

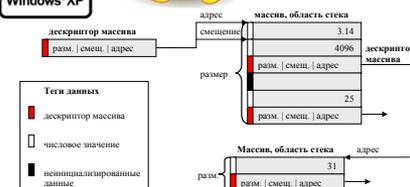
Российские технологии «Эльбрус» для персональных компьютеров, серверов и суперкомпьютеров

Ким А.К., Бычков И.Н., Волконский В.Ю., Воробушков В.В.,
Груздов Ф.А., Михайлов М.С., Нейман-заде М.И., Парахин Ю.Н.,
Семенихин С.В., Слесарев М.В., Фельдман В.М.
ОАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука», ЗАО «МЦСТ»

*IX Международная научно-практическая конференция
«Современные информационные технологии и ИТ-образование»
Пленарный доклад 14.11.2014*

Продукция и технологии «Эльбрус»

- Микропроцессоры
- Контроллеры
- Операционная система
- Системы программирования
- Система двоичной совместимости
- Система защищенного программирования
- Вычислительные комплексы



Микропроцессоры, модули, компьютеры

МП «Эльбрус-2С+» и «Эльбрус-4С», КПИ

МП Эльбрус-2С+:

- Технология – 90 нм, 10 слоев металла
- Тактовая частота – 500 МГц
- Рассеиваемая мощность – 25 Вт
- Состав микросхемы
 - 2 ядра с архитектурой «Эльбрус»,
 - 4 ядра ДСП с архитектурой Мультикор
- Суммарная производительность 28 Gflops 32-разрядных:
 - 2-х ядер «Эльбрус» - 16 Gflops,
 - 4-х ядер ДСП - 12 Gflops
- Размер кристалла - 17,2x16,8 мм
- Год выпуска 2011



МП Эльбрус-4С (-2S):

- 4 универсальных ядра МП Эльбрус
- 8 Мбайт L2 кэш
- Технологические нормы 65 нм
- Площадь 380 кв. мм
- Тактовая частота до 1 ГГц
- Рассеиваемая мощность – 45 Вт
- Производительность до 32 Gflops (до 64 Gflops 32-разрядных)
- Пропускная способность памяти 38,4 Гбайт/сек
- 4-процессорная NUMA (каналы 16 Гбайт/сек)
- Год выпуска 2013

КПИ:

- Технология – 0.13 мкм, 9 слоев металла
- Тактовая частота – 250 МГц
- Рассеиваемая мощность – 5 Вт
- Реализует 14 широко распространенных интерфейсов, в том числе:
 - системный, PCI Express, PCI, Ethernet (10/100/1000), SATA(связь с дисками), USB 2.0, RS 232/485 и др.
- Размер кристалла – 10,6x10,6 мм
- Год выпуска 2010



АРМы на базе МП «Эльбрус»

Моноблок КМ4-Эльбрус

- Экран 21" 1920*1080
- Видеокарта 2D/3D*
- Диски: SATA 3.5" + DVD
- Полный набор интерфейсов (USB 2.0, WiFi, Bluetooth, DVI, Gigabit Ethernet, камера, микрофон)
- Размер 535x415x55(мм)



Ноутбук (носимый терминал) НТ-Эльбрус

- Экран 14" 1366*768
- Видеокарта 2D/3D*
- Диски: SATA 2.5" + DVD
- Полный набор интерфейсов (USB 2.0, WiFi, Bluetooth, GPS+Glonass, DVI, Gigabit Ethernet, камера, микрофон)
- Размер 341x240x32(мм)
- Стандартный аккумулятор и блок питания

БК Монокуб-РС



Возможность выпуска 50 тыс. в год

Однопроцессорный модуль на базе процессора Эльбрус-4С



Встраиваемый сервер 3U/1U



Сервер на базе процессоров Эльбрус-4С

- ❑ 4 процессора Эльбрус-4С (4 ядра, 800 МГц), 16 ядер производительностью 200 GFLOPs, 2 моста КПИ для связи с периферией
- ❑ Оперативная память: 60 Гбайт, DIMM DDR3
- ❑ Интерфейсы: SATA 2.0 – 8 каналов, Gigabit Ethernet – 2 канала, PCI Express 1.0 x8 – 2 слота, PCI – 2 слота, USB – 6 слотов
- ❑ Высота корпуса 3U / 2U, в 2015 г. – 1U

Для стоечного кластера 13,8 TFLOPs

Вычислительная система класса СуперЭВМ

- ❑ **Процессоры:** Эльбрус-4С
- ❑ Евромеханический шкаф 47 U – 1шт;
- ❑ Количество процессорных модулей - 64
- ❑ Количество процессоров - 256
- ❑ Объем ОЗУ – 6 Тбайт
- ❑ Объем дисковой памяти – 32 Тбайт
- ❑ Система охлаждения - воздушная
- ❑ Потребляемая мощность – 20 кВт
- ❑ Производительность – 13,8 Тфлопс



Аппаратно-программные средства

Глубокая аппаратно-программная интеграция МП линии Эльбрус

- *Архитектура* предоставляет
 - параллельные ресурсы в виде широкой команды
 - до **25** скалярных операций за такт на ядро
 - до **12** Flops (**24** упакованных 32-разрядных) за такт на ядро
 - в Эльбрус-16С - удваивается
 - **многоядерность**
 - **многопроцессорность**
 - большой регистровый файл
 - средства поддержки оптимизаций
 - средства поддержки совместимости
 - средства поддержки защищенного исполнения
- *Компиляторы и операционная система* обеспечивают
 - автоматическое **распараллеливание** программ на уровне операций (в том числе упакованных), потоков управления, процессов
 - **эффективную совместимость с Intel x86-64** на базе системы динамической двоичной компиляции
 - реализацию языков и систем программирования для **защищенного исполнения** программ при поддержке ОС

Сохраняется универсальность МП – широкий диапазон применения
Обеспечивается высокая эффективность использования оборудования

Средства программирования в системе Эльбрус

- Современные средства разработки программ
 - Оптимизирующие компиляторы с языков **C**, **C++**, **Фортран**, средства сборки, отладки, профилирования, библиотеки
- Средства поддержки пользовательского интерфейса
 - Утилиты, сервисы, библиотеки общего назначения
 - Графическая подсистема, работа с сетью, редакторы текстов, работа с периферийными устройствами
- Система программирования на языке **Джава**
- Возможность использования свободного ПО
 - **совместимость с Гну-компиляторами**
- Высокопроизводительные **математические** и мультимедийные библиотеки
 - Линейная алгебра, обработка сигналов, обработка изображений, аудио и видео кодеки, графика
- Средства и библиотеки для распараллеливания
 - Библиотека **MPI**, расширения **OpenMP**, автоматическое распараллеливание



Быстрый перенос программ из-под Windows на **платформу Эльбрус**

- ОС Эльбрус (**Linux**), компиляторы с **Фортрана** и **C/C++**, библиотека **MPI**

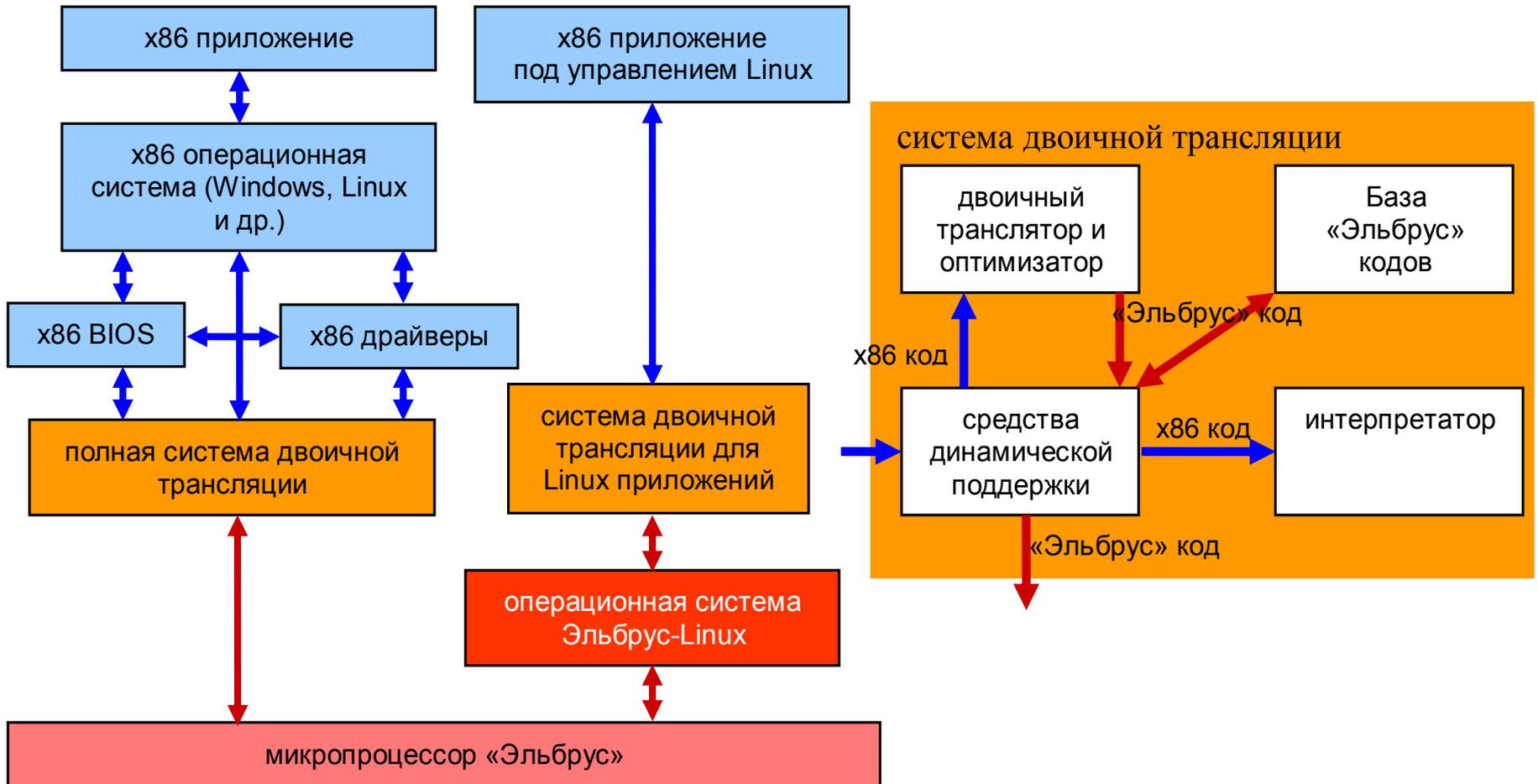
Операционная система Эльбрус

- **Собственная** программа начальной загрузки (BIOS)
- Ядро базируется на **ОС Linux**
- Комплекс **средств защиты** от НСД **сертифицирован** по 2-му классу, реализует 2-й уровень контроля отсутствия НДВ, ПМДЗ «Эшелон-Э»
- Обеспечивает работу **в режиме реального времени**
- Поддерживает
 - систему **совместимости** для приложений **в кодах Intel x86**
 - эффективное **защищенное исполнение** программ
- Дистрибутив на базе Debian, в том числе
 - СУБД (PostgreSQL, SQLite, Линтер)
 - Встроенные **средства защиты**
 - Планируется сетевая файловая система **LUSTRE**
 - Средства работы в сети
 - Встроенные **средства защиты**



Использование динамической компиляции и оптимизации

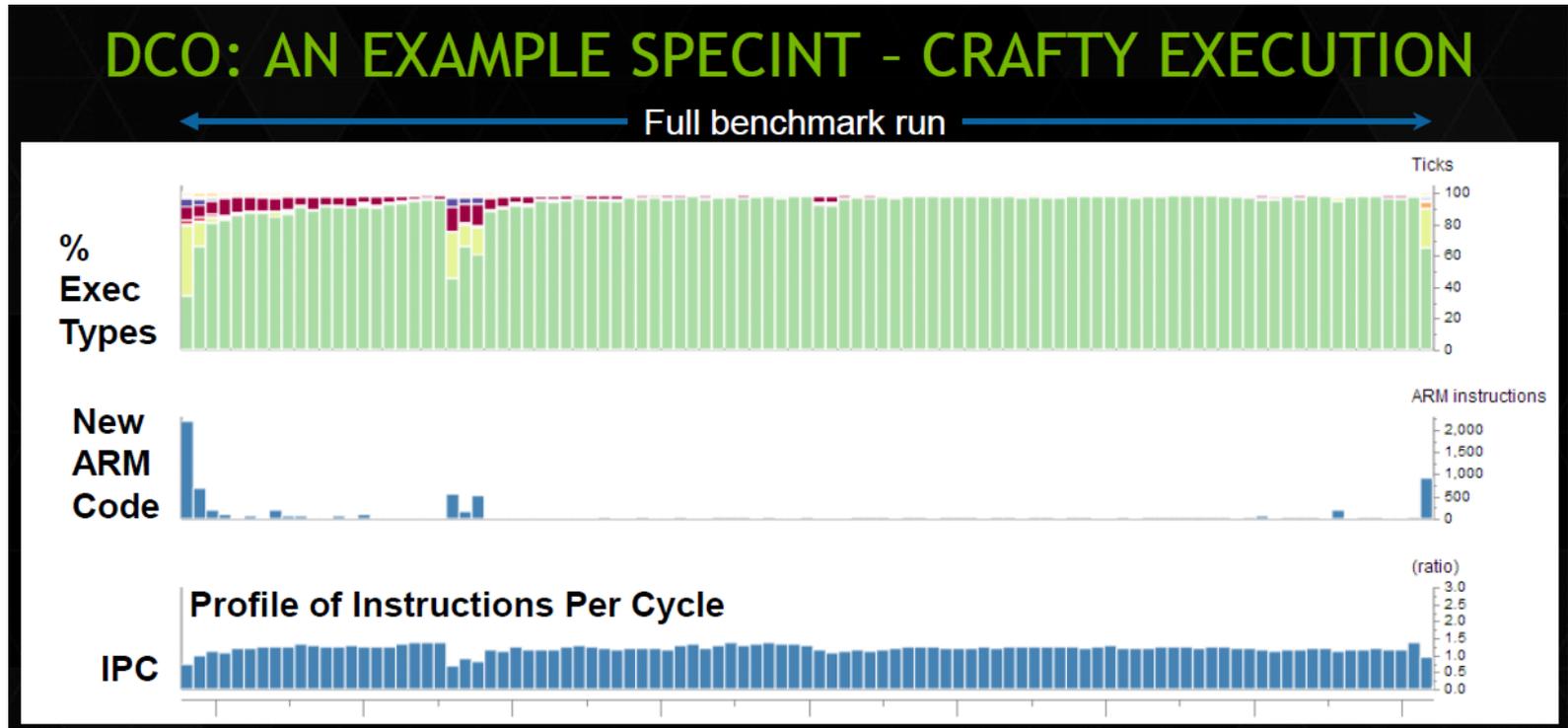
Совместимость на базе динамической компиляции



Обеспечивает эффективную совместимость за счет использования параллелизма и аппаратной поддержки

Детали системы двоичной компиляции

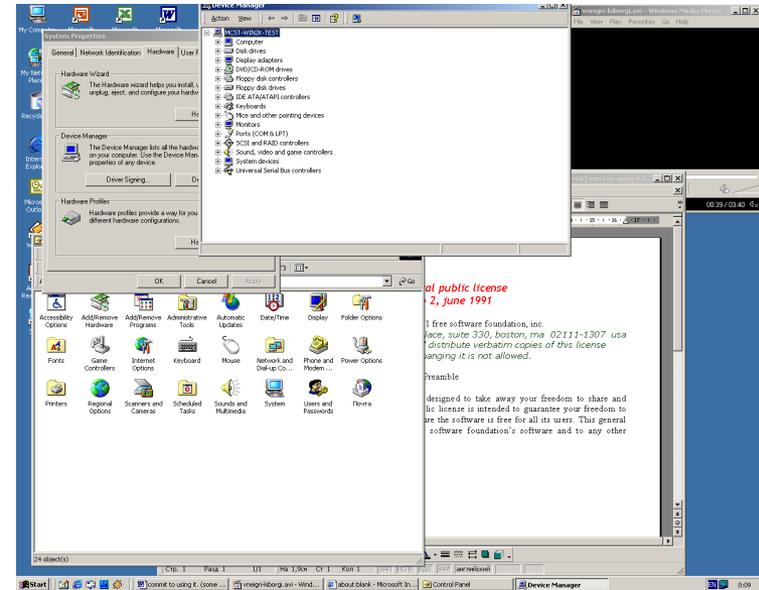
- Использует несколько уровней оптимизации кодов
 - Простейшая шаблонная, быстрая, код не оптимальный
 - Самый высокий уровень использует все параллельные возможности архитектуры «Эльбрус»
 - Эффективно исполняются многопоточные приложения с соблюдением моделей памяти
 - Обеспечивается реализация точных и асинхронных прерываний
- Использует параллельные ядра для динамической компиляции и оптимизации на фоне исполнения
- Сохраняет хорошо оптимизированные коды в специальной базе кодов
 - При повторном исполнении сразу исполняет оптимизированный код
- Обладает хорошими адаптивными свойствами
 - Перекомпилирует регионы с динамическими событиями, негативно влияющими на производительность
 - Может использоваться для поддержки виртуализации



- 64-разрядный энергоэффективный с архитектурой ARM v8
- Выполняет прямое исполнение с аппаратной перекодировкой в микрокод
- Динамически компилирует «горячий» код в параллельный микрокод
- Время компиляции и работа неоптимизированного кода составляют 3% от времени исполнения программы
- На вещественных задачах быстрее МП Haswell от Intel

Эффективная двоичная совместимость с Intel x86, x86-64

- **Функциональность**
 - Полная совместимость с архитектурой Intel x86 (x86-64 с МП «Эльбрус-4С»)
 - Прямое исполнение **20+** операционных систем, в том числе: MSDOS, Windows XP, Linux, QNX
 - Прямое исполнение **1000+** самых популярных приложений, включая **МНОГОПОТОЧНЫЕ**
 - Исполнение приложений под ОС «Эльбрус» (Linux)
- **Производительность – 80%** от нативной
 - Достигается за счет скрытой **системы оптимизирующей двоичной трансляции**
 - Мощная аппаратная поддержка в МП «Эльбрус»
- **Лицензионная независимость от Intel**



Подтвердила свою эффективность при переносе систем на C# и Java
- **Windows, язык C#, все в кодах Intel успешно работает на платформе Эльбрус**

Другие примеры использования динамической компиляции

- Поддержка OpenCL и OpenGL
 - Сохранение программы в виде промежуточного представления EIR
 - Разработано до появления получившего широкое распространение представления LLVM
 - Используется для оптимизации под конкретные модели процессоров
 - Возможность работы с представлением и библиотекой LLVM
 - Позволила динамически оптимизировать шейдеры OpenGL и ускорить его работу в 3 раза
- Динамическая оптимизация байткода Джавы в OpenJDK
 - За счет использования оптимизации удалось поднять производительность в 2 раза
 - За счет более полного использования аппаратных возможностей сохраняется еще 2-кратный запас производительности

Технология защищенного исполнения программ

Рост объема и сложности ПО

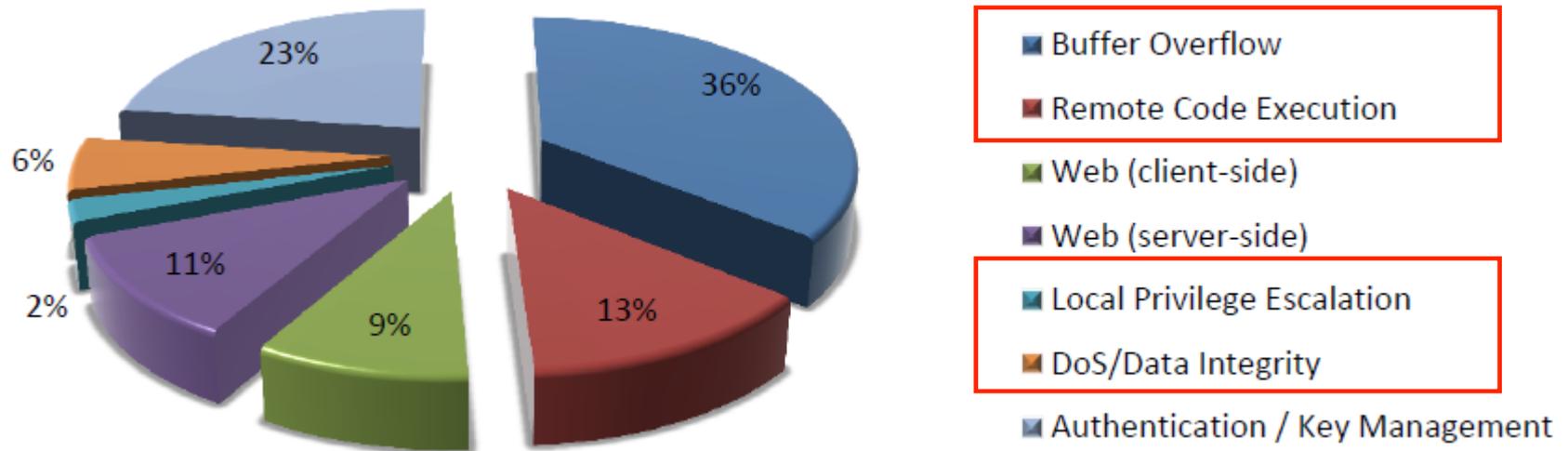
- Экспоненциальный рост объема и сложности ПО
 - На примере дистрибутива Linux Debian (число пакетов увеличилось в 78 раз за 17 лет)

1996	1998	2000	2002	2005	2007	2009	2011	2013
474	1500	3900	8500	15400	18000	23000	29000	37000

- Размер кода: 2001 г. – 55 млн. строк, 2007 – 288 млн. строк, 2013 – 457 млн. строк
- Показатели надежности
 - Число ошибок на 1000 строк кода (KLOC)
 - 2-5 для ПО с открытым кодом
 - потенциально в дистрибутиве Linux Debian 2013 г. **1 млн.** ошибок
 - 0,5 для Windows
 - 0,1 для промышленного ПО (трудоемкость отладки в 10 раз превышает коммерческое ПО)
- Низкий уровень аппаратуры
 - Низкий ассемблерный уровень программирования
 - Отсутствие контроля критических ошибок

Существует огромный риск потери контроля над ПО и киберпространством
Пример – вирус stuxnet, поразивший и разрушивший ядерные объекты Ирана

Распределение уязвимостей АСУ ТП по типам



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

За счет уникальной технологии защищенного исполнения программ в архитектуре «Эльбрус» исключаются все опасные уязвимости и существенно возрастает Надежность программ

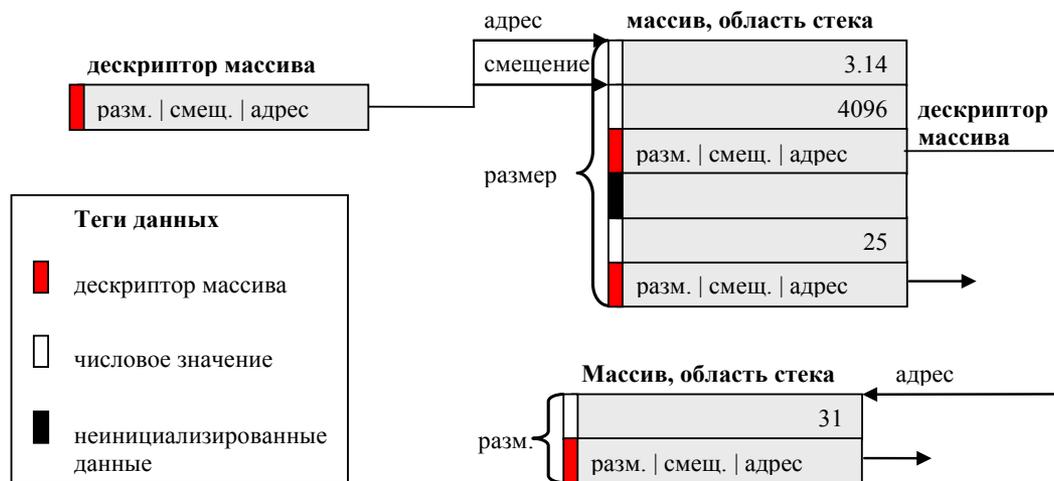
Защищенное исполнение программ в архитектуре «Эльбрус»

Что обеспечивает

- **Защиту от компьютерных вирусов**
- **Фундаментальные средства борьбы с любыми уязвимостями из-за ошибок в программах**
- **Локализацию сложных программных ошибок без потери эффективности**
- **Эффективное исполнение благодаря параллельному аппаратному контролю**
 - Операции не замедляются
- **Возможность создания надежных и безопасных программ большими коллективами в сжатые сроки**

Защита памяти с помощью тегов

- структурированная память
- доступ к объектам через дескрипторы
- контекстная защита по языковым областям видимости



Основные типы обнаруживаемых ошибок:

- нарушение границ объекта (переполнение буфера)
- использование неинициализированных данных
- использование опасных конструкций языка или опасных отклонений от стандартов языков

Проект CRUSH-SAFE

- Проект поддерживается агентством DARPA
- Основная цель – создание надежных вычислительных систем
- Используется система защиты памяти с помощью метаданных, хранящихся в тегах
 - Доступ к данным через дескрипторы
 - Динамический контроль типов
- Ориентируется на использование новых языков программирования
- Требует создания новой децентрализованной операционной системы
- Предлагает для этого новую аппаратную архитектуру
 - Опирается на постулат, что для достижения надежности можно пожертвовать производительностью
- Применяет методы формального доказательства правильности работы программы
 - Опираются на дескрипторы, теги и контекстную защиту памяти

Внедрение технологии защищенного исполнения

- Уникальная технология защищенного исполнения программ **не имеет аналогов в мире**
 - Аппаратура обеспечивает высокий семантический уровень, интегрированный с системным программным обеспечением
- В отличие от некоторых только разрабатываемых систем на Западе (проект CRUSH SAFE, поддерживаемый DARPA) **не требует полной переработки** всего программного обеспечения
 - Поддерживает защищенное исполнение программ на широко распространенных языках программирования C, C++, Fortran
 - Позволяет использовать технологию защищенного исполнения как на прикладном, так и на системном уровнях
 - Требуется небольшой доработки существующих программ с целью устранения ошибок и замены опасных языковых конструкций
- Обеспечивает **конкурентные технологические преимущества** по отношению к существующим низкоуровневым аппаратным платформам
 - Позволяет в кратчайшие сроки создать гораздо более надежное ПО
 - Распространить технологию как российскую инновацию в мире

Развитие микропроцессоров линии «Эльбрус»

Развитие аппаратной части «Эльбрус»

МП Эльбрус-8С

- 8 ядер «Эльбрус»
 - число операций за такт – 12 (24 sp) Flops
- Частота 1,3 ГГц
- Производительность 125 (250 sp) Gflops
- Технологический процесс 28 нм
- Площадь кристалла 350 кв. мм
- L2 Cache – 512 KB на ядро
- L3 Cache – 16 MB, shared
- Первый чип – окт. 2014
- Год выпуска 2015

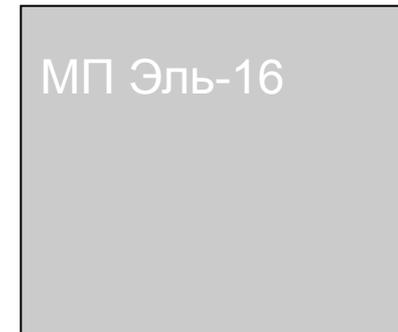


КПИ-2

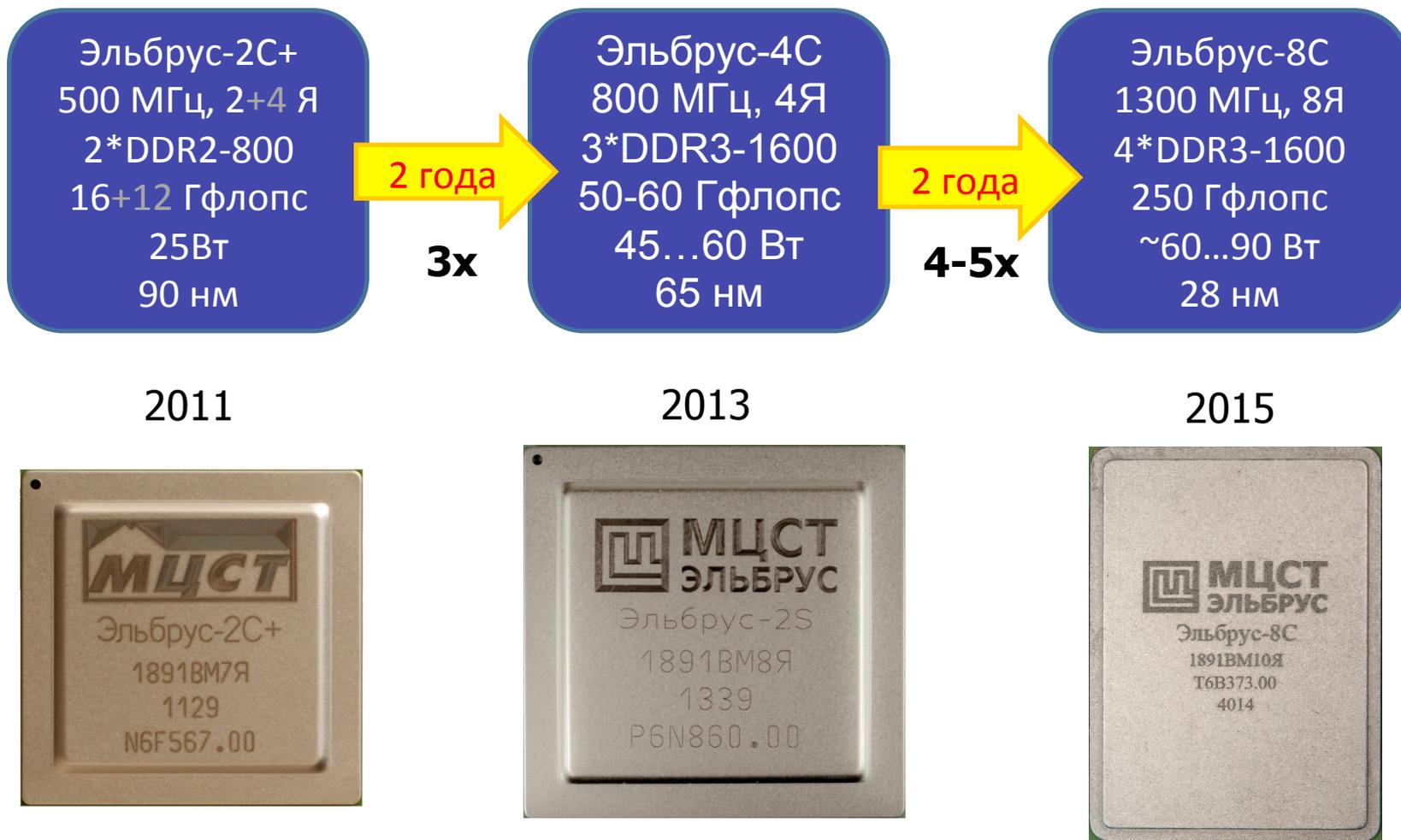
- технология 65 нм
- канал обмена с процессором 16 Гбайт/с
- важнейшие интерфейсы PCI Express 8+8+4 линий, Gigabit Ethernet – 3 порта, SATA 3.0 – 8 портов, USB 2.0 – 8 портов
- контроллер энергосбережения SPMC
- контроллер прерываний
- Первый чип изготовлен в октябре 2014
- Год выпуска 2015

МП Эльбрус-16С

- 8-16 ядер «Эльбрус»
 - число операций за такт – 24 (28 sp) Flops
- Частота 1,5 ГГц
- Производительность выше 280 (550 sp) Gflops
- Технологический процесс 28 нм
- Площадь кристалла 400 кв. мм
- L2 Cache – 512 KB на ядро
- L3 Cache – 16 MB, shared
- Год выпуска 2018

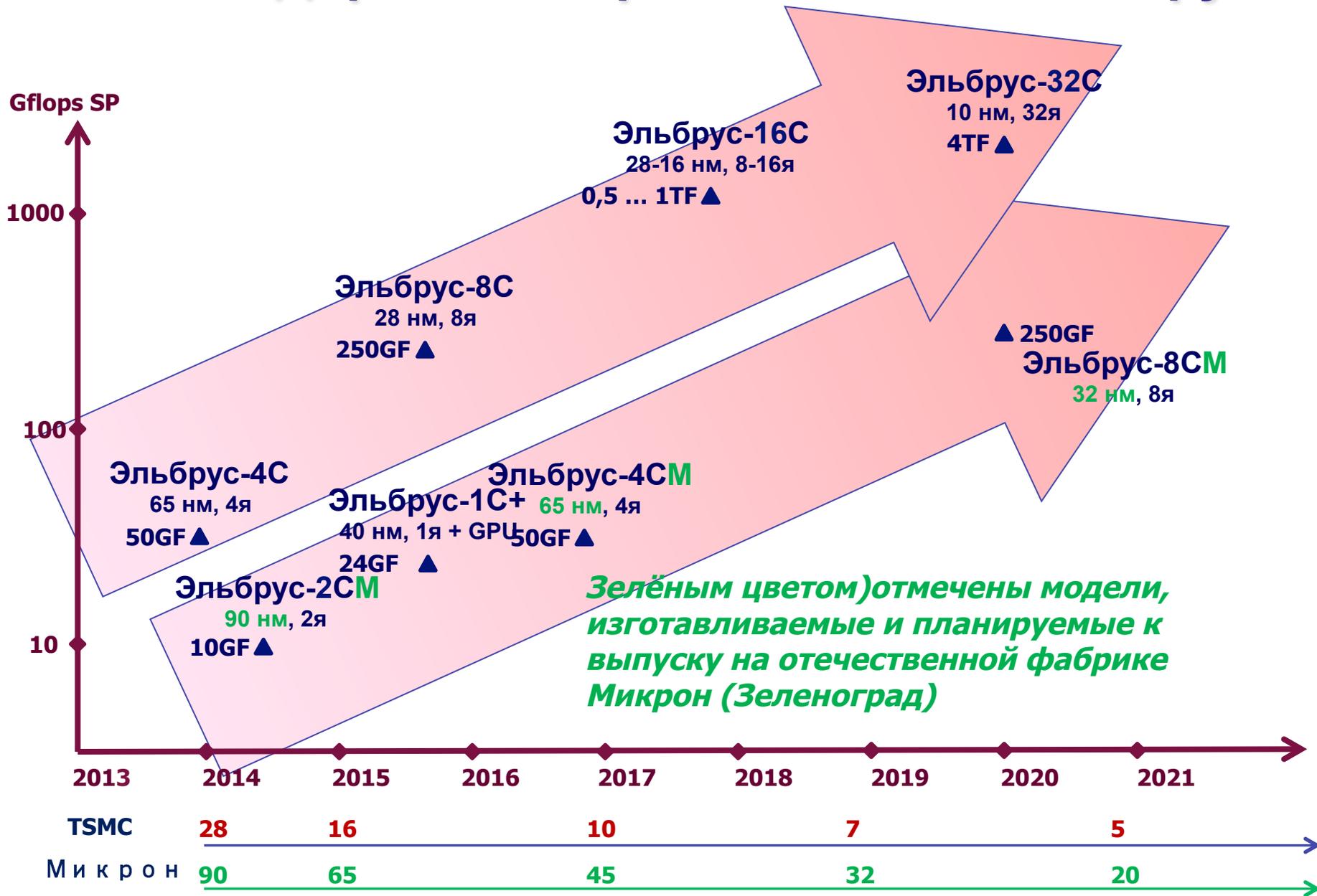


Рост вычислительной мощности МП линии «Эльбрус»



В 2018 г. производительность МП Эльбрус-16С увеличится еще в 2,5 раза

Дорожная карта МП линии «Эльбрус»



СПАСИБО за внимание!