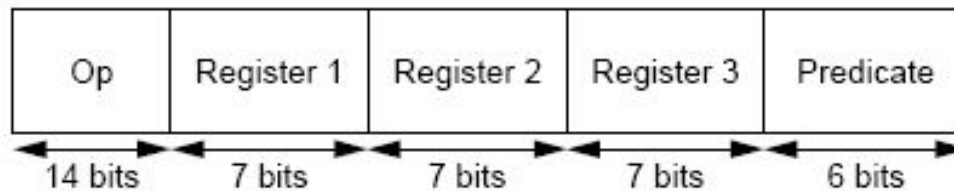
# Itanium2 Montecito (2006)



Montecito: 2 ядра по 2 потока (HyperThreading)

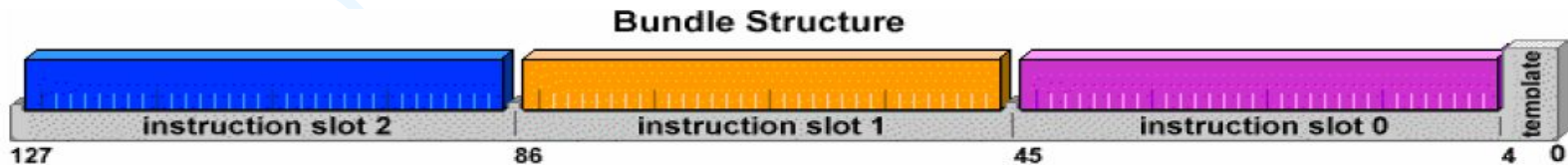
# Команды IA-64

- Команды IA-64 имеют RISC-подобный фиксированный формат:



– Пример команды: (p3) add r1 = r3, r4

- Команды IA-64 объединяются в связки по три:

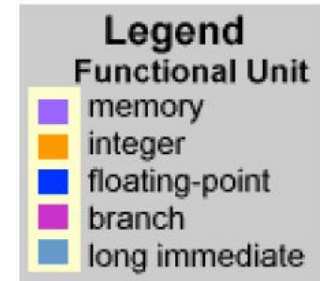




# Команды IA-64

- Всего возможно 24 различных шаблона:

**MII**    **MMF**    **MII<sub>s</sub>**    **MMF<sub>s</sub>**  
**MI<sub>s</sub>I**    **MIB**    **MI<sub>s</sub>IS**    **MIB<sub>s</sub>**  
**MLX\***    **MBB**    **MLX<sub>s</sub>\***    **MBB<sub>s</sub>**  
**MMI**    **BBB**    **MMI<sub>s</sub>**    **BBB<sub>s</sub>**  
**M<sub>s</sub>MI**    **MMB**    **M<sub>s</sub>MI<sub>s</sub>**    **MMB<sub>s</sub>**  
**MFI**    **MFB**    **MFI<sub>s</sub>**    **MFB<sub>s</sub>**



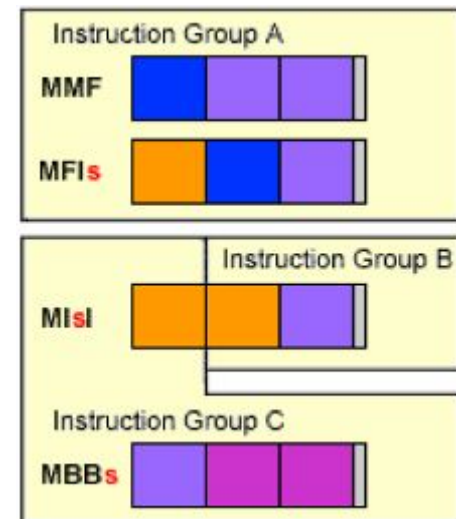
\* L+X is an extended type that is dispatched to the I-unit.

- Процессор загружает максимум по 2 связки за такт.
- Только некоторые сочетания шаблонов в связках могут полностью загрузить исполнительные устройства:

	MII	ML I	MMI	MFI	MMF	MIB	MBB	BBB	MBB	MFM
MII	Blue		Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Blue	Red
MLI	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Red	Blue	Red	Blue	Red
MMI	Blue		Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Blue	Blue
MFI	Blue	Red	Blue	Red	Blue	Red	Red	Red	Blue	Red
MMF	Blue		Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Red	Blue	Blue
MIB*	Blue	Red	Blue	Red	Blue	Red			Blue	Red
MBB										
BBB										
MMB*	Blue		Blue	Blue	Blue	Blue	Blue		Blue	Blue
MFB*	Red	Red	Blue	Red	Blue	Red			Blue	Red

\* hint in first bundle

Possible Itanium 2 full issue  
 Possible Itanium processor and Itanium 2 full issue



# Команды IA-64

- Логические (and, ...)
- Арифметические (add, ...)
- Команды сравнения (cmp, ...)
- Команды сдвига (shl, ...)
- SIMD целочисленные (ptru, ...)
- Команды ветвлений (br, ...)
- Команды управления циклом (br.cloop, ...)
- Вещественные (fma, ...)
- SIMD вещественные (fpma, ...)
- Команды чтения / записи данных в памяти (ld, ...)
- Команды присваивания (mov, ...)
- Команды управления кэшированием (lfetch, ...)

# Особенности целочисленной арифметики в Itanium2

- До 6 операций за такт
- Операция fma ( $y=a*b+c$ ) выполняется на регистрах FR
- Реализованы некоторые операции над некоторыми векторами (1B, 2B, 4B)
- Целочисленное деление реализуется программно

– Пример деления 32-битных целых чисел:

(1)  $y_0 = 1 / b \cdot (1 + \epsilon_0)$ ,  $|\epsilon_0| < 2^{-8.886}$

(2)  $q_0 = (a \cdot y_0)_{rn}$

(3)  $e_0 = (1 - b \cdot y_0)_{rn}$

(4)  $q_1 = (q_0 + e_0 \cdot q_0)_{rn}$

(5)  $e_1 = (e_0 \cdot e_0 + 2^{-34})_{rn}$

(6)  $q_2 = (q_1 + e_1 \cdot q_1)_{rn}$

(7)  $q = \text{trunc}(q_2)$

table lookup

82-bit register format precision

82-bit register format precision

82-bit register format precision

82-bit register format precision

82-bit register format precision

floating point to signed integer conversion (RZ mode)

$$q = \left\lfloor \frac{a}{b} \right\rfloor$$



# Особенности вещественной арифметики в Itanium2

- Максимальная производительность
  - 2 за такт: двойная точность
  - 4 за такт: одинарная точность (SIMD)
- Основная операция
  - $fma: f = a * b + c$  (4 такта)
- Быстрое преобразование значений между целыми и вещественными регистрами
  - $FP \rightarrow INT$  (getf): 5 тактов
  - $INT \rightarrow FP$  (setf): 6 тактов
- Операции деления (вещественного и целочисленного) и взятия квадратного корня реализованы программно

# Особенности вещественной арифметики в Itanium2

- Вещественное деление (32-bit float)

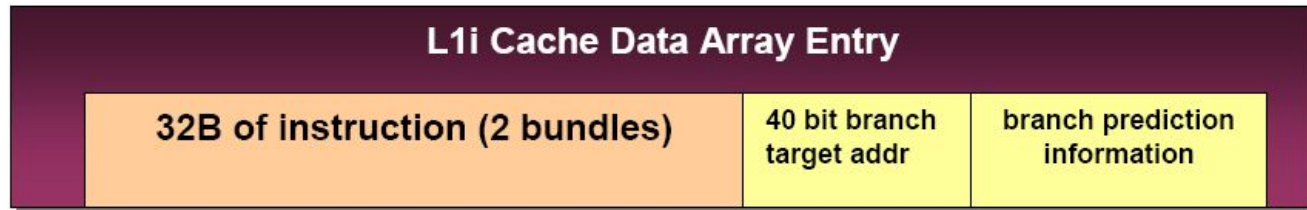
(1) $y_0 = 1 / b \cdot (1 + \epsilon_0)$ , $ \epsilon_0  < 2^{-8.886}$	table lookup
(2) $d = (1 - b \cdot y_0)_{rn}$	82-bit register format precision
(3) $e = (d + d \cdot d)_{rn}$	82-bit register format precision
(4) $y_1 = (y_0 + e \cdot y_0)_{rn}$	82-bit register format precision
(5) $q_1 = (a \cdot y_1)_{rn}$	17-bit exponent, 24-bit mantissa
(6) $r = (a - b \cdot q_1)_{rn}$	82-bit register format precision
(7) $q = (q_1 + r \cdot y_1)_{rnd}$	single precision

- Вычисление корня (32-bit float)

(1) $y_0 = (1 / \sqrt{a}) \cdot (1 + \epsilon_0)$ , $ \epsilon_0  < 2^{-8.831}$	table lookup
(2) $H_0 = (0.5 \cdot y_0)_{rn}$	82-bit register format precision
(3) $S_0 = (a \cdot y_0)_{rn}$	82-bit register format precision
(4) $d = (0.5 - S_0 \cdot H_0)_{rn}$	82-bit register format precision
(5) $d' = (d + 0.5 \cdot d)_{rn}$	82-bit register format precision
(6) $e = (d + d \cdot d')_{rn}$	82-bit register format precision
(7) $S_1 = (S_0 + e \cdot S_0)_{rn}$	17-bit exponent, 24-bit mantissa
(8) $H_1 = (H_0 + e \cdot H_0)_{rn}$	82-bit register format precision
(9) $d_1 = (a - S_1 \cdot S_1)_{rn}$	82-bit register format precision
(10) $S = (S_1 + d_1 \cdot H_1)_{rnd}$	single precision

# Предсказание ветвлений в Itanium2

- ВНТ – таблица истории ветвлений
  - Адрес перехода и информация о предсказании в кэше L1i



- Таблица на 12К 4-битных историй
- Pattern History Table
  - Таблица на 16К 2-битных счетчиков
- RSB – Буфер стека возврата
  - 8 элементов
- Предсказание косвенных переходов
  - Использует 8 регистров ветвлений, подсказки компилятора
- Механизм предсказания выхода из циклов
  - Использует специальные счетчики

# Предвыборка инструкций в Itanium2

- Автоматическая предвыборка следующей кэш-строки в кэш команд L1, если она содержится в кэше L2.
- Подсказка компилятора в команде перехода:
  - br.few <address>
  - br.many <address>
- Подсказка компилятора:
  - brp.few <address>
  - brp.many <address>
  - Move address to Branch Register

# Фрагмент кода на ассемблере для IA-64

Синтаксис инструкций:

**(qp) ops[.comp<sub>1</sub>]     r<sub>1</sub> = r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub>**

```
.b7_12:
{
    .mmf
    (p16)ld4      r38=[r29],8
    (p17)shladd   r47=r27,3,r45
    (p21)fma.d    f36=f38,f1,f42
}
{
    .mmi
    (p17)ldfd     f32=[r39]
    (p16)ld4.s    r64=[r24],8
                nop.i    0 ;;
}
{
    .mii
    (p16)ld4      r46=[r19],8
    (p16)sxt4     r63=r38
    (p16)shladd   r39=r64,3,r45
}
{
    .mmb
    (p17)ldfd     f38=[r47]
    (p17)lfetch.nt1 [r32]
                nop.b    0 ;;
}
{
    .mfi
    (p16)shladd   r38=r63,3,r45
    (p20)fma.d    f42=f44,f1,f35
    (p16)sxt4     r27=r46
}
{
    .mib
    (p16)lfetch.nt1 [r17],8
    (p16)add      r32=1,r33
                br.ctop.sptk .b7_12 ;;
}
```

# средства повышения производительности в IA-64

- Предикатное исполнение команд
- Аппаратные счетчики циклов
- Спекуляция по данным и управлению
- Регистровый стек, RSE
- Аппаратная поддержка программной конвейеризации циклов

# Предикатное исполнение команд

- Позволяет зависимости по управлению (т.е. условные переходы) преобразовать в зависимости по данным.
- Пример: **if (a==b) y=4; else y=3;**

## Unpredicated Code

```
cmp a, b
jump EQ
y=3
jump END
```

```
EQ: y=4
```

```
END:
```

## Predicated Code

```
cmp.eq p1, p2=a, b
p1 y=4
p2 y=3
```

# Аппаратные счетчики циклов

- Архитектурная поддержка циклов
  - По специальной команде перехода счетчики автоматически уменьшаются и делается проверка на выход из цикла
  - Можно не задействовать регистры общего назначения.

- Пример:

```
mov ar.lc = 10 ;;
```

```
Label:
```

```
... тело цикла ...
```

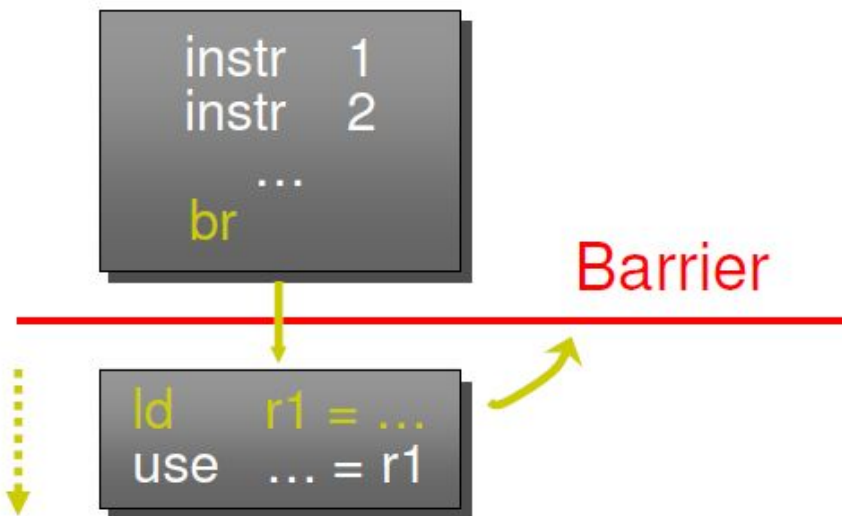
```
br.cloop.sptk Label
```



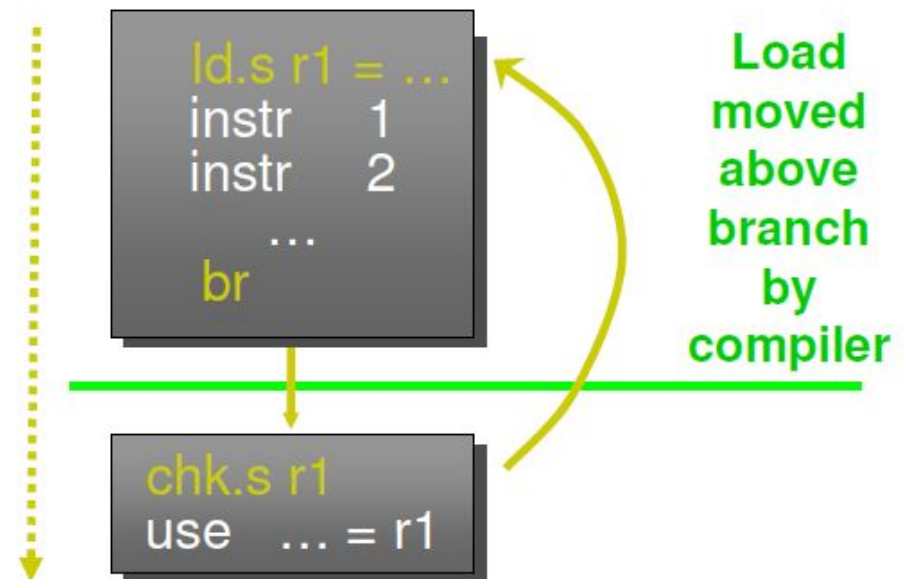
# Спекуляция по управлению

- Команды загрузки могут выполняться до того, как обнаружится, что это действительно нужно

**Traditional Architectures**



**IA-64**

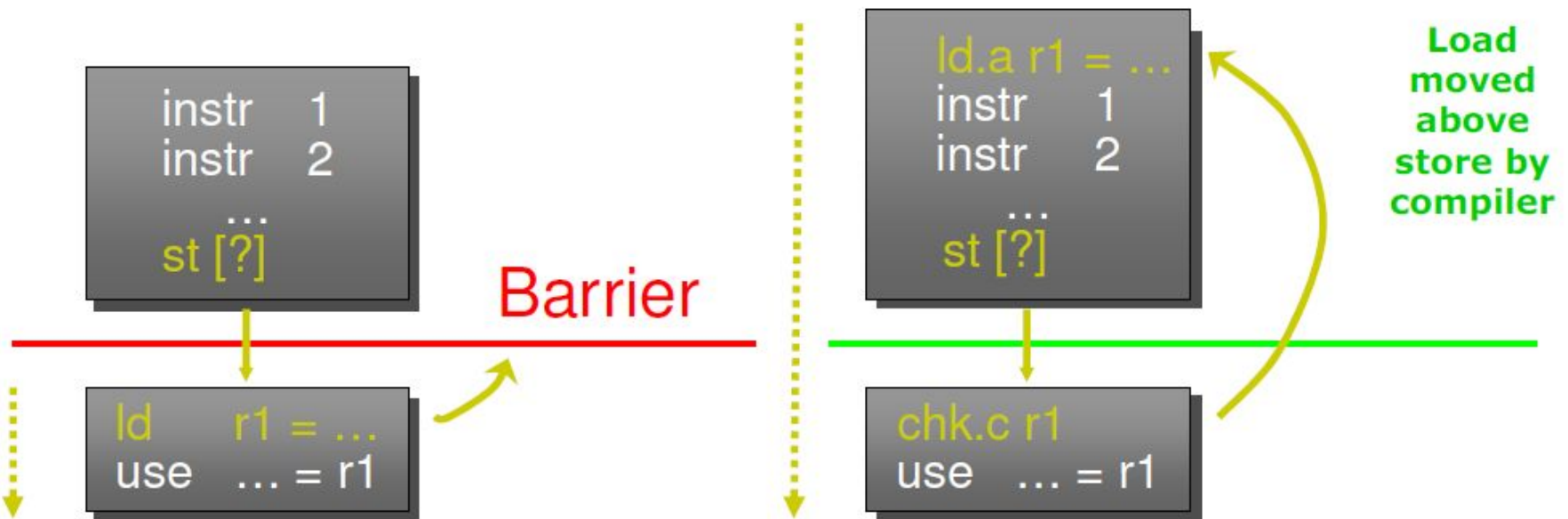


# Спекуляция по данным

- Команды загрузки могут выполняться до того, как обнаружится, что это действительно можно

**Traditional Architectures**

**IA-64**





# Программная конвейеризация цикла

- Архитектурная поддержка параллельного исполнения команд цикла.
- Выполняется с помощью:
  - Предикатных регистров
  - Аппаратных счетчиков цикла
  - Вращающихся регистров
  - Специальных команд перехода



# Software Pipelining Example

## C Code Example

```
int n=5, i;  
for(i=0;i<n;i++)  
    y[i]=x[i]+1
```

## Pseudo Assembly Code

```
// Initialization  
    mov pr.rot      = 0  
// Clear all rotating predicate registers  
    cmp.eq p16,p0 = r0,r0 // Set p16=1  
    mov ar.lc      = 4 // Set LC to n-1  
    mov ar.ec      = 3  
// Set epilog counter to 3  
    ...  
// loop  
loop:  
    (p16) ld1 r32 = [r12],1 // #1: load x  
    (p17) add r34 = 1,r33 // #2: y=x+1  
    (p18) st1 [r13] = r35,1 // #3: store y  
// Branch back  
    br.ctop.sptk.few loop
```

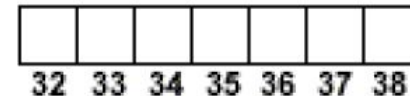


# Software Pipelining Example, ...

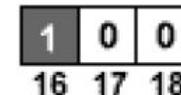
- This simulation assumes 5 iterations and one-cycle latencies.

```
loop:  
  (p16)  ld1  r32  = [r12],1  
  (p17)  add  r34  = 1,r33  
  (p18)  st1  [r13] = r35,1  
        br.ctop loop
```

General Registers



Predicate Registers



LC

4

EC

3





# Software Pipelining Example, ...

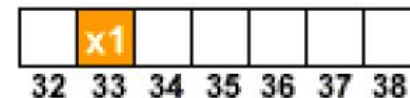
- This is the first iteration in the prolog stage. Only the load instruction executes.
  - The add and store instructions are executed as NOPs.
  - After the branch instruction, the data rotates from register GR 32 to GR 33.
  - p17=p16=1 and LC decrements to 3.

**loop:**

```

(p16) ld1 r32 = [r12],1
(p17) add r34 = 1,r33
(p18) st1 [r13] = r35,1
      br.ctop loop
    
```

General Registers



Predicate Registers



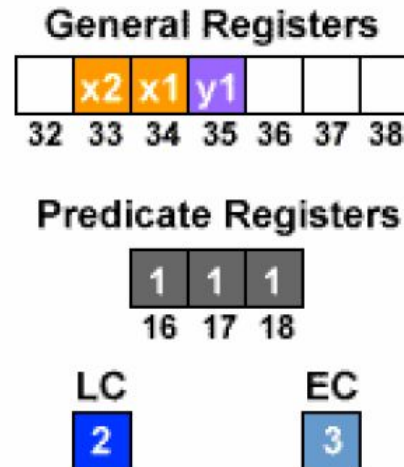


# Software Pipelining Example, ...

- This is the second and last iteration in the prolog stage. The add instruction also executes.
  - After the branch instruction the data rotates from registers GR 32-34 to GR 33-35.
  - p18=p17=p16=1 and LC decrements to 2.

```

loop:
(p16)  ld1  r32    = [r12], 1
(p17)  add  r34    = 1, r33
(p18)  st1  [r13] = r35, 1
       br.ctop loop
    
```





# Software Pipelining Example, ...

- This is the kernel stage. All three instructions execute.
  - After each branch instruction the data rotates and LC decrements.
  - At the end of this stage LC=0 and EC decrements to 2.

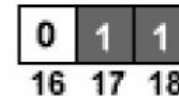
```

loop:
(p16)  ld1  r32    = [r12],1
(p17)  add  r34    = 1,r33
(p18)  st1  [r13] = r35,1
      br.ctop loop
    
```

General Registers



Predicate Registers



LC



EC







# Software Pipelining Example, ...

- This is the first iteration of the epilogue stage. Only the add and store instructions execute.
  - At the end of this iteration p16=p17=0 p18=1 and EC decrements to 1

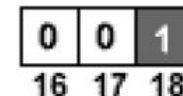
```

loop:
(p16) ld1 r32    = [r12],1
(p17) add r34    = 1,r33
(p18) st1 [r13] = r35,1
      br.ctop loop
    
```

General Registers



Predicate Registers



LC



EC





# Software Pipelining Example, ...

- This is the second and last iteration of the epilogue stage. Only the store instruction executes.
  - At the end of this iteration  $EC=0$ ,  $p16=p18=p17=0$

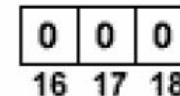
```

loop:
(p16) ld1 r32    = [r12],1
(p17) add r34    = 1,r33
(p18) st1 [r13] = r35,1
      br.ctop loop
    
```

General Registers



Predicate Registers



LC



EC



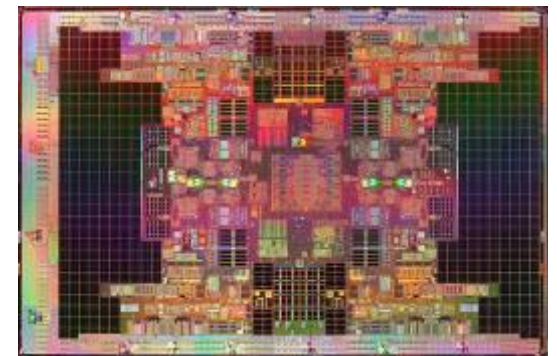
# Процессоры Itanium 9300 (Tukwila)

## Особенности нового Itanium-а

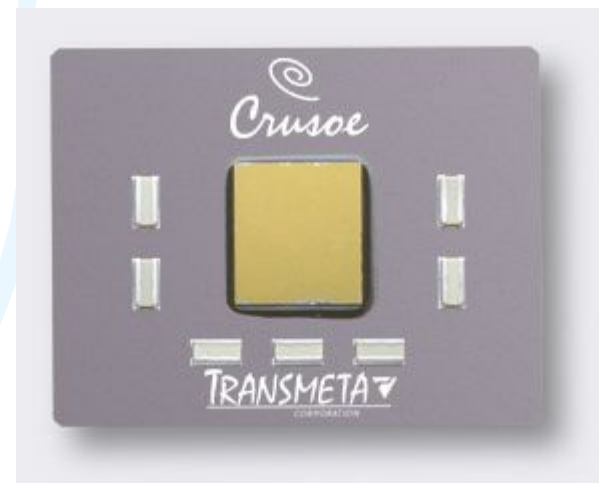
- Частота: до 1.73 GHz
- Режим Turbo boost: до 1.86 GHz
- 4 ядра
- Hyperthreading – 2 потока на ядро
- Интегрированный контроллер памяти
- Шина QPI – Quick Path Interconnect



Первый в мире процессор, содержащий более 2 млрд. транзисторов



# Процессоры Transmeta



# Процессоры Transmeta

## Особенности архитектуры

- Архитектура VLIW
- Динамическая трансляция кода: x86  $\square$  VLIW
- Интегрированный северный мост
- Ориентация на низкое энергопотребление

## Процессоры

- Crusoe (2000) 1.0 GHz
- Efficion (2003) 1.7 GHz

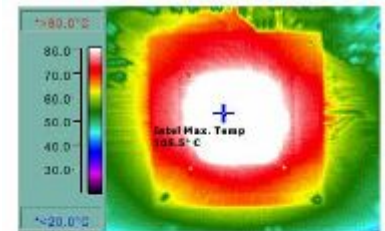


Figure 3. A Pentium III processor plays a DVD at 100°C (212°F).

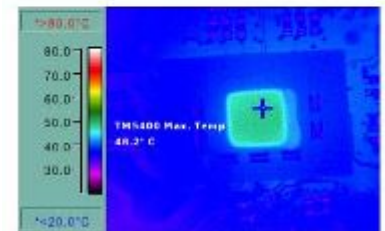
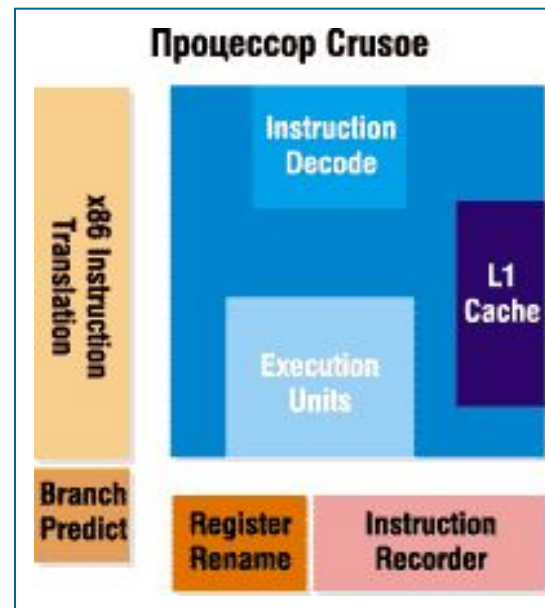


Figure 4. A Crusoe processor model TM5000 plays a DVD at 48°C (118°F).

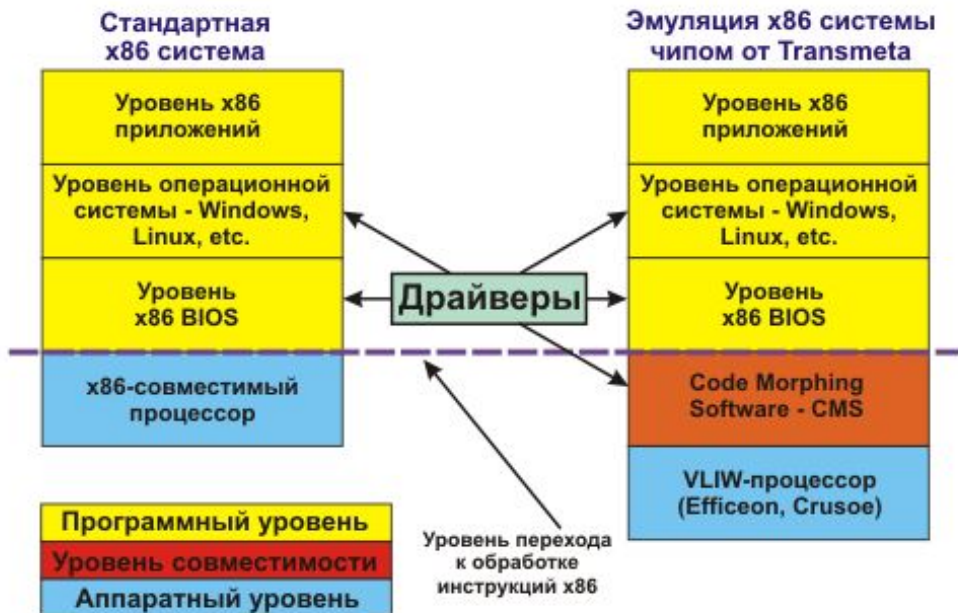
# Динамическая двоичная КОМПИЛЯЦИЯ

- Технология Code Morphing
  - Преобразование команд x86 в команды VLIW
  - Хранение транслированного кода в специальной области памяти (32 МВ)
  - Динамическая оптимизация VLIW-кода



# Динамическая двоичная КОМПИЛЯЦИЯ

- Технология Code Morphing
  - Преобразование команд x86 в команды VLIW
  - Хранение транслированного кода в специальной области памяти (32 МВ)
  - Динамическая оптимизация VLIW-кода



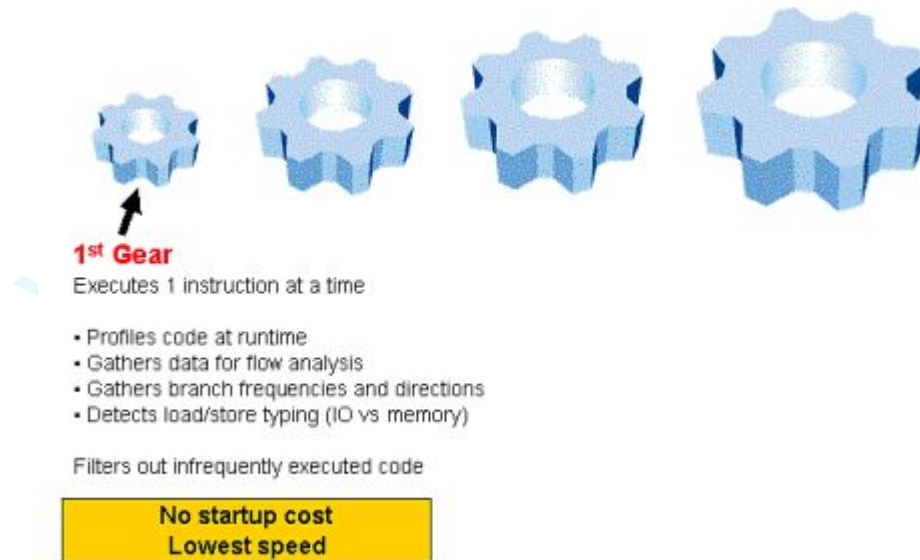
Простое изменение  
входной

системы команд

- исправление ошибок
- оптимизация процесса трансляции
- расширение системы команд
- поддержка различных программных архитектур

# Динамическая двоичная КОМПИЛЯЦИЯ

- Технология Code Morphing
  - Преобразование команд x86 в команды VLIW
  - Хранение транслированного кода в специальной области памяти (32 MB)
  - Динамическая оптимизация VLIW-кода





# Динамическая двоичная КОМПИЛЯЦИЯ

- Технология Code Morphing
  - Преобразование команд x86 в команды VLIW
  - Хранение транслированного кода в специальной области памяти (32 MB)
  - Динамическая оптимизация VLIW-кода



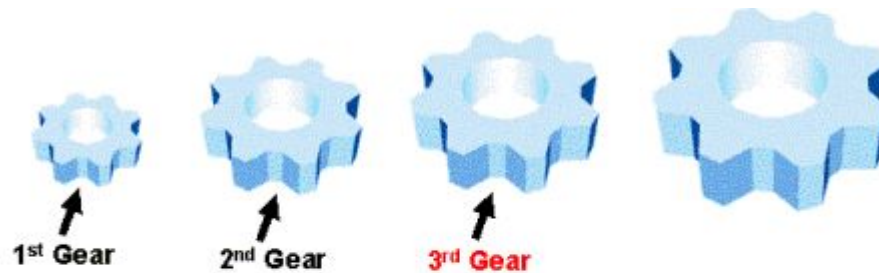
Uses profile data to create initial translations after code reaches 1<sup>st</sup> threshold.

- Translates a "Region" of up to 100 x86 instructions.
- Adds flow graph "Shape" information
- Light Optimization
- "Greedy" scheduling

**Low translation overhead**  
**Fast execution**

# Динамическая двоичная КОМПИЛЯЦИЯ

- Технология Code Morphing
  - Преобразование команд x86 в команды VLIW
  - Хранение транслированного кода в специальной области памяти (32 MB)
  - Динамическая оптимизация VLIW-кода



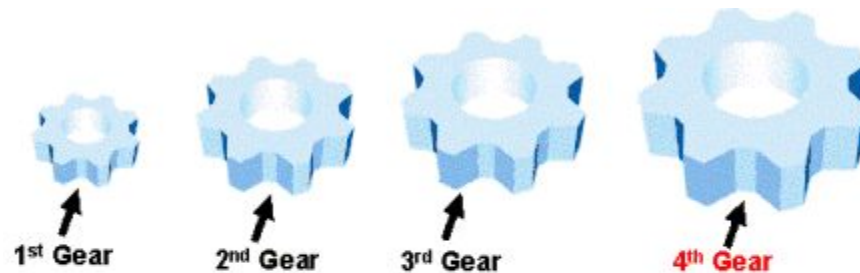
Further optimizes the 2<sup>nd</sup> gear regions

- Common sub-expression elimination
- Memory re-ordering
- Significant code optimization
- Critical path scheduling

**Medium translation overhead**  
**Faster execution**

# Динамическая двоичная КОМПИЛЯЦИЯ

- Технология Code Morphing
  - Преобразование команд x86 в команды VLIW
  - Хранение транслированного кода в специальной области памяти (32 MB)
  - Динамическая оптимизация VLIW-кода



Most advanced optimizations for "hottest" code regions.

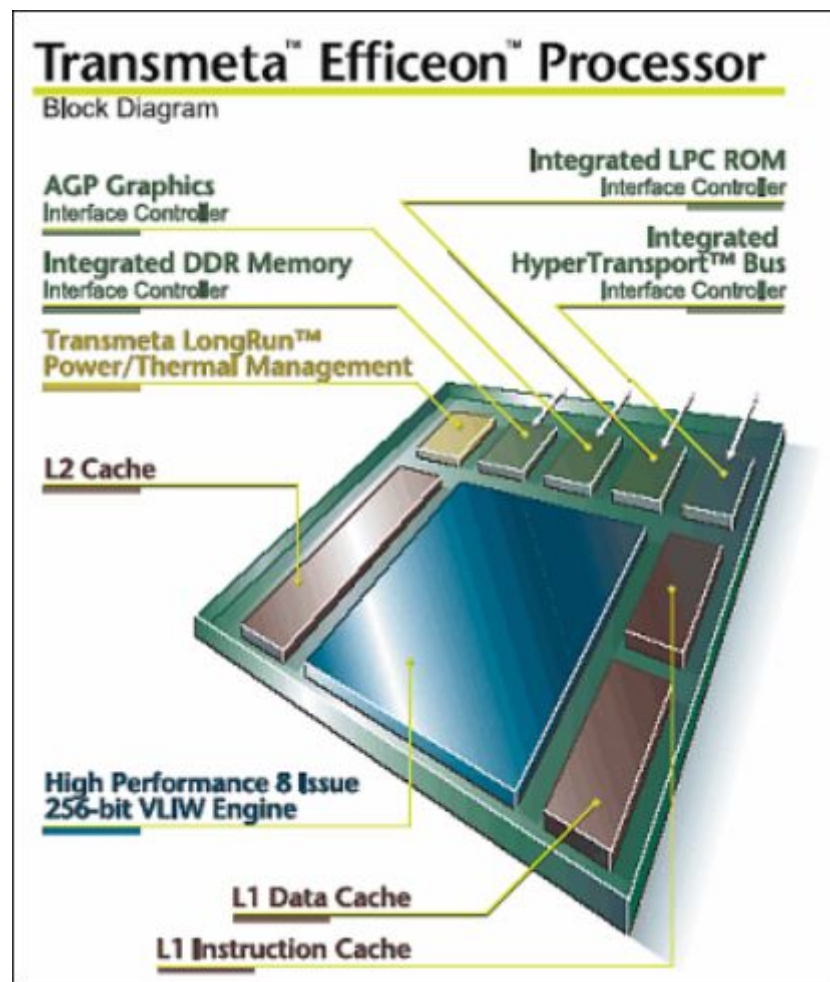
- Splices together multiple regions
- Optimizes across region boundaries
- Used advanced behavioral data
- Critical path scheduling

**Highest translation overhead**  
**Fastest execution**

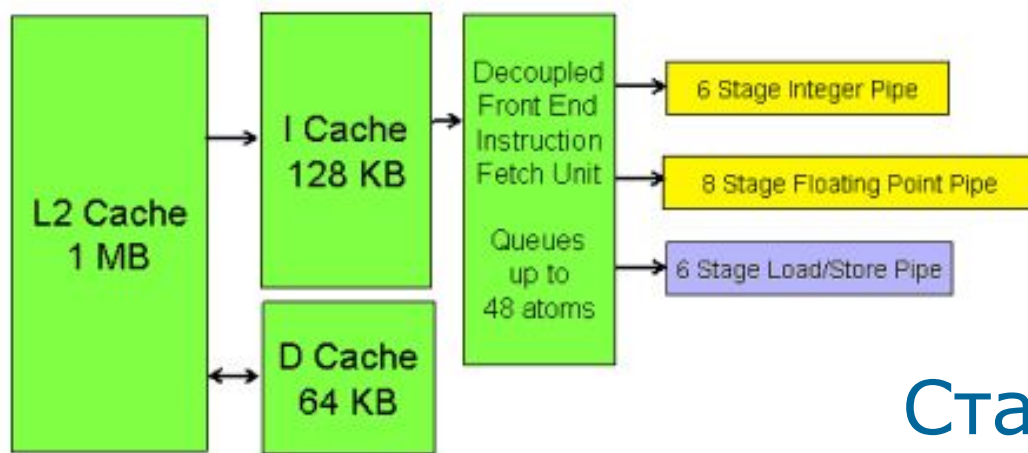
# Процессор Transmeta Efficion

## Особенности

- Ширина командного слова 256 бит (8 команд)
- Кэш L1: 64 data / 128 KB code
- Кэш L2: 1 MB
- Интегрированный северный мост
  - Контроллер памяти DDR
  - Шина AGP
  - Шина HyperTransport
- Технология энергосбережения LongRun

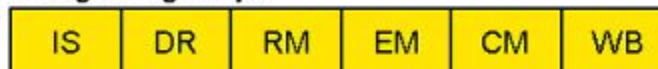


# Процессор Transmeta Efficion



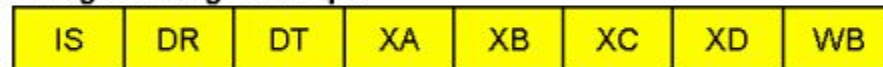
## Стадии конвейера

### 6-Stage Integer Pipe



IS: Instruction Issue  
DR: Instruction Decode  
RM: Register Read for ALU operands  
EM: Execute ALU operation  
CM: ALU Condition flag completion  
WB: Write Back results to integer register file

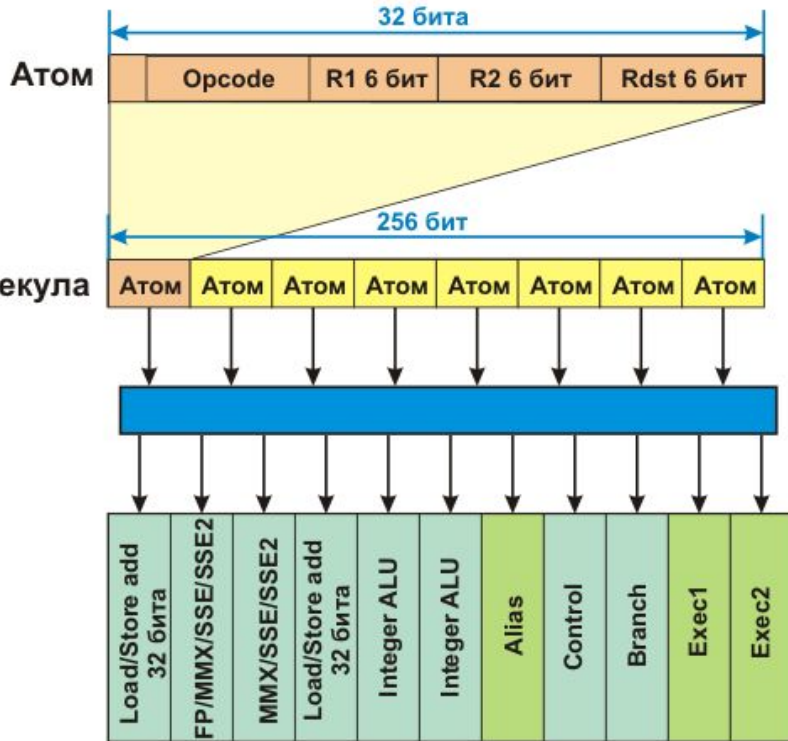
### 8-Stage Floating Point Pipe



IS: Instruction Issue  
DR: Decode-1  
DT: Decode-2  
XA: Floating Point compute stage-1  
XB: Floating Point compute stage-2  
XC: Floating Point compute stage-3  
XD: Floating Point compute stage-4  
WB: Write Back to floating point register file

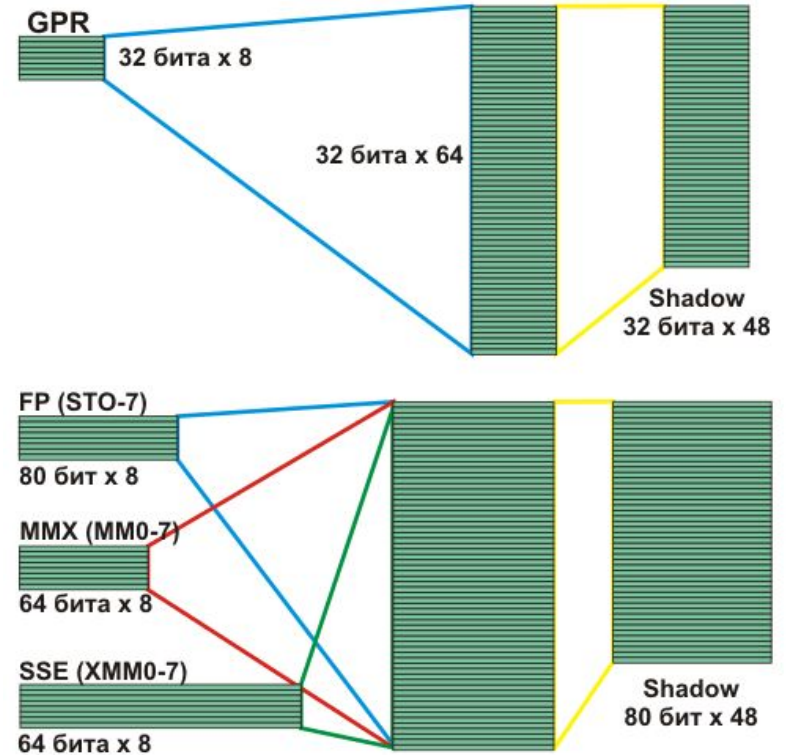
# Процессор Transmeta Efficion

## Структура команды



исполнительные устройства

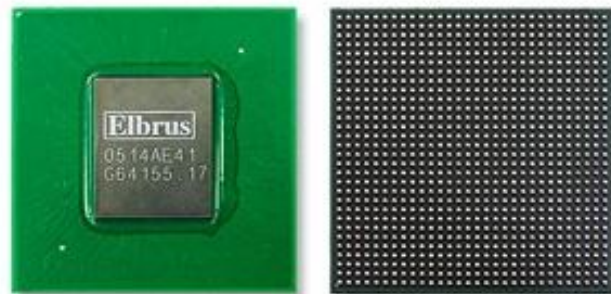
## Отображение регистров





**Бабаян  
Борис  
Арташесович**  
*чл.корр. РАН  
Intel Fellow*

# Архитектура Эльбрус 2000






# Эльбрус 2000

ELBRUS – ExpLicit Basic Resources Utilization Scheduling  
(явное планирование использования основных ресурсов)

## Особенности архитектуры E2K

- Архитектура VLIW переменной длины
- Двоичная трансляция кода: x86  $\square$  VLIW
- Аппаратная поддержка типов данных

## Реализации

- МК Эльбрус 3 (1986-1994)
  - Эльбрус 3М (2005) 300 MHz
- 





# Процессор Эльбрус

## Характеристики

- Командное слово переменной длины (2 – 16 слогов)
- До 23 операций за такт
- Конвейер
  - Целочисленный: 8 тактов
  - Чтение/запись: 9 тактов
- Двоичная трансляция команд
- Аппаратная поддержка типов данных
- Разрядность данных
  - Целые: 32, 64
  - Вещественные: 32, 64, 80
- Кэш-память
  - данных L1: 64 KB
  - кода L1: 64 KB
  - L2: 256 KB

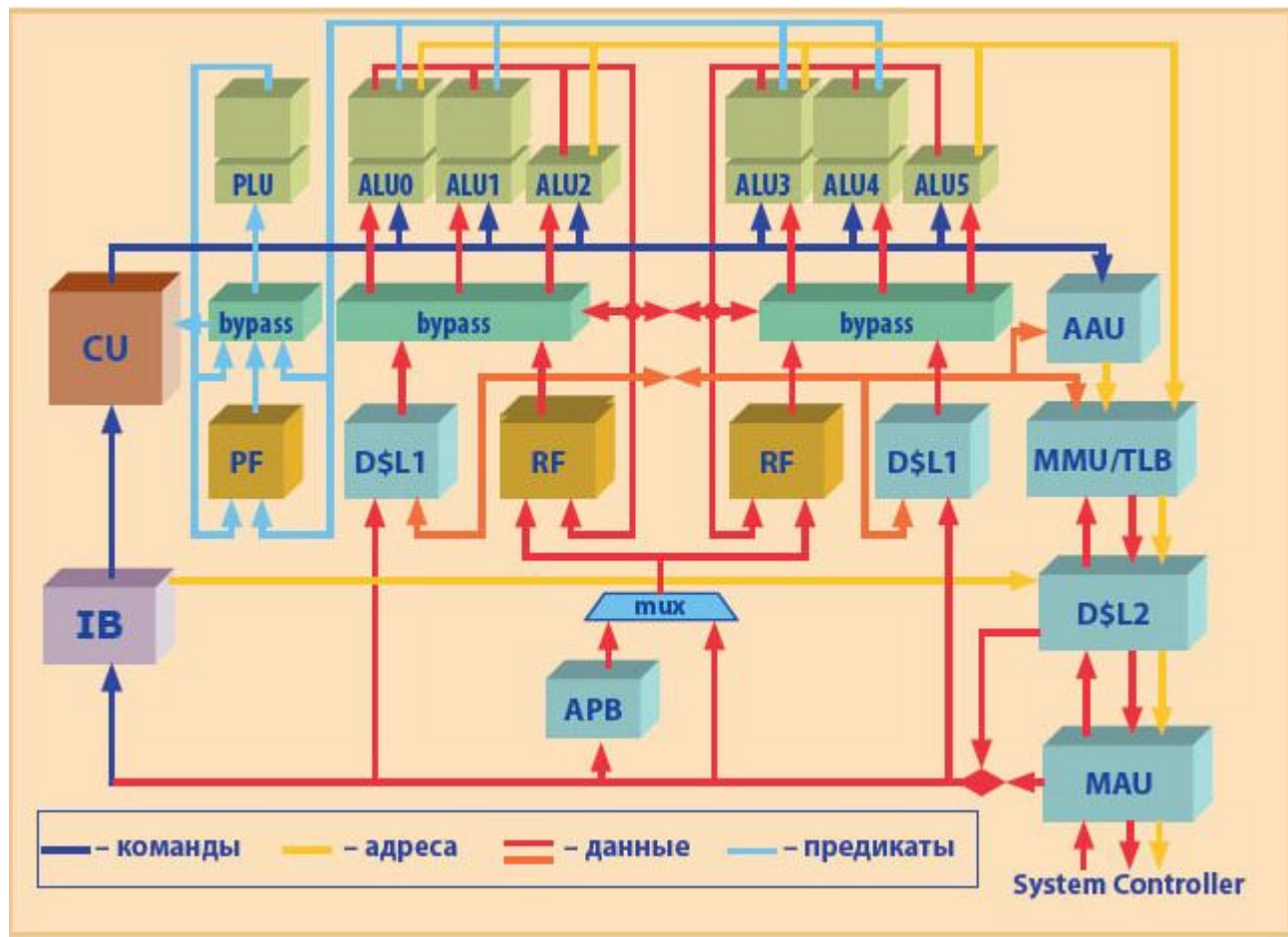
# Процессор Эльбрус

Заголовок	Слог 1	Слог 2	...	Слог N
-----------	--------	--------	-----	--------

- **Формат команды:**
  - Число слогов: 2 – 16
  - Типы слогов (максимальное число в команде)
    - Заголовок (1)
    - Операции АЛУ (6)
    - Управление подготовкой перехода (3)
    - Дополнительные операции АЛУ при зацеплении (2)
    - Загрузка из буфера предварительной выборки массивов в регистр (4)
    - Литеральные константы для ФУ (4)
    - Логические операции с предикатами (3)
    - Предикаты и маски для управления ФУ (3)
  - До 6 предикатов в команде
- **Регистры**
  - Общего назначения: 256 (64 бита): целочисл. и веществ.
    - Механизм переключения окон
  - 32 предикатных регистра (1 бит)

# Процессор Эльбрус

- ALU0...ALU5 – арифметико-логические устройства;
- APU – устройство предварительной подкачки массивов;
- APB – буфер предварительной подкачки массивов;
- Bypass – обходные каналы;
- CU – устройство управления;
- PF – предикатный файл;
- IB – буфер команд;
- D\$L1 – кэш данных 1-го уровня;
- D\$L2 – кэш данных 2-го уровня;
- MAU – устройств организации доступа в оперативную память;
- MMU – устройство организации виртуальной памяти.



# Процессор Эльбрус

- Динамическая трансляция кода

