

# Операционная система Эльбрус и микропроцессоры серии Эльбрус

в бортовых системах реального времени

*Евгений Кравцунов,  
Константин Трушкин*

- ❑ Процессоры **SPARC** (RISC) 3-х поколений
  - ❑ **МЦСТ-R1000**: 1 ГГц, 4 ядра SPARC V9
- ❑ Процессоры **Эльбрус** (VLIW) 4-х поколений
  - ❑ **Эльбрус-2С+**, 500 МГц, 2 ядра «Эльбрус» + 4 ядра DSP
  - ❑ **Эльбрус-4С**, 800 МГц, 4 ядра «Эльбрус»
- ❑ Южный мост **КПИ**



- ❑ Тактовая частота 800 МГц
  - ❑ 4 ядра
    - ❑ L2\$ 8 МБ,
    - ❑ До 23 операций/такт на ядро
  - ❑ 3 канала памяти DDR3-1600
  - ❑ 3 межпроцессорных канала (16 ГБ/с)
  - ❑ 1 канал IO-link (4 ГБ/с)
  - ❑ Улучшения в микроархитектуре
- ❑ Количество транзисторов – 968 млн
- ❑ Рассеиваемая мощность – ~45 Вт
- ❑ Технология – 65 нм, 9 слоев металла
- ❑ Площадь кристалла - 380 мм<sup>2</sup>



**Процессор прошёл  
Государственные  
испытания в марте 2014  
года**

- ❑ Тактовая частота 300 МГц,
  - ❑ 2 ядра «Эльбрус»
  - ❑ L2\$ 2 \* 1 МБ
- ❑ 2 канала DDR2-533
- ❑ 3 межпроцессорных канала (по 4 ГБ/с)
- ❑ 2 канала IO-link (2 ГБ/с)
  
- ❑ Количество транзисторов: 300 млн
- ❑ Рассеиваемая мощность: ~20 Вт
- ❑ Технология: 90 нм, 10 слоёв металла
- ❑ Площадь кристалла: 320 мм<sup>2</sup>
- ❑ Производство на фабрике Микрон

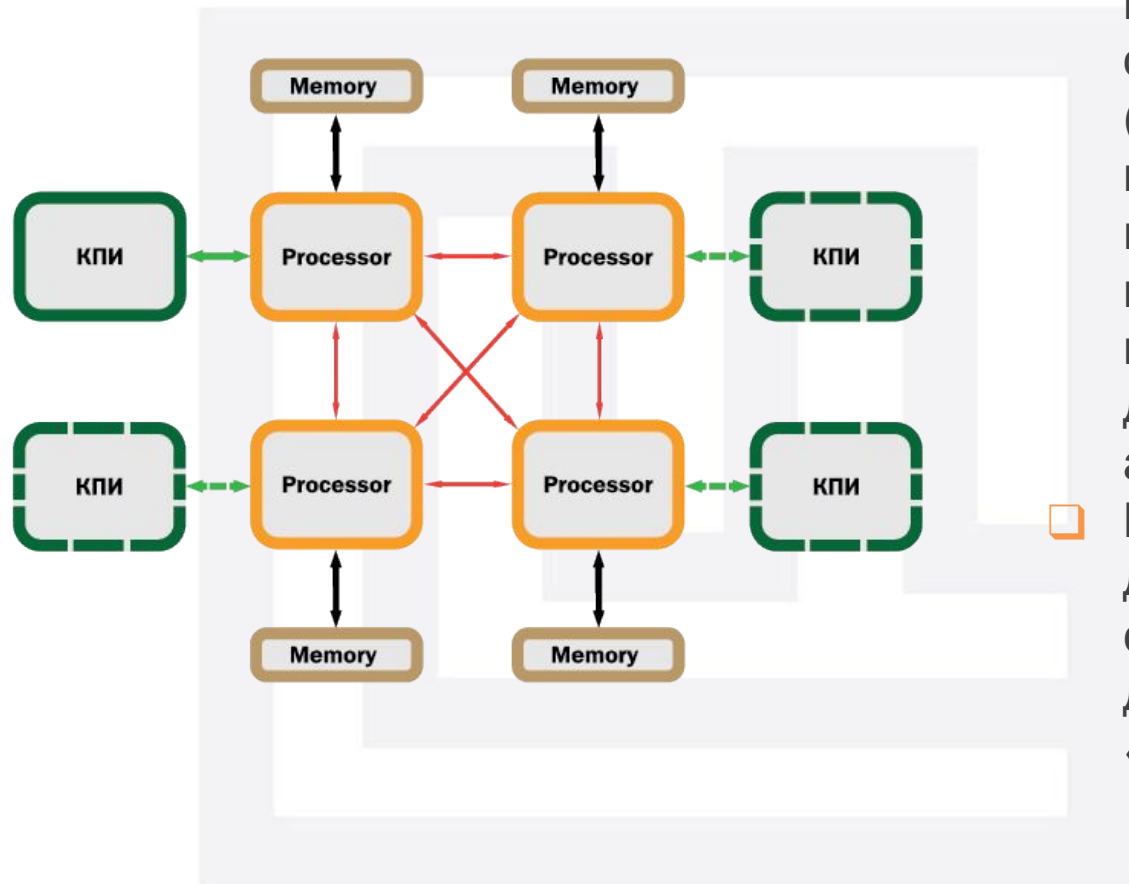


**Процессор завершил гос.  
испытания в 2014 году**

- ❑ Тактовая частота – 250 МГц
- ❑ 2 канала I/O (2 \* 1 ГБ/с).
- ❑ Интерфейсы
  - ❑ PCI Express 1.0a x8
  - ❑ PCI 2.3 (33/66 МГц, 32/64 бит)
  - ❑ Gigabit Ethernet,
  - ❑ 4 \* SATA 2.0,
  - ❑ 2 \* USB 2.0
  - ❑ RS 232/485, IEEE1284, Audio, SPI, I2C, GPIO
  
- ❑ Количество транзисторов – 30 млн
- ❑ Рассеиваемая мощность – 5 Вт
- ❑ Технология – 0.13 мкм, 9 слоев металла
- ❑ Размер кристалла – 10,6x10,6 мм

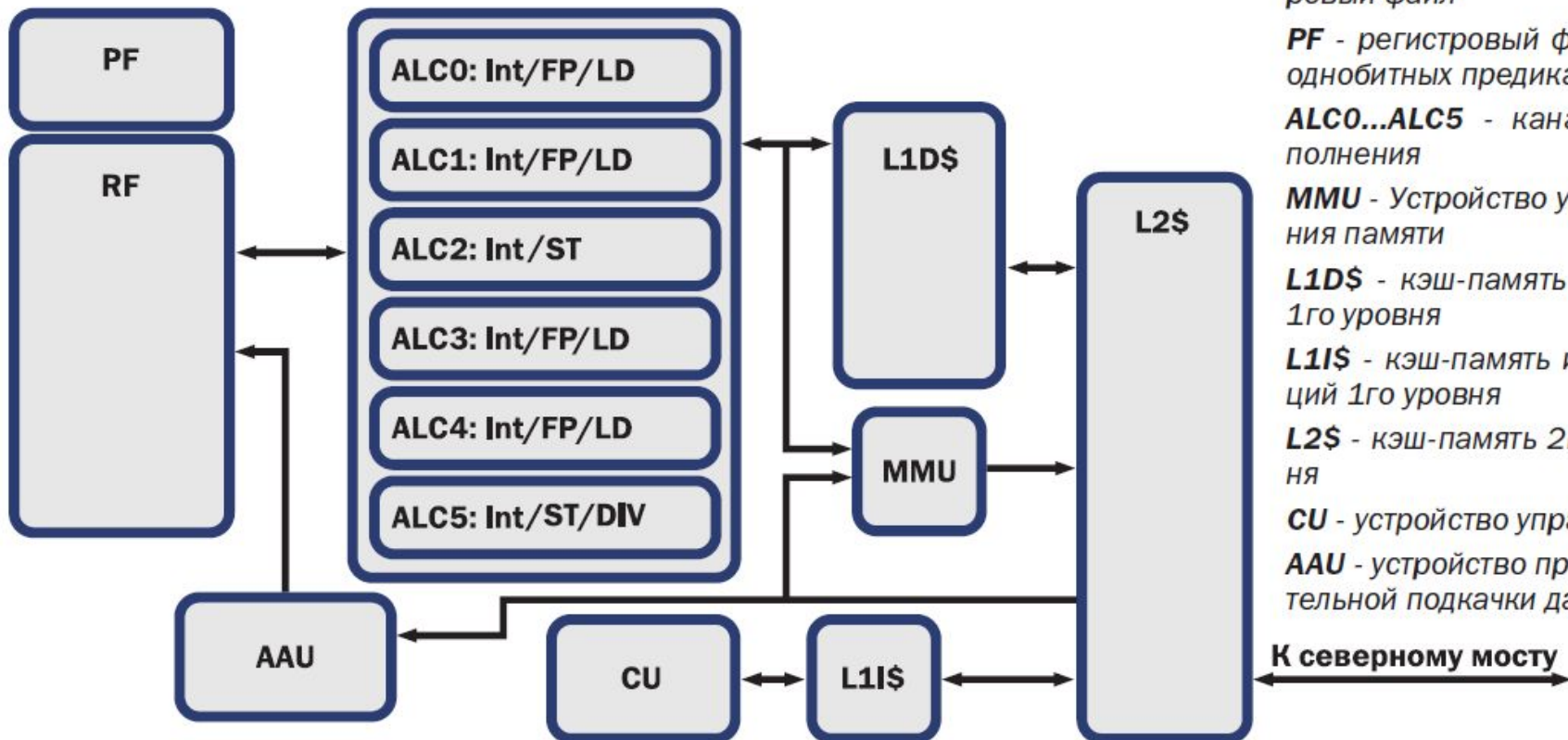


# Многопроцессорность



- Объединение до 4 процессоров на общей памяти (NUMA) через когерентные межпроцессорные каналы без привлечения дополнительной аппаратуры
- Возможность добавления в систему дополнительных «ЮЖНЫХ МОСТОВ»

# Структура м/п Эльбрус



*RF* - универсальный регистровый файл

*PF* - регистровый файл для однобитных предикатов

*ALC0...ALC5* - каналы исполнения

*MMU* - Устройство управления памяти

*L1D\$* - кэш-память данных 1го уровня

*L1I\$* - кэш-память инструкций 1го уровня

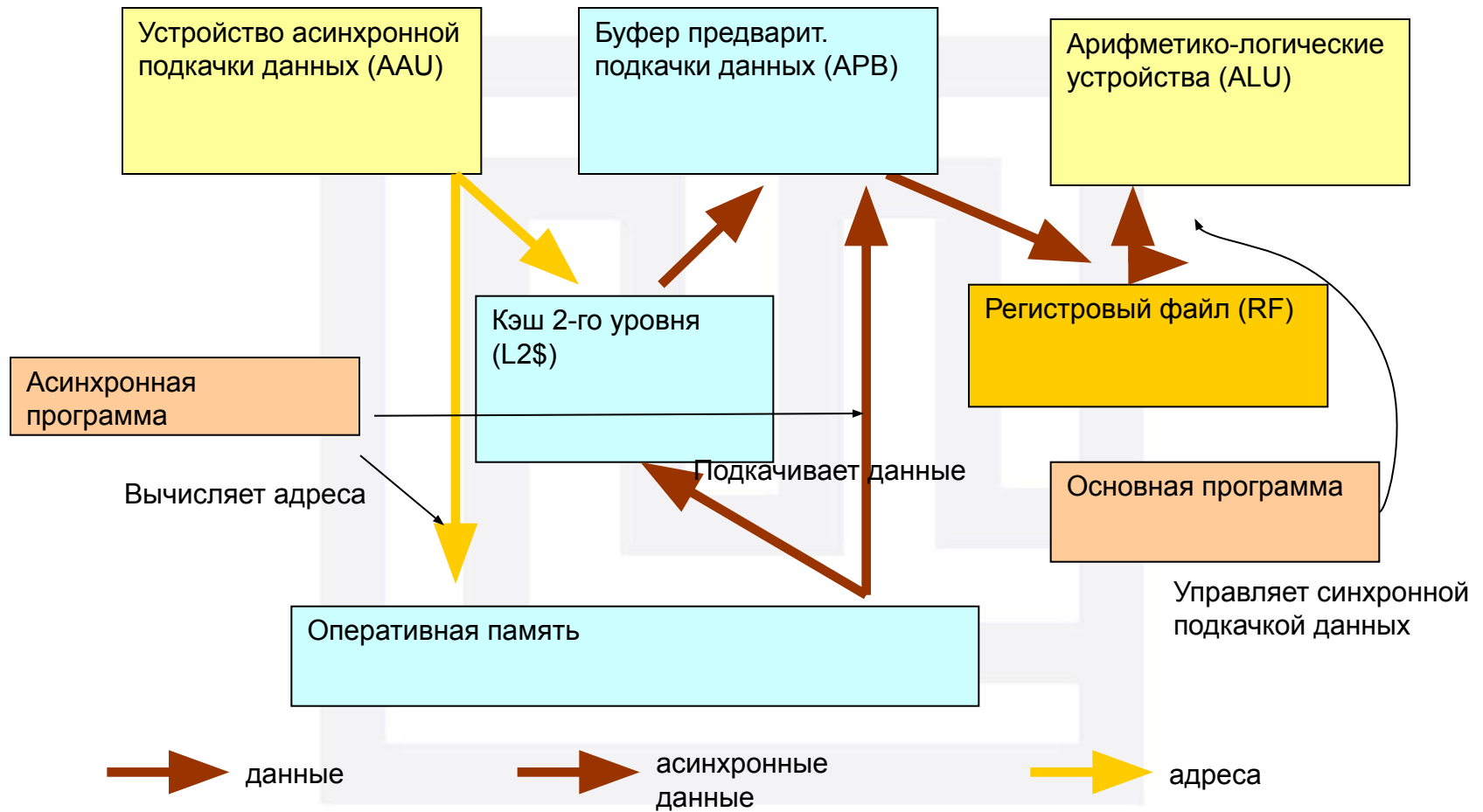
*L2\$* - кэш-память 2го уровня

*CU* - устройство управления

*AAU* - устройство предварительной подкачки данных

К северному мосту

# Асинхронная предподкачка





## лин.уч. циклы

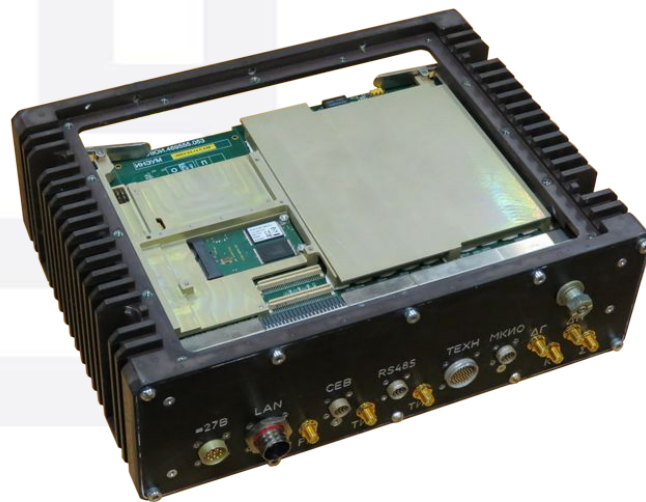
Int (8) / FP (9) / St (2) / Ld (4)	- 10	+	+
Обработка предикатов	- 3	+	+
Передача управления	- 1	+	+
Загрузка литерала 32/64	- 4/2		+
Асинхронная загрузка в РФ	- 4		+
Адресная арифметика	- 4		+
Обработка счетчика цикла	- 1		+

---

Всего: 18/16 23

# Сводная таблица результатов

	Intel(R) Core(TM) i5 CPU 650	Эльбрус-2С+	Отношение
Частота	3.20 ГГц	500 МГц	6.4
Простой алгоритм	3016ms	7356ms	2.4
Оптимизированный алгоритм	2551ms	4666ms	1.8
Компилятор	gcc 4.6 x86-64	lcc, вер. 18	



# 2015: Эльбрус-8С

- ❑ 1.3 ГГц
- ❑ 8 ядер Эльбрус
- ❑ 250 Гигафлопс
- ❑ L2\$ 8\*512КБ, L3\$ 16 МБ
- ❑ 4 канала памяти DDR3-1600
- ❑ 3 межпроц. канала по 16 ГБ/с
- ❑ 1 канал IO-link (16 ГБ/с)
- ❑ 320 мм<sup>2</sup>, 2,7 млрд транзисторов
- ❑ **28 нм**, энергопотребление ~60 Вт



**Получены первые инженерные образцы**

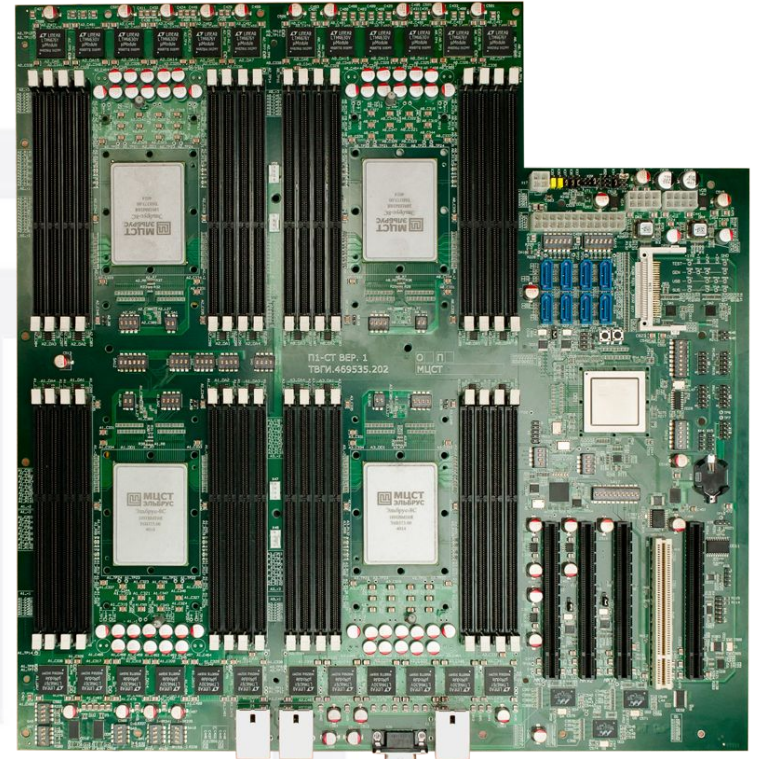
- ❑ 1 канал IO-link (16 ГБ/с)
- ❑ PCI Express 2.0 x20
- ❑ 3 \* Gigabit Ethernet
- ❑ 8 \* SATA 3.0
- ❑ 8 \* USB 2.0
- ❑ 32 \* GPIO
- ❑ ...
- ❑ Технология 65 нм
- ❑ Энергопотребление 12 Вт



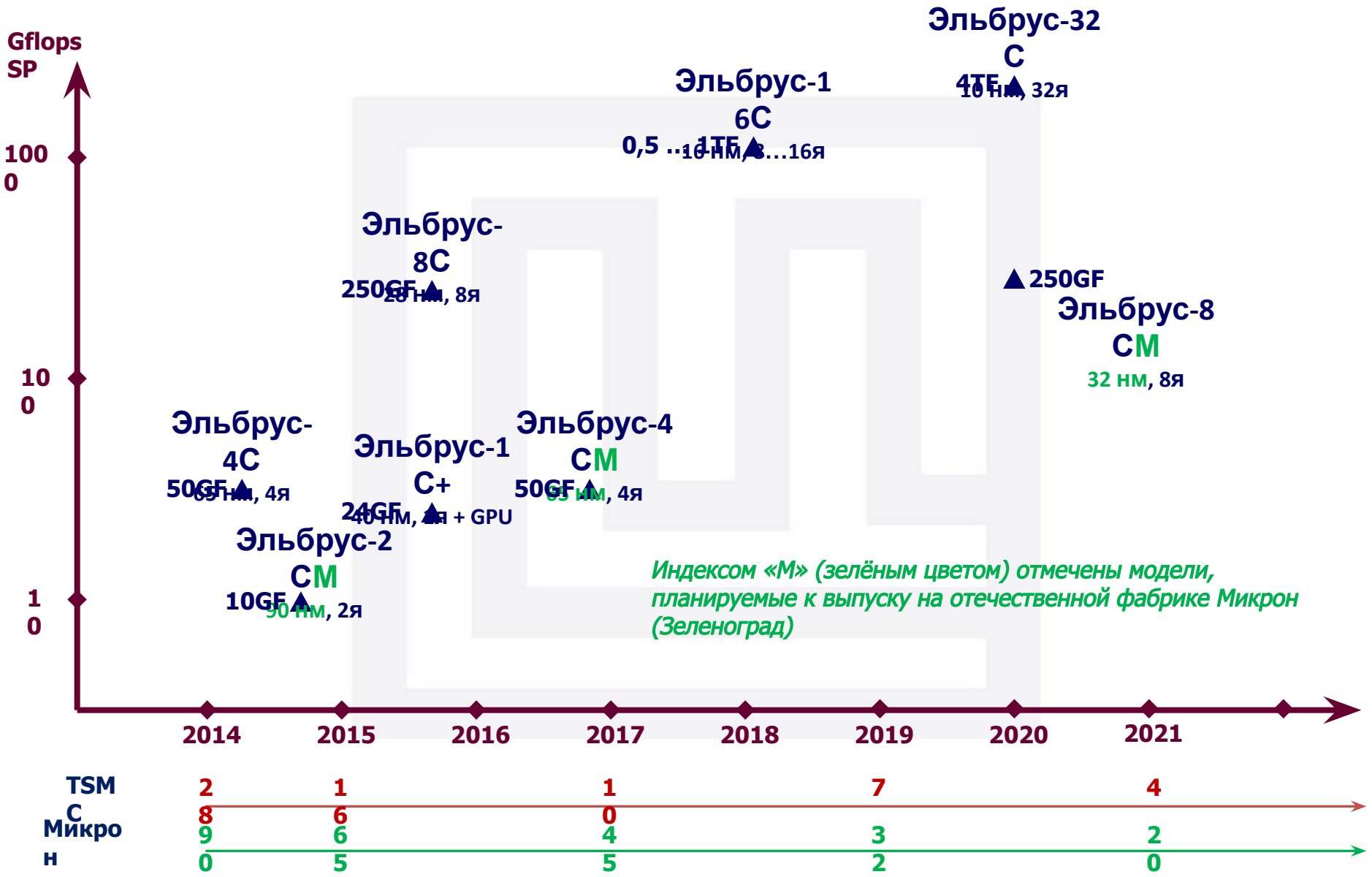
**Получены первые инженерные образцы**

## Сервер на базе четырёх процессоров Эльбрус-8С

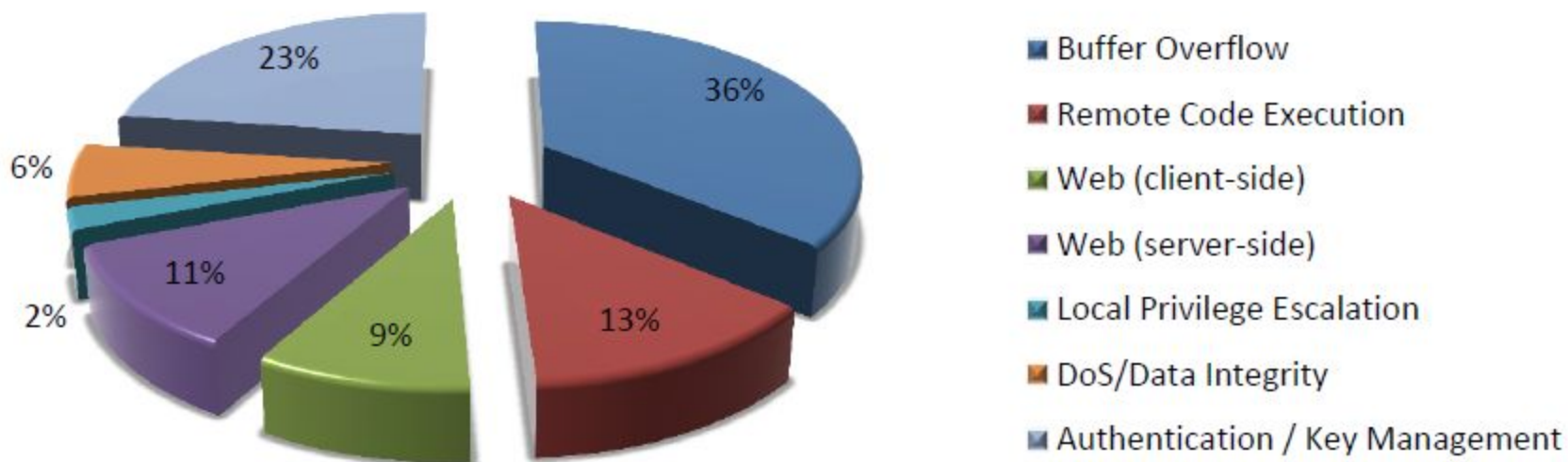
- ❑ 4 процессора Эльбрус-8С
- ❑ Южный мост КПИ-2
- ❑ Оперативная память до 256 Гбайт на сервер
- ❑ Интерфейсы: SATA 3.0 – 8 каналов, Gigabit Ethernet – 3 канала, PCI Express 2.0 x20, PCI, интерконнект
- ❑ Высота корпуса 1U
- ❑ Мощность сервера –  
**1 Терафлопс**
- ❑ 40 Тфлопс в стойке



**Макетный образец  
четырёхпроцессорного  
сервера**



## Распределение уязвимостей АСУ ТП по типам

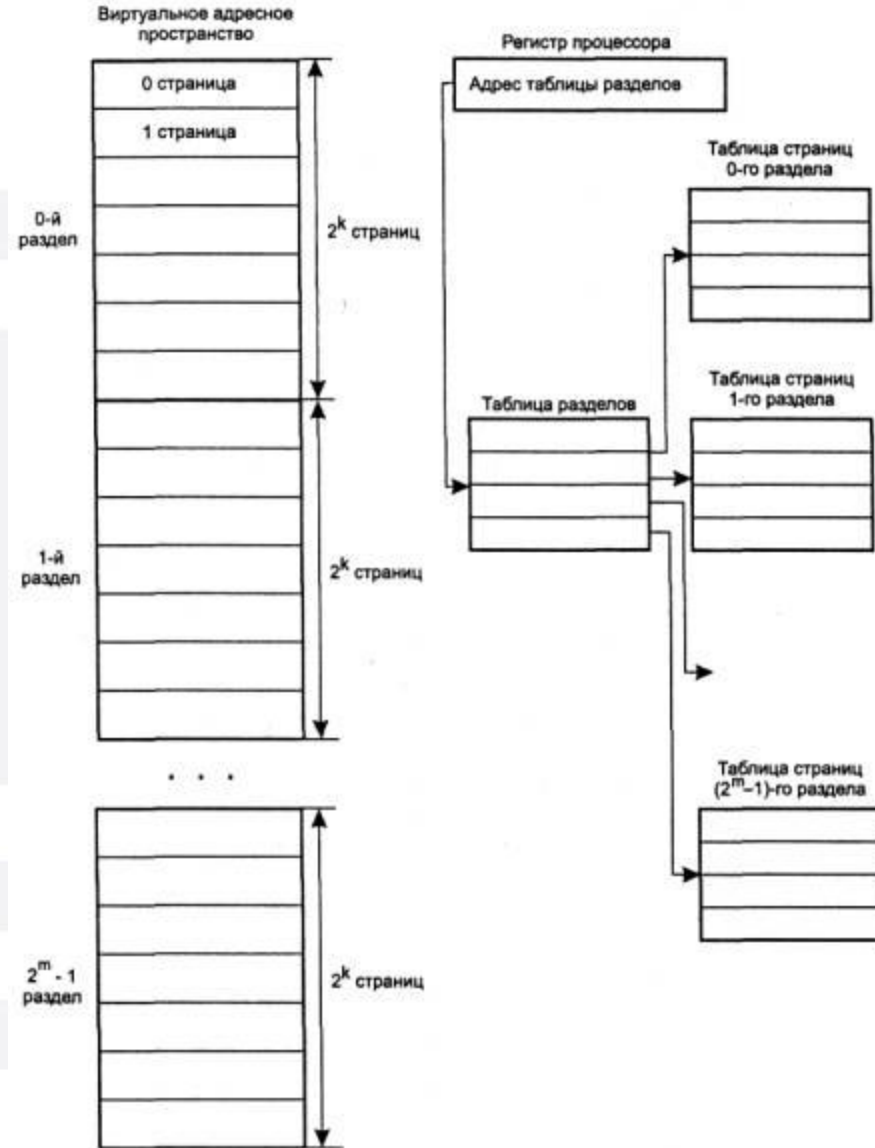
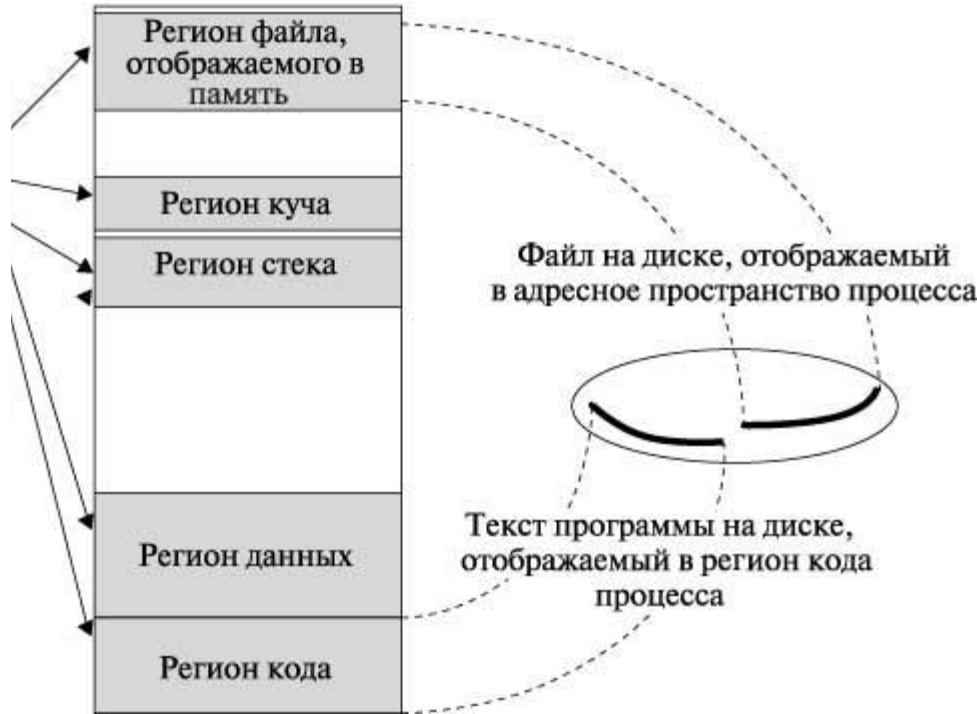


Отчёт «Безопасность промышленных систем в цифрах v2.1», Positive Technologies, 2012



# Память приложения

Регионы в виртуальном адресном пространстве процесса



## «Защищённый режим»: контроль ошибок во время исполнения

Аппаратно контролируются ошибки программы в работе с памятью и гарантируется целостность указателей

- ❑ Обращение за границы **объекта** (массива)
- ❑ Обращение по указателю на уже освобождённую память объекта, закончившего жизненный цикл
- ❑ Чтение неинициализированных данных
- ❑ Обращение по неадресным данным как по указателю

### Результат:

- ❑ Рост производительности труда программиста – **на порядок**
- ❑ **Возможность создавать надёжные программы, устойчивые к кибернетическим атакам**
- ❑ Замедление скорости работы программ – около 20%

## Структура машинного слова в памяти:

32 bit	2 bit
Данные или часть дескриптора	Тег и

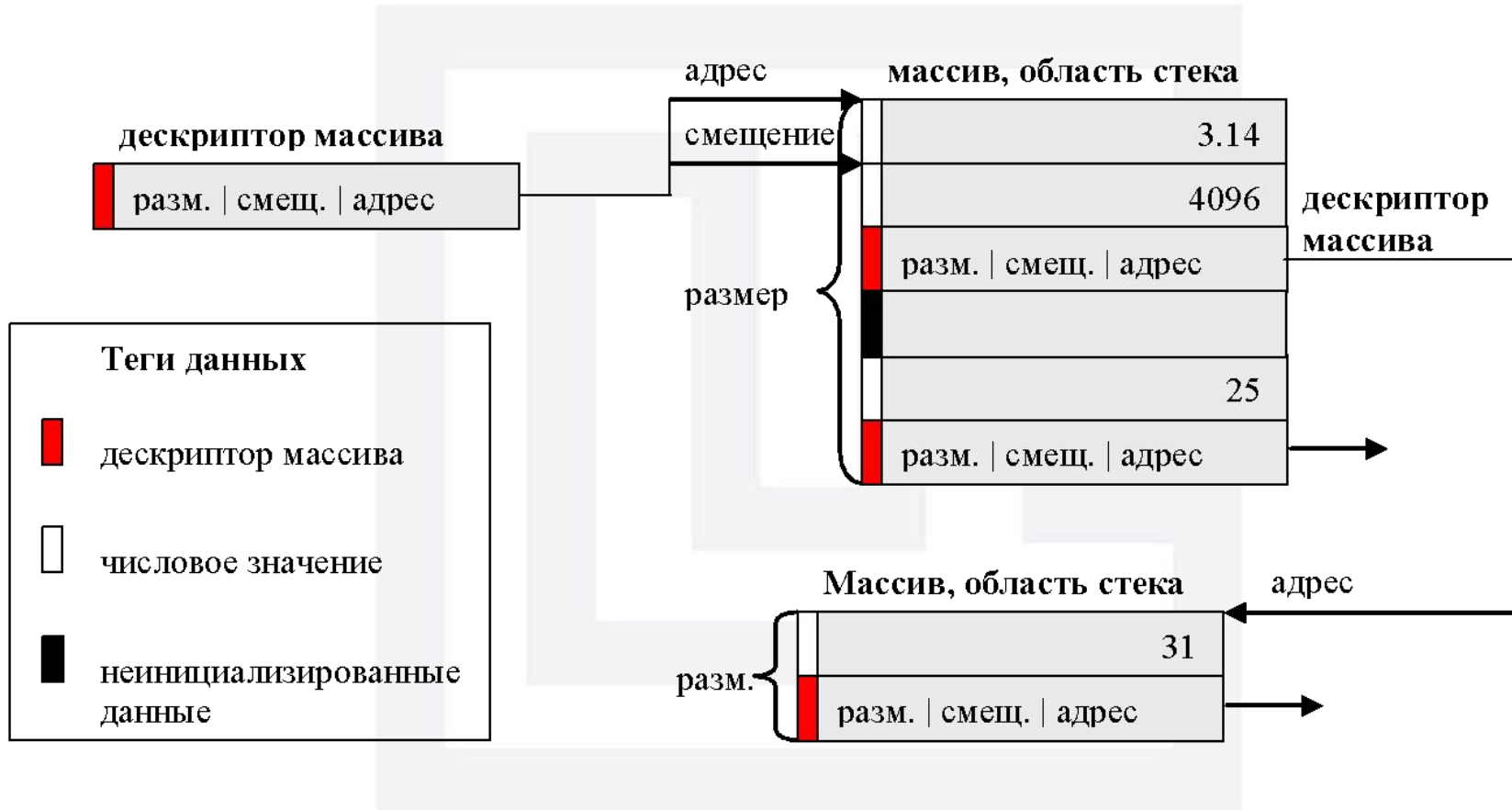
Значения тегов: 00 - Неинициализированное  
 10 – Данные, 01 и 11 - Часть дескриптора

## Дескриптор:

32 bit	40 bit	32 bit	24 bit	8 bit
Текущее положение	База	Граница	Время жизни + служебные биты	Теги

**128 bit**

# Защищенный режим Эльбруса. Использование дескриптора



# Межмодульная защита

```

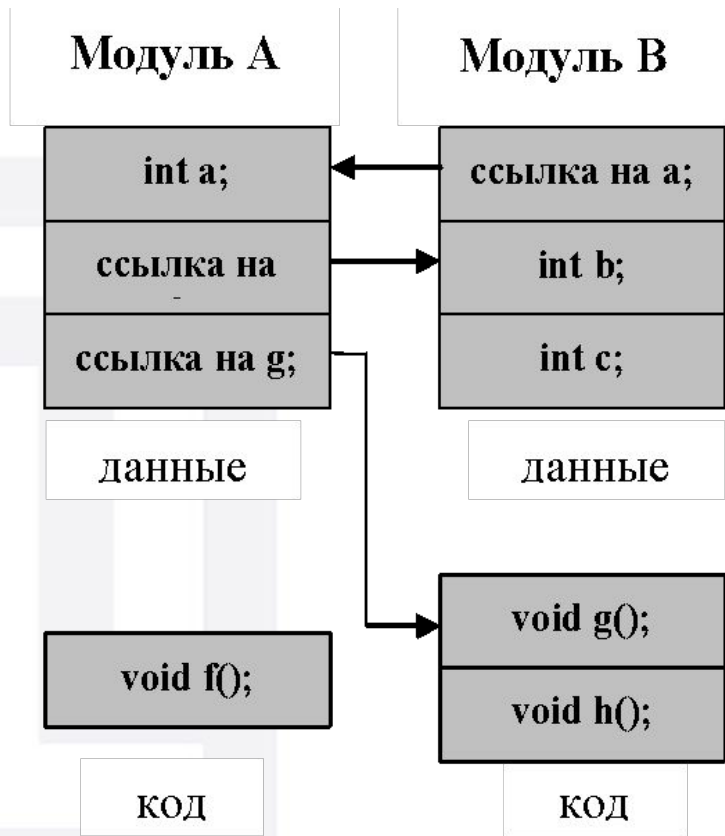
/* модуль А */
    int a; /* экспорт в модуль В */
extern int b; /* импорт из модуля В */

extern void g(); /* импорт из модуля В */
static void f(); /* внутренняя модуля А */

/* модуль В */
extern int a; /* импорт из модуля А */
    int b; /* экспорт в модуль А */
static int c; /* внутренняя модуля В */

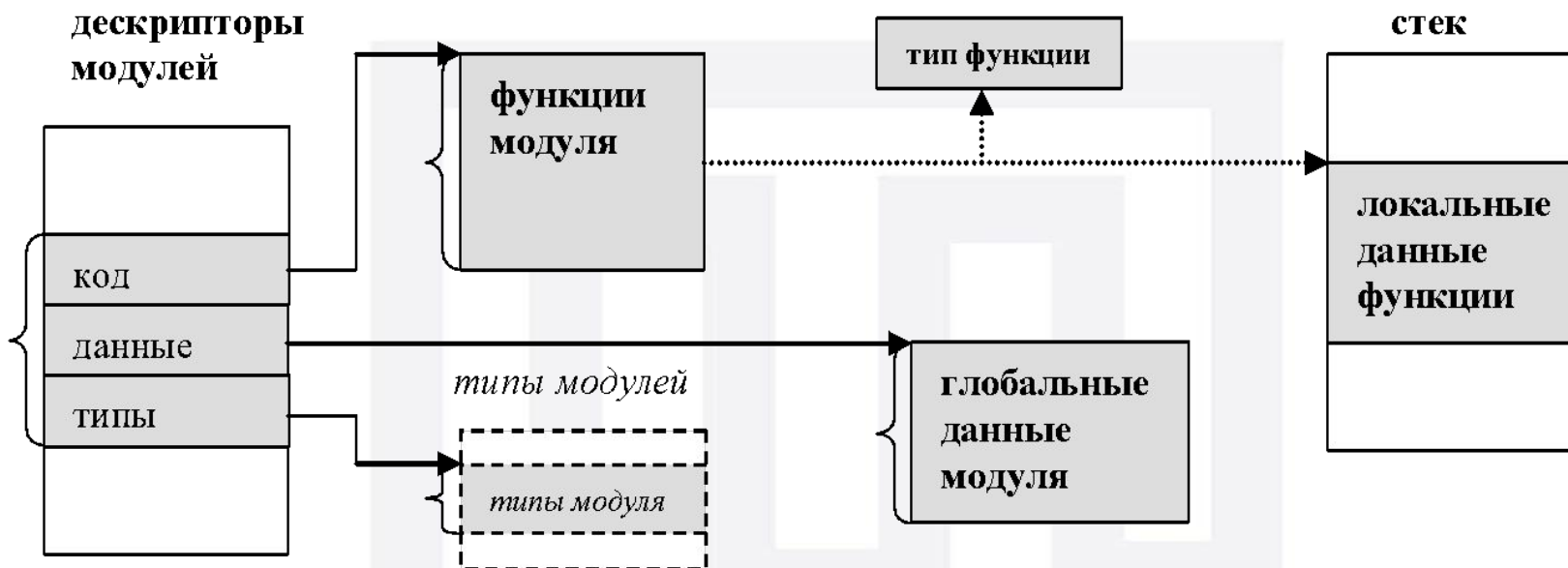
    void g(); /* экспорт в модуль А */
static void h(); /* внутренняя модуля В */

```



## Контексты модулей А и В

- объявленные в них объекты и функции
  - ссылки на объекты и функции других модулей
- Контексты модулей А и В не пересекаются



Каждому модулю соответствует свой дескриптор

Дескриптор модуля хранится при исполнении на аппаратных регистрах, недоступных пользователю

При вызове функции другого модуля происходит смена дескриптора модуля

**Основана на ядре Linux  
2.6.33**

**Встроена поддержка  
режима реального  
времени  
Средства разработки –  
компиляторы  
C/C++/Fortran, Java-  
машина (OpenJDK 6)**



**Используется структура пакетов  
Debian**

**Отпортировано более 3000  
базовых пакетов из набора  
Debian 5.0 (Lenny) и многие  
другие, в том числе:**

- LibreOffice 3.6
- Firefox 3.6.28
- PostgreSQL 9.2

**Двойной транслятор  
приложений: слой кросс-  
архитектурной виртуализации  
x86<->Elbrus, совместимый с  
эмулятором WINE**