



Московский физико-технический институт (НИУ)
Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

Базовая кафедра информатики и вычислительной техники



Продукция

- **универсальный микропроцессор «Эльбрус-8СВ»:**
 - 8 ядер, 1.5 ГГц, до 128 Гб DDR4-2400
- **микропроцессор для встраиваемых систем «Эльбрус-2С3»:**
 - 2 ядра, 2 ГГц, до 10 Вт, графический процессор с поддержкой 3D графики, аппаратное ускорение видеокодеков
- **серверный микропроцессор «Эльбрус-16С»:**
 - 16 ядер, 2 ГГц, до 1Тб DDR4-3200, объединение до 4 процессоров в NUMA-систему
- **компьютерные модули во встроенном и мобильном исполнении, жесткие условия эксплуатации**
- **дистрибутив общего программного обеспечения «Эльбрус»: оптимизирующий/двоичный компилятор, ядро ОС двух версий**



Эльбрус-8СВ



Эльбрус-2С3



Эльбрус-16С



Эльбрус-801 РС

Архитектура Эльбрус

Параллельная энергоэффективная архитектура

- VLIW-архитектура ядра (Very Long Instruction Word)
- высокая однопоточная производительность при малом энергопотреблении
- распараллеливание оптимизирующим компилятором
- сбалансированное соотношение производительности процессора и памяти

Эффективная двоичная совместимость с x86, x86-64

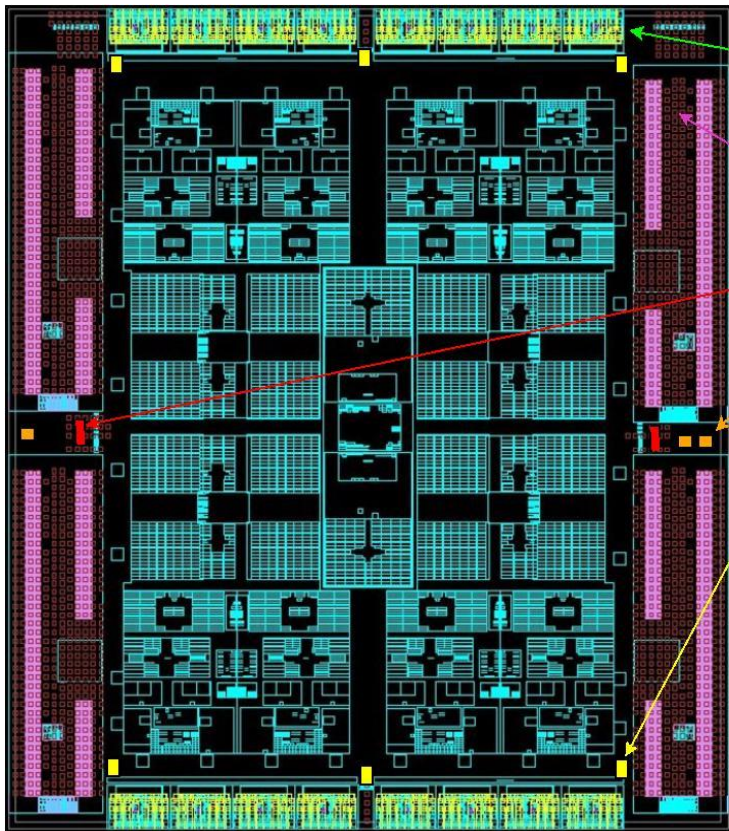
- исполнение приложений в кодах x86, x86-64 (Windows XP, 7, 10, Linux, QXP)
- базируется на поддерживаемой аппаратно технологии динамической двоичной компиляции
- производительность до 80% от нативной (в кодах Эльбруса)

Технология безопасных вычислений

- аппаратная защита логической структуры памяти
- гарантированное обнаружение атак, нарушающих структуру памяти
- повышение надежности программ
- повышение скорости отладки программ



Происхождение IP в процессорах Эльбрус



физический уровень Synopsys CEI-6G PHY для реализации линков ввода-вывода и межпроцессорных линков

физический уровень Synopsys DDR3 PHY для реализации 4-х каналов памяти DDR3

библиотека LVDS фирмы Dolphin Technology

PLL фирмы True circuits

термосенсор фирмы Moortec

Вся прочая логика и физический дизайн разработаны в России, могут развиваться без ограничений



Направления работ

Разработка и верификация микропроцессоров

- Логическое проектирование
- Физическое проектирование
- Логическая верификация
- Прототипирование

Разработка систем программирования

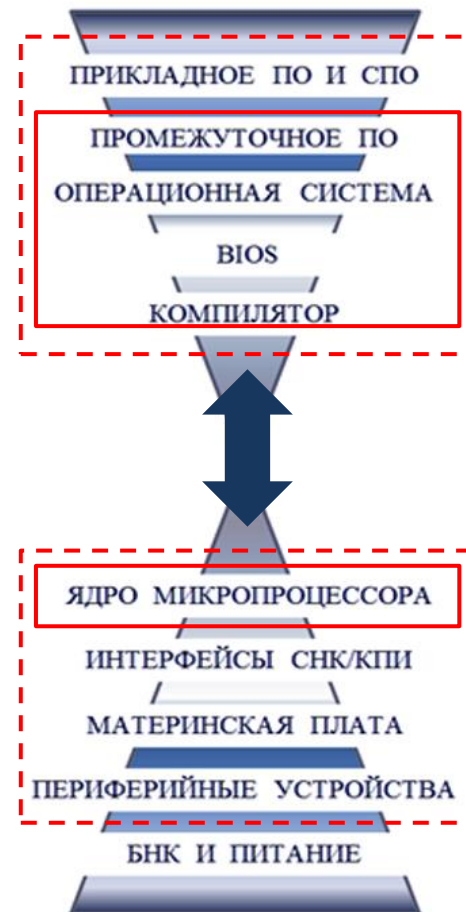
- Оптимизирующий компилятор («нативный»)
- Бинарный транслятор (x86)

Разработка модулей ядра ОС

- Обновление и оптимизация ядра
- Драйверы устройств
- Защищенный режим исполнения

Портирование прикладного ПО

- Портирование, обновление, тестирование
- Аналитика и оптимизация



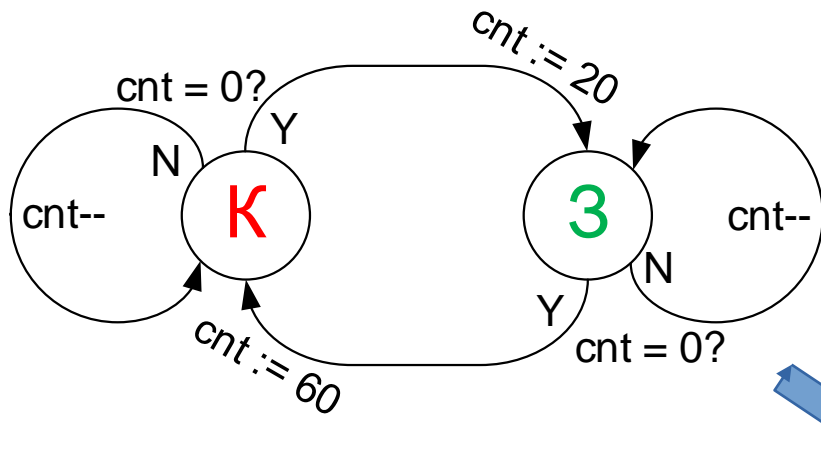


Проектирование микропроцессоров

Сурченко Александр
АО «МЦСТ», МФТИ
Alexander.V.Surchenko@mcst.ru



Логическое проектирование



Таймер:

- Красный – 60с
- Зелёный – 20с

```
reg      color;          // 1 - red, 0 - green
reg [5:0] cnt;

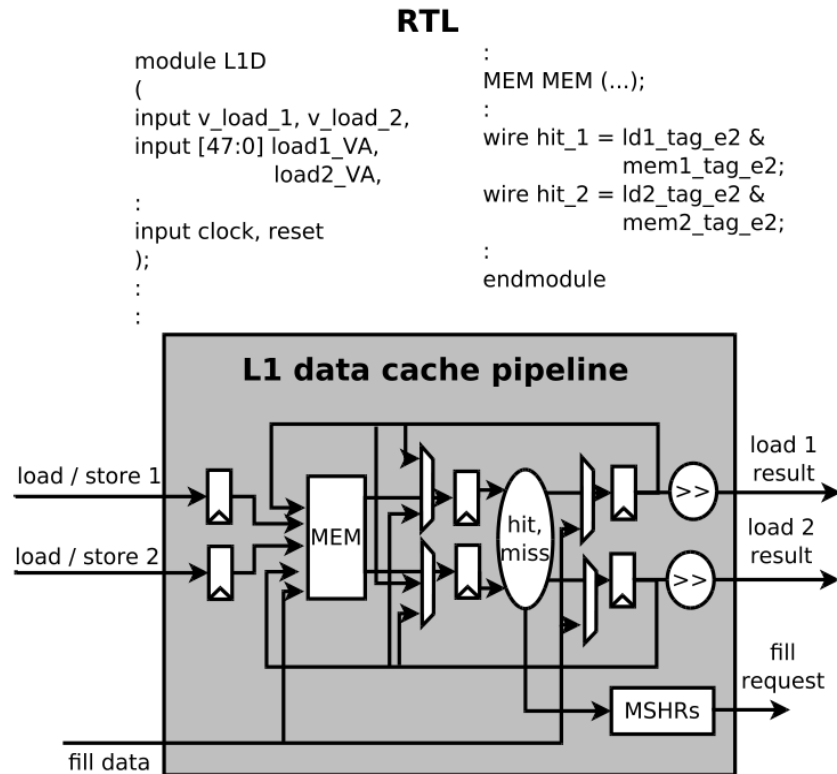
always @(posedge clock) begin
    color <= (cnt == 0) ? ~color : color;

    cnt <= (cnt != 0) ? cnt - 1 :
           color      ? 20      : 60;
end
```


Логическое проектирование

- Проработка реализации (в виде документации — рисунки, формулы, схемы)
- Написание RTL (на языке Verilog, SystemVerilog) и базовая инженерная отладка (тестбенч + ассемблер)
- Прототипирование перспективной аппаратуры на ПЛИС
- [Отладка RTL \(симулятор, прототип\) и исправление ошибок](#)
- Наладка инженерных образцов микропроцессоров

Основные навыки: знание цифровой электроники, архитектуры МП, проектирование на языке Verilog.

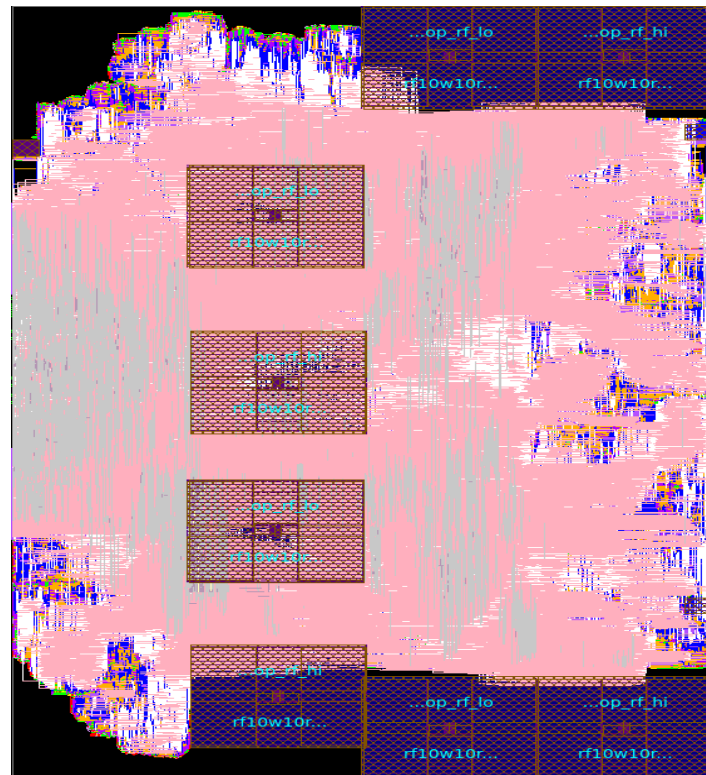
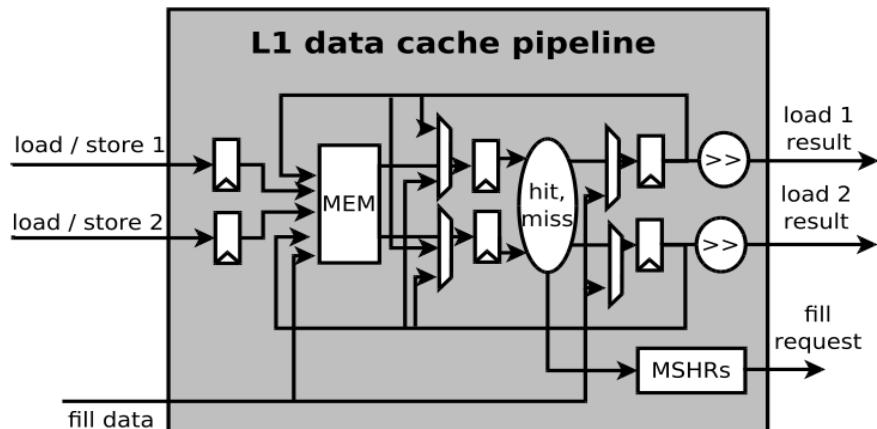


Физическое проектирование

Реализация логического описания с использованием технологии проектирования

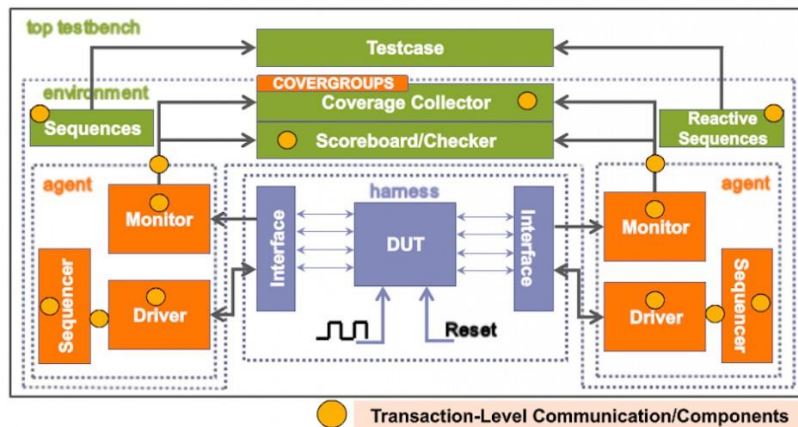
RTL

```
module L1D
:
MEM MEM (...);
:
input v_load_1, v_load_2,
input [47:0] load1_VA,
load2_VA,
:
input clock, reset
);
:
endmodule
```



Автономная верификация

- Верификатор должен разобраться, как работает верифицируемая им аппаратура (Device Under Test, **DUT**) => опыт и понимание работы различных подсистем процессора: конвейер, кэши, протоколы интерфейсов, память, ...).
- Для создания тестового окружения используется SystemVerilog и UVM-библиотеки.
- Наиболее востребованная специальность в отрасли!



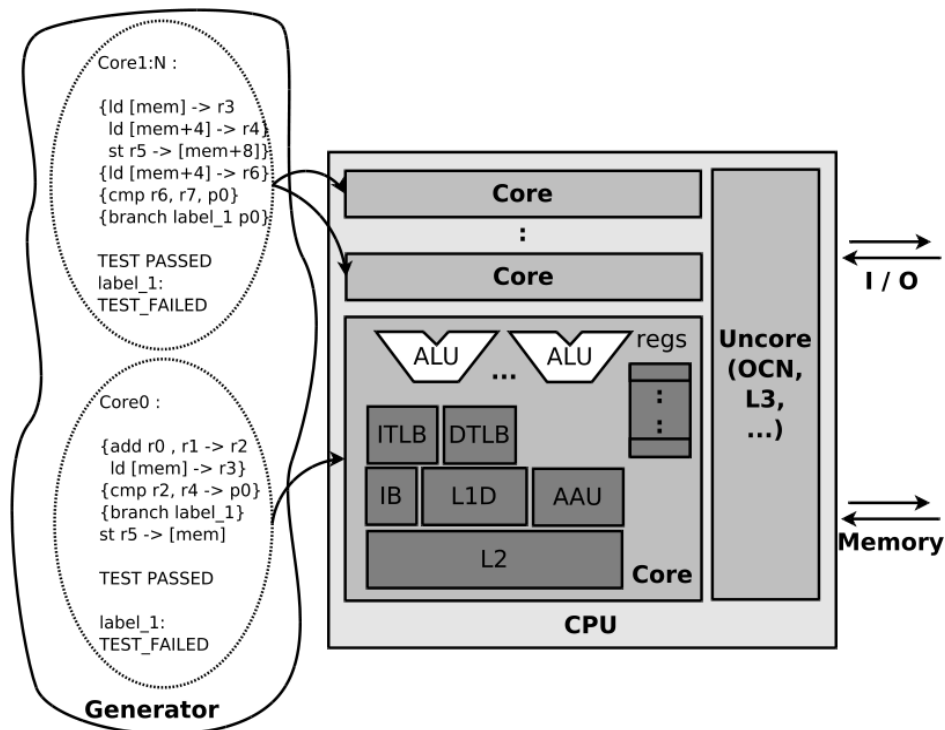
Системная верификация

Если в составе DUT есть **вычислительное ядро**, то тестовое воздействие представляет собой тестовую программу для этого ядра, исполняемую на “голом железе” (в отсутствие операционной системы).

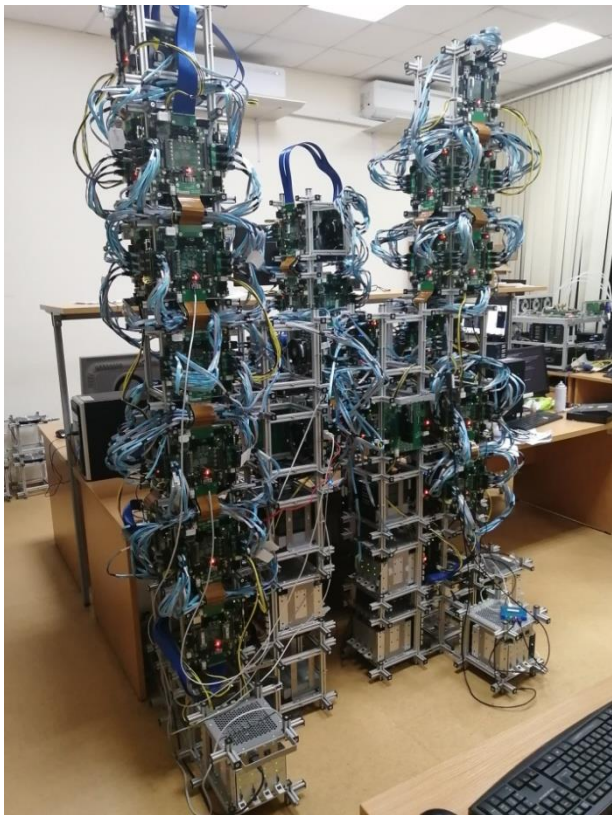
Тестовые программы разрабатываются вручную (специальные узконаправленные тесты) или формируются с помощью **генераторов тестов**.

Разработка, сопровождение и применение генераторов тестов — отдельные задачи.

Основные навыки: знание архитектуры, программирование на ассемблере и языках программирования высокого уровня (C++, python).



Прототипирование на ПЛИС



Двухпроцессорная система на прототипах МП Эльбрус-16С

- оперативная память 64Гб DDR4 SODIMM
- частота работы – 3 МГц (в 10^5 раз быстрее моделирования)
- позволяет подключать периферийные устройства
- позволяет загружать Linux
- позволяет находить логические ошибки и отлаживать ПО (ОС, драйверы) до выпуска чипа





Разработка оптимизирующего компилятора

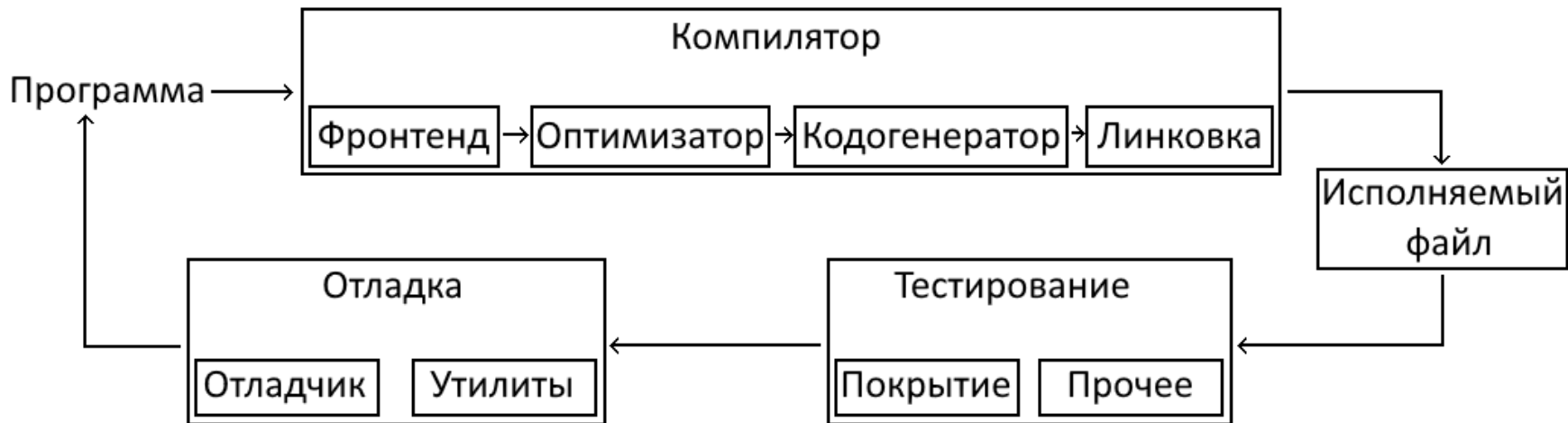
Шампаров Виктор Евгеньевич
АО «МЦСТ», МФТИ
Victor.E.Shamparov@mcst.ru



Что такое компилятор

Компилятор – комплекс программ, преобразующих исходный код в исполняемый файл

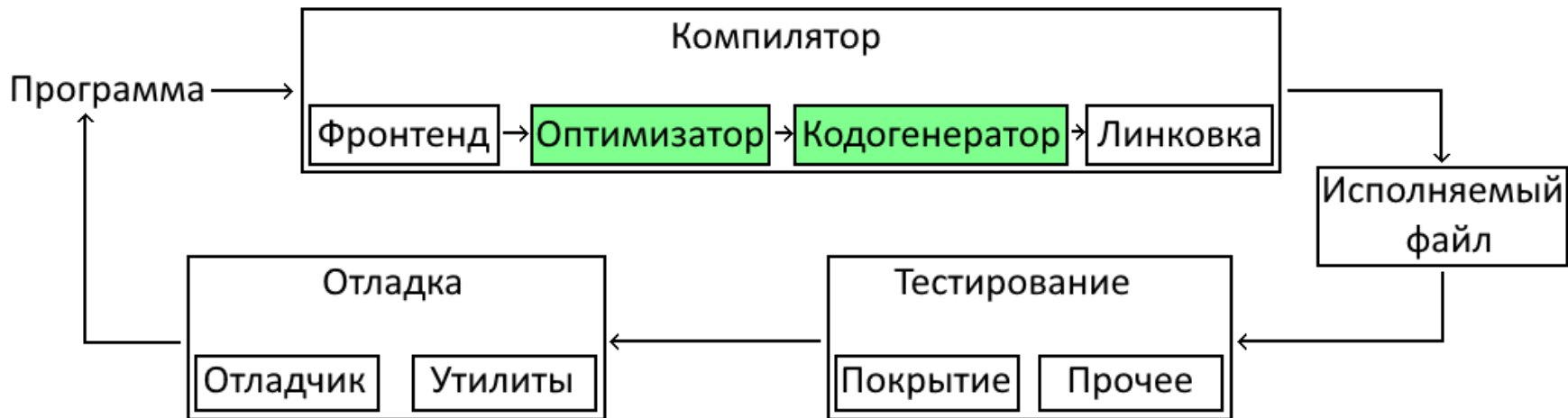
Входит в **систему программирования** – набор программ для разработки



Оптимизации

Улучшение характеристик программы без изменения ее поведения

- Ускорение исполнения
- Уменьшение размера исполняемого файла
- (дополнительно) Поиск некоторых ошибок



Эффект оптимизаций

Ускорение выполнения программы в зависимости от режима оптимизации:

- **-O0** – почти без оптимизаций
- **-O3** – максимальные автоматические оптимизации
- **peak** = -O3 + профиль + ручной подбор опций оптимизации

	-O3 vs -O0	peak vs -O3
Среднее геометрическое	× 7,52	× 1,89
Медиана	× 8,46	× 1,77
Min	× 2,04	× 1,07
Max	× 50,70	× 4,35

Направления развития компилятора

- **Совершенствование** оптимизатора
 - Новые оптимизации
 - Улучшение существующих оптимизаций
- **Поддержка** новых языков
- **Поддержка** новых возможностей аппаратуры
- **Анализ** возможностей ускорения программ
- **Интеграция** с распространёнными компиляторами

Смежная деятельность

- **Аналитика**
 - Как сделать имеющийся код быстрым?
- **Бинарный компилятор**
 - Заставить программы под x86 выполняться
- **Компоненты системы программирования**
 - Портирование/разработка отладчиков, профилировщиков, компоновщиков...
- **Математическая библиотека EML для быстрых вычислений**
 - Реализация быстрых вычислений, оптимизация
- **Тестирование**

Примеры разработок студентов

- Преобразование массивов структур в отдельные массивы для улучшения работы с кэш-памятью
- Поддержка выражений в директивах OpenMP
- Оптимизация конструкции switch: цепочка if-else, сбалансированное дерево if-else или таблица переходов?

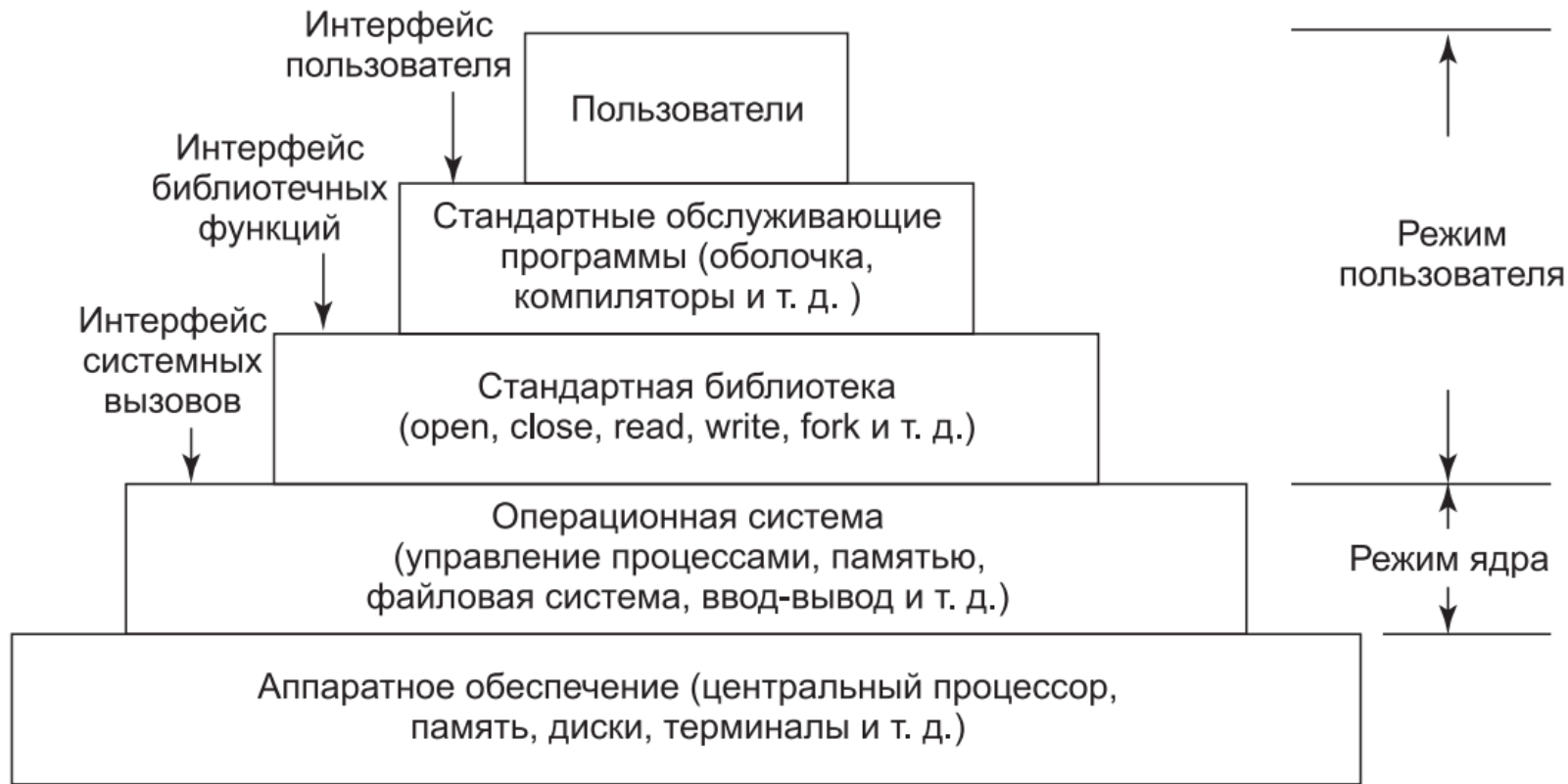


Разработка ядра ОС

Ярапов Денис Владимирович
Denis.V.larapov@mcst.ru
АО «МЦСТ»

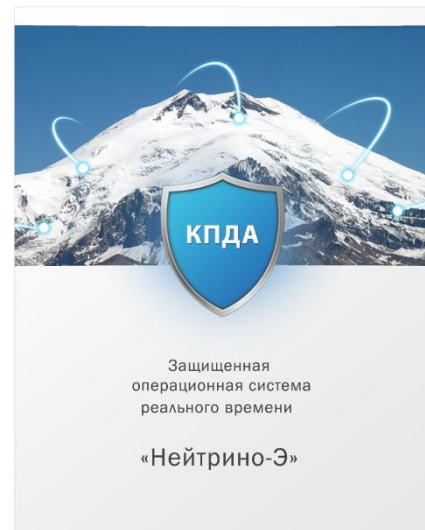


Уровни операционной системы



Дистрибутивы и ОС с поддержкой Эльбрус

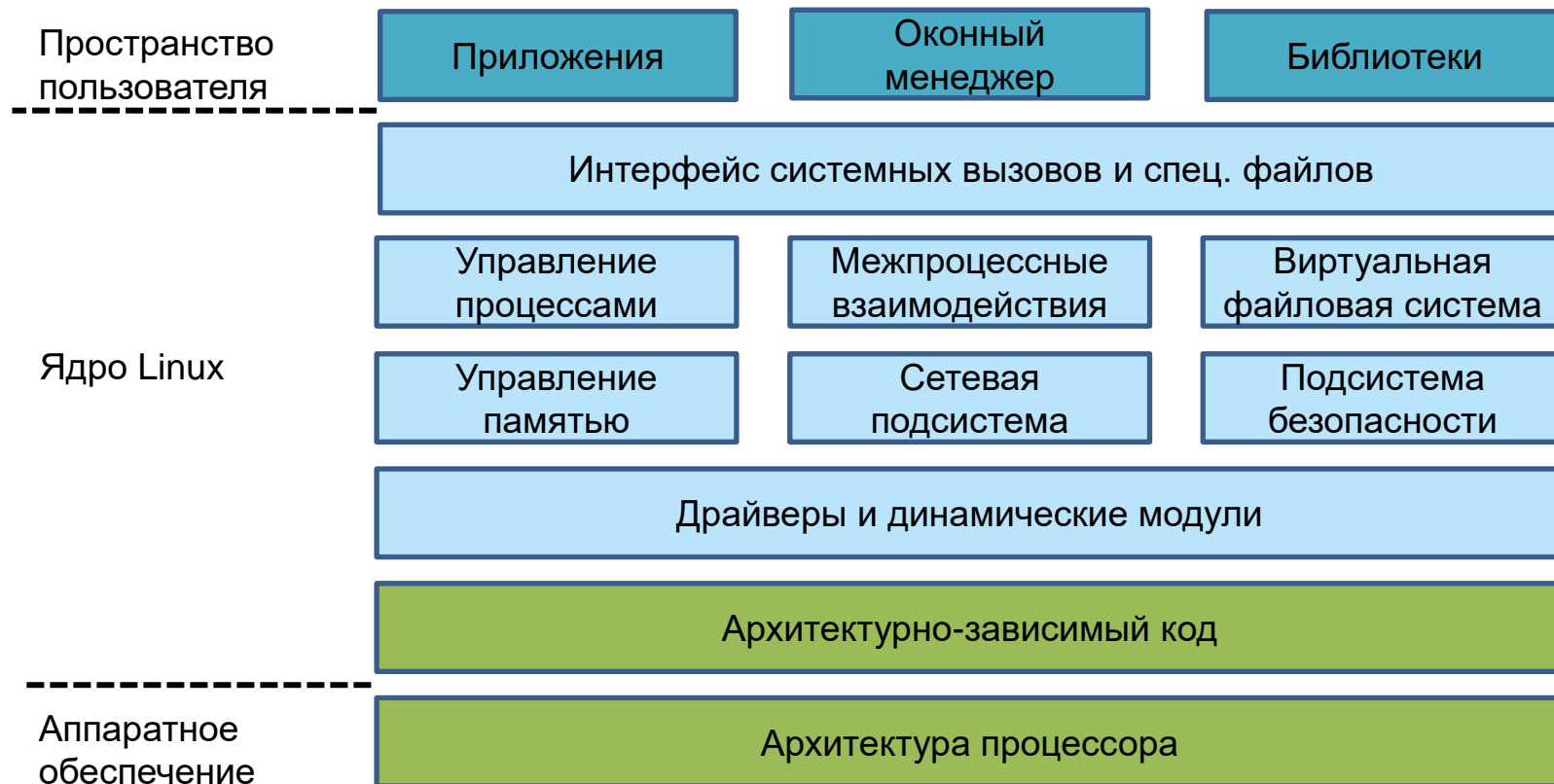
линукс
эльбрус



Ядро Linux: динамика проекта



Структура ядра Linux



Направления развития ядра ОС Эльбрус

- **Обновление ядра**
Эльбрус Линукс 6.0 – на основе ядра Linux 5.4
- **Поддержка процессоров Эльбрус и SPARC**
Новые процессоры: Эльбрус-16С, Эльбрус-32С, SPARC R2000+
Стеки, таблицы страниц, механизмы синхронизации, полуспекулятивный режим
- **Поддержка нового функционала**
KVM (+ QEMU, libvirt, virt-manager)
Real-Time, NUMA Balancing, Transparent Hugepages, кехес, энергосбережение, гибернация, BPF, CRIO
- **Драйверы устройств**
Elbrus PIC, IOMMU, часы, датчики
PCI, USB, сеть, графика, звук, дисковые массивы
- **Защищенный режим**
Контейнерная виртуализация в защищенном режиме
- **Оптимизация производительности**



Дистрибутив ОС

Золотарев Николай Александрович
Nikolay.AI.Zolotarev@mcst.ru
АО «МЦСТ»



Программная экосистема

Собственные средства разработки

- C11, C++11, C++14, C++17 (совместимость с gcc 7.3)
- Fortran 2003
- Java 8
- Mono 5.4 (.NET)
- Библиотека EML ~1500 функций



Двоичный транслятор

Другие ОС и ПО



Основные направления программных работ

Портирование и обновление

- Тысячи open-source пакетов *nix
- «Тяжелые» компоненты – СУБД, СХД, Firefox, Нейросети (PyTorch, Tensorflow), Docker и др.
- Внутренние инструменты сборки и тестирования

Тестирование

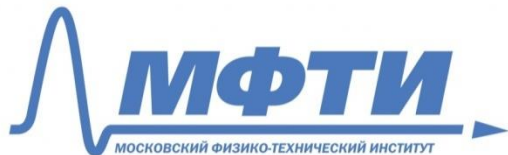
- Всего перечисленного выше
- Регрессионное
- Вычислительной системы в-целом и\или ее подсистем
- Пользовательских задач

Аналитика и оптимизация

- Ключевые компоненты (языки, библиотеки)
- Системное ПО
- Прикладное ПО и приложения пользователей
- Многокомпонентные системы пользователей

Ключевые навыки

- Linux и интерпретируемые языки – Bash, Python
- Портирование и системное программирование, понимание устройства ОС
- Аналитика: отладка и профилирование как на уровне прикладного ПО, так и системного
- C, C++ (но не Java 😊)
- Системы ведения разработки и проектов в-целом
- Составление и обновление технической документации
- Взаимодействие с пользователями и заказчиками (SoftSkills)



Московский физико-технический институт (НИУ)
Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

Базовая кафедра информатики и вычислительной техники



Базовая кафедра

Заведующий кафедрой – доктор технических наук, профессор
Фельдман Владимир Марткович

- Основана в 2006 году, наследует несколько кафедр (начиная с кафедры ЭВМ 1955), связанных с созданием *отечественных* высокопроизводительных вычислительных систем
- **14** учебных курсов (+ **3** новых на стадии разработки)
- Среди преподавателей – **2** доктора наук, **2** кандидата наук
- **33** студента и **4** аспиранта МФТИ проходят обучение в настоящее время
- Более **60** выпускников за последние 10 лет

Базовая кафедра: читаемые курсы

Направления:

- **вводные курсы**
- **архитектура современных вычислительных систем и сетей**
- **логическая верификация аппаратуры**
- **оптимизирующие компиляторы и операционные системы**
- **физическое проектирование СБИС, проектирование вычислительных модулей и комплексов**

3 курс	4 курс		5 курс	
Проектирование ЦУ на ПЛИС	Архитектура вычислительных систем 1		Архитектура вычислительных систем 2	
Прикладное прогр. на языке C	Вычислительные сети		Верификация	
Алгоритмы и структуры данных	Операционные системы 1	Компиляторы 1	Нейронные сети	Операционные системы 2
Программирование на Python	Элементы цифр. устройств	Целостность сигналов	Физ. проектирование СБИС	Компиляторы 2

История

- Школа академика С.А. Лебедева
- **1967 год** – БЭСМ-6 (стековая адресация, виртуальная память)
- **1975 год** – на БЭСМ-6 выполнялся обсчет телеметрии во время полета «Союз-Аполлон»
- **1985 год** – Эльбрус-2, используется в ПРО Москвы
- **1992 год** – создание ТОО «Московский Центр SPARC-технологий»
- **1998 год** – «Эльбрус-90микро», первый отечественный ВК на интегральной схеме, применяются на командных пунктах ВКО
- **2010 год** – «Эльбрус-S», первый МП с архитектурой Эльбрус для многопроцессорных ВК с распределенной памятью
- **2014 год** – «Эльбрус-8С», первый 8-ядерный отечественный МП на технологии 28 нм
- **2021 год** – «Эльбрус-16С», 16-ядерный процессор на технологии 16 нм
- **2022 год - н.в.** – «Эльбрус-32С», 32-ядерный процессор на технологии 6 нм, DDR5, 6TF, поддержка ускорения нейросетевых и криптографических вычислений

Преимущества учебы на нашей кафедре

- **современные** учебные курсы
- опыт **командной работы** в **крупном востребованном проекте**
- навыки **анализа и разработки** программных/аппаратных решений
- работа **на стыке науки и практики**
- написание диплома на основе **полученного опыта**
- заработная плата, пропорциональная **компетенции** в рамках рабочего проекта
- возможность продолжения обучения **в магистратуре и аспирантуре**

Преимущества работы в АО МЦСТ

- Молодой высокоинтеллектуальный **коллектив**
- Опытное и адекватное **руководство**
(+любящее к студентам!)
- Глубокая история фирмы и её **устойчивость**
- Работа на острие индустрии
- Рекомендации и **опыт** мирового уровня

Прием на кафедре

- **Экскурсия в Центр разработок**
– начало апреля
- Запись на экскурсию **до 29 марта**
через **анкету** или письмом на education@mcst.ru
- Для поступления на кафедру необходимо пройти **вступительные испытания** для поступающих на стажировку по наиболее заинтересовавшим направлениям
- Задания будут доступны с 15 марта на странице www.mcst.ru/student →



Ссылка на анкету



Сайт кафедры

Почта кафедры:
education@mcst.ru

Заместитель
заведующего кафедрой

**Сурченко
Александр
Викторович**

Помощник ген.
директора по научно-
педагогической работе

**Альфонсо
Даниил
Максимович**