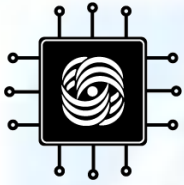


ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Лекция 7: *Архитектура вычислительных блоков ИУС РВ*

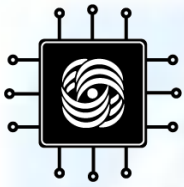
Кафедра АСВК,
Лаборатория Вычислительных Комплексов
Балашов В.В.



План

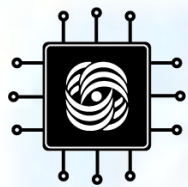
- Однопроцессорные вычислительные блоки
- Распределённые системы из однопроцессорных блоков
- Многомодульные вычислительные блоки
- Архитектура интегрированной модульной авионики

ИНТЕГРАЦИЯ

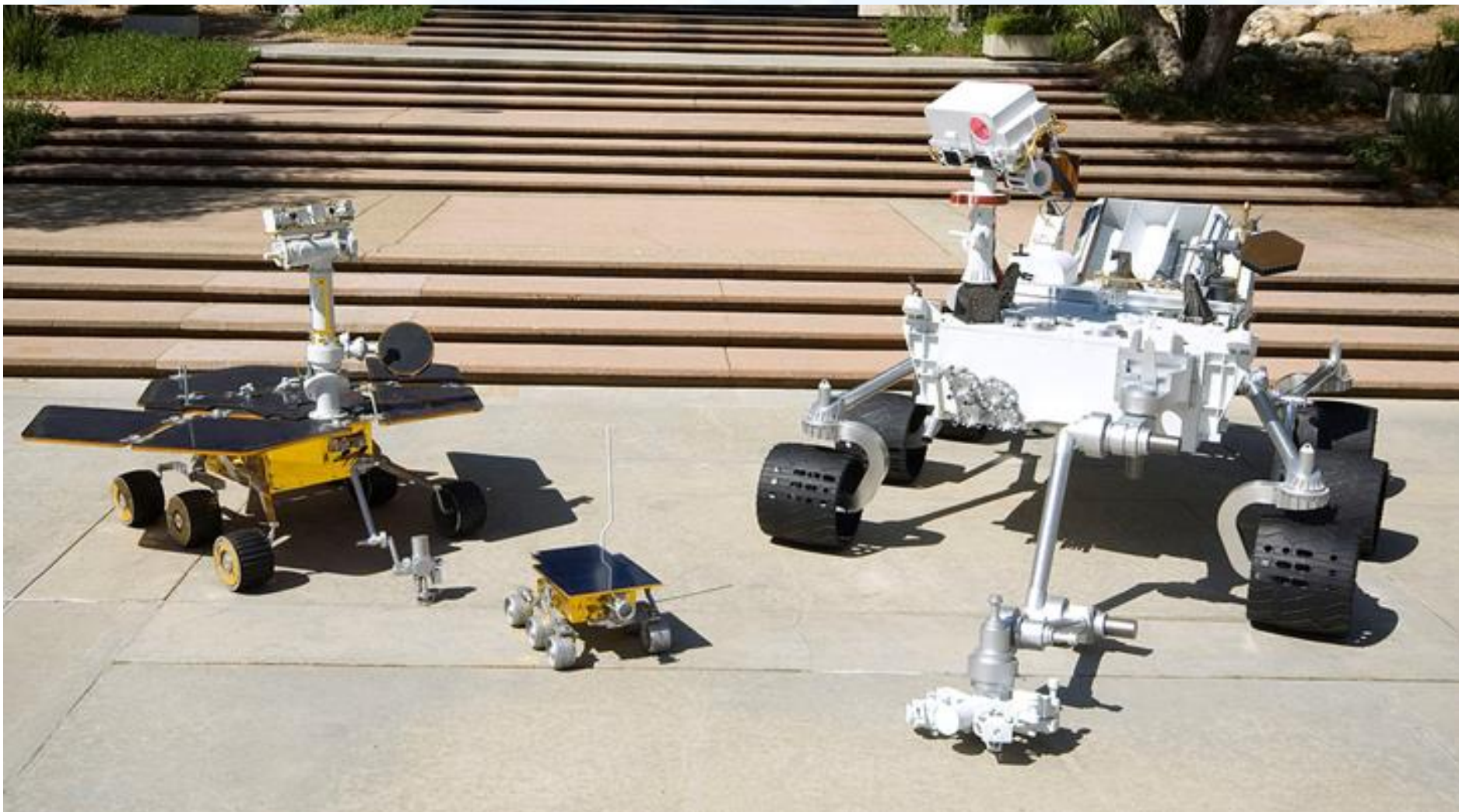


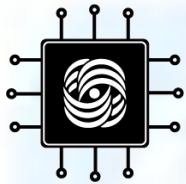
Необходимый минимализм: однопроцессорные блоки

- Технологические ограничения:
 - вынужденное применение «грубого» технологического процесса
 - жёсткие ограничения по размерам и энергопотреблению
- Откуда берутся ограничения
 - требование к устойчивости к внешним воздействиям (излучение и т.п.)
 - неразвитость технологических процессов производства микросхем
 - общий лимит на размеры и энергопотребление ИУС РВ



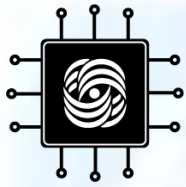
Аппараты с жёсткими ограничениями на ИУС РВ



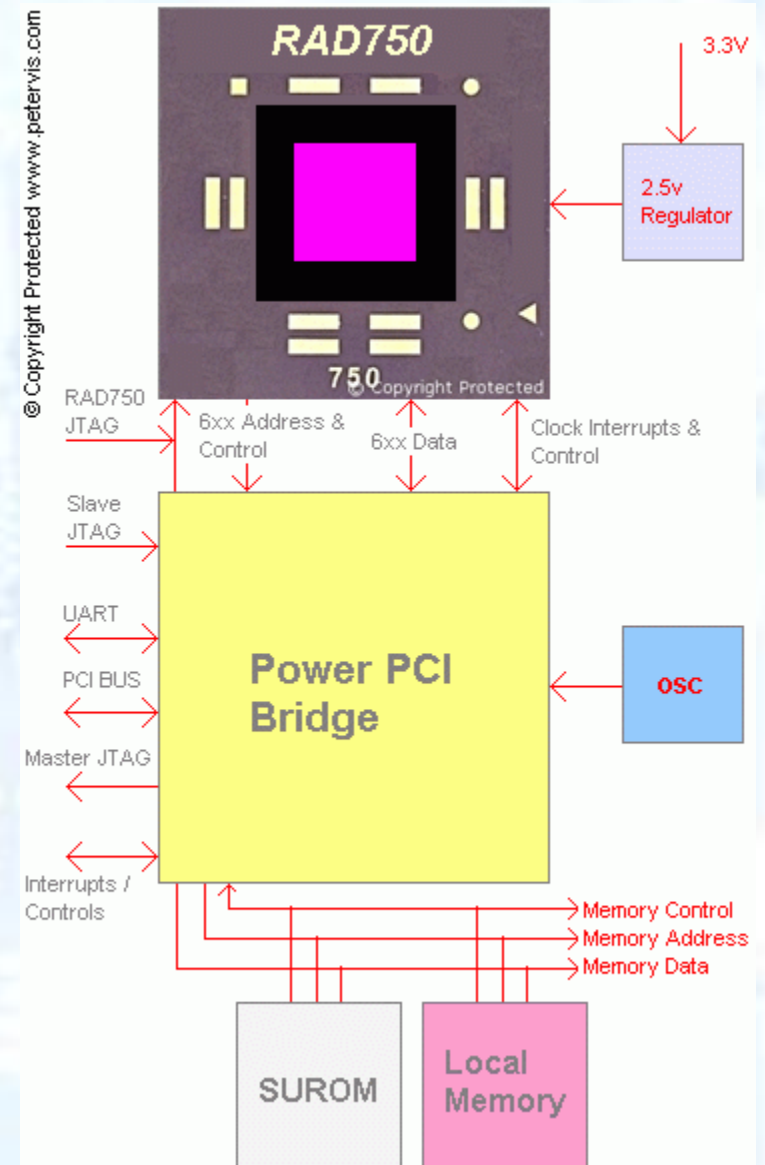


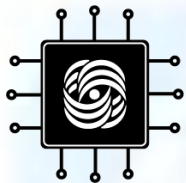
Центральные ЭВМ марсоходов

Аппарат	CPU	RAM	Flash	EEPROM	ОС
Sojourner (1997)	Intel 80C85, 2 МГц, 8-разрядный, 6000 транзисторов (аналог Intel 8080 1974 г. разработки)	512 Кбайт	176 Кбайт	Нет	Однозадачная, жёсткий порядок выполнения задач
Mars Exploration Rover (2004)	IBM/BAE RAD6000, 20 МГц, 32-разрядный, 1.1 млн транзисторов	128 Мбайт	256 Мбайт	3 Мбайт	VxWorks, многозадачная
Mars Scientific Laboratory (2011)	BAE RAD750, 132 МГц, 10.4 млн транзисторов	256 Мбайт	2 Гбайт	256 Кбайт	VxWorks, многозадачная

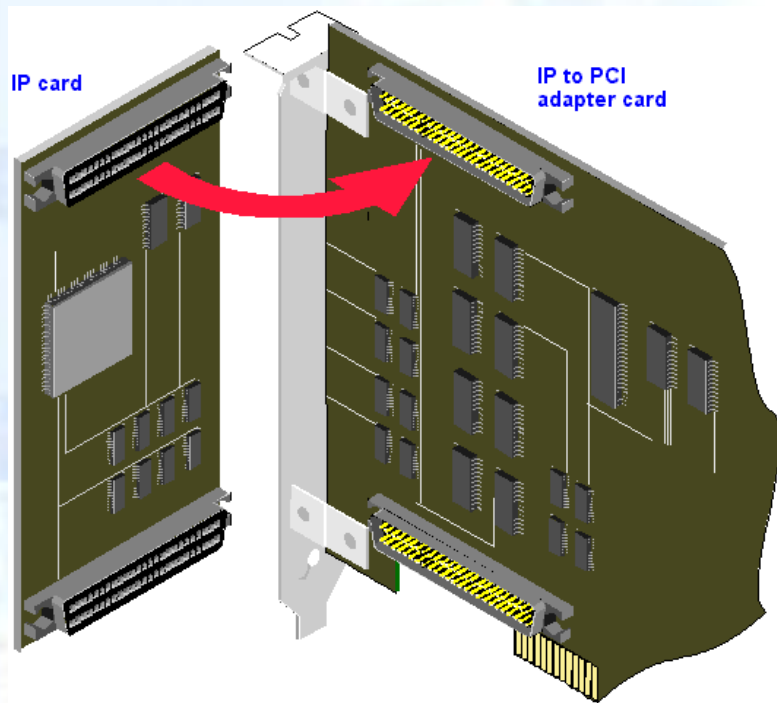
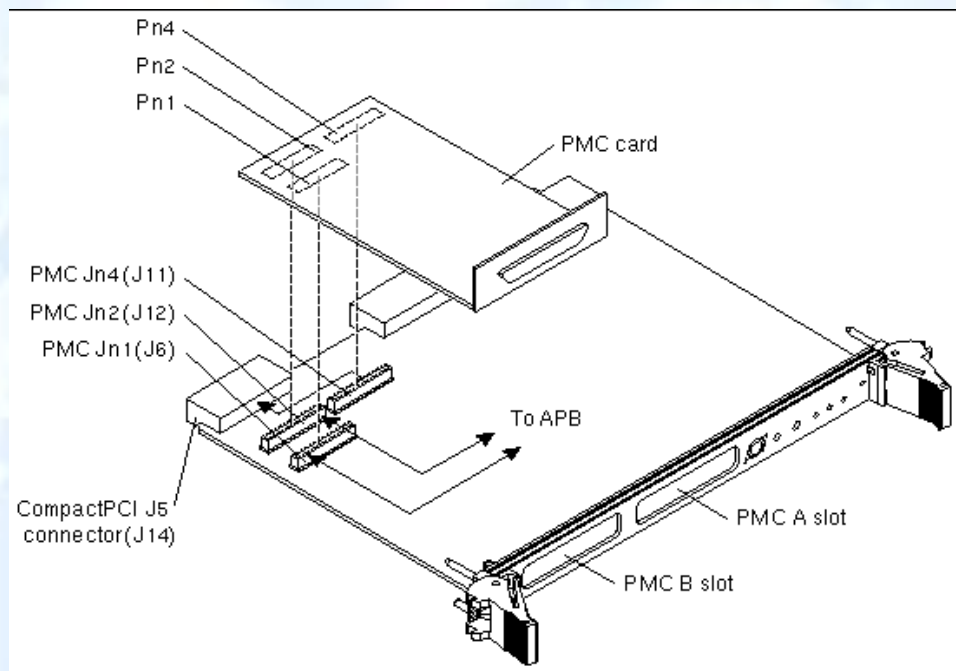


RAD750

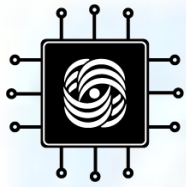




Расширение одноплатного компьютера: карта-мезонин



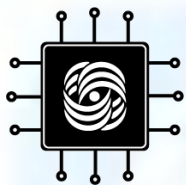
- На одноплатном компьютере – локальная шина (например, PCI)
- К локальной шине присоединяется карта расширения (например, адаптер канала)
- Карта расширения не зависит от «основного» разъёма, через который компьютер подключается к управляемой системе



RAD750: внедрения

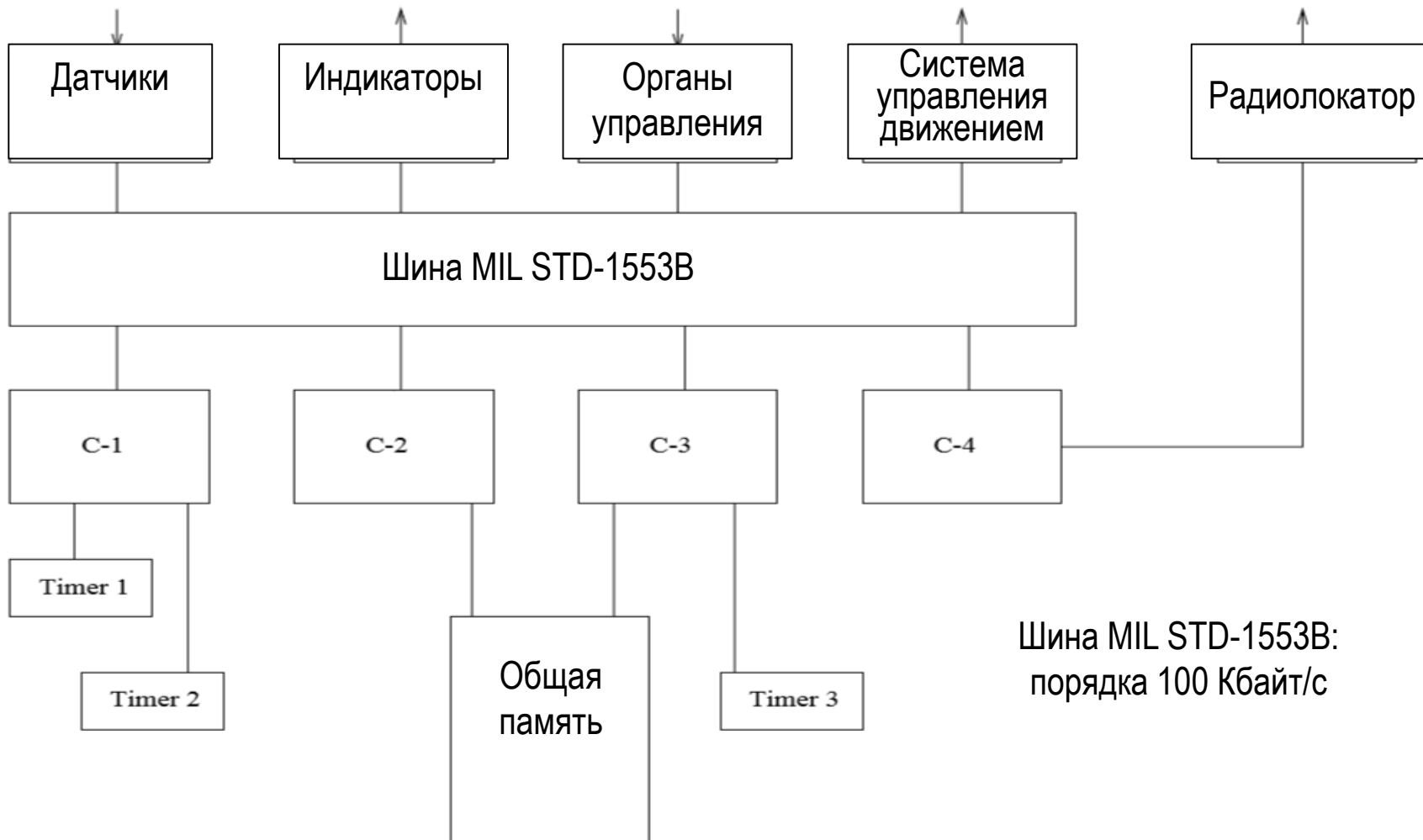
- Deep Impact (полёт к комете)
- Mars Reconnaissance Orbiter (спутник Марса)
- Lunar Reconnaissance Orbiter (спутник Луны)
- WorldView-1 (спутник оптической съёмки)
- Fermi Gamma-ray Space Telescope (орбитальный телескоп)
- Kepler space telescope (орбитальный телескоп)
- Wide-field Infrared Survey Explorer (орбитальный телескоп)
- Mars Scientific Laboratory (марсоход)

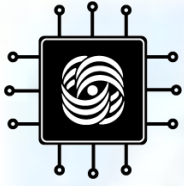




Слабая интеграция: однопроцессорные блоки на медленной шине

Environment (pilot, plane mechanics, plane environment, landscape profile, other flying objects)





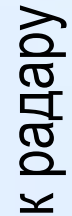
Назначение блоков

- C-1:
 - контроль состояния бортовых систем
 - выбор режима работы ИУС РВ
 - управление обменом по шине (контроллер канала)
- C-2:
 - вычисление управляющих параметров полёта для передачи в систему управления движением
 - подготовка данных для индикаторов
- C-3:
 - вычисление параметров движения самолёта на основе показаний датчиков
 - обеспечение движения самолёта по маршруту
 - управление датчиками
- C-4:
 - управление полётом на малой высоте по показаниям радара

Общая память

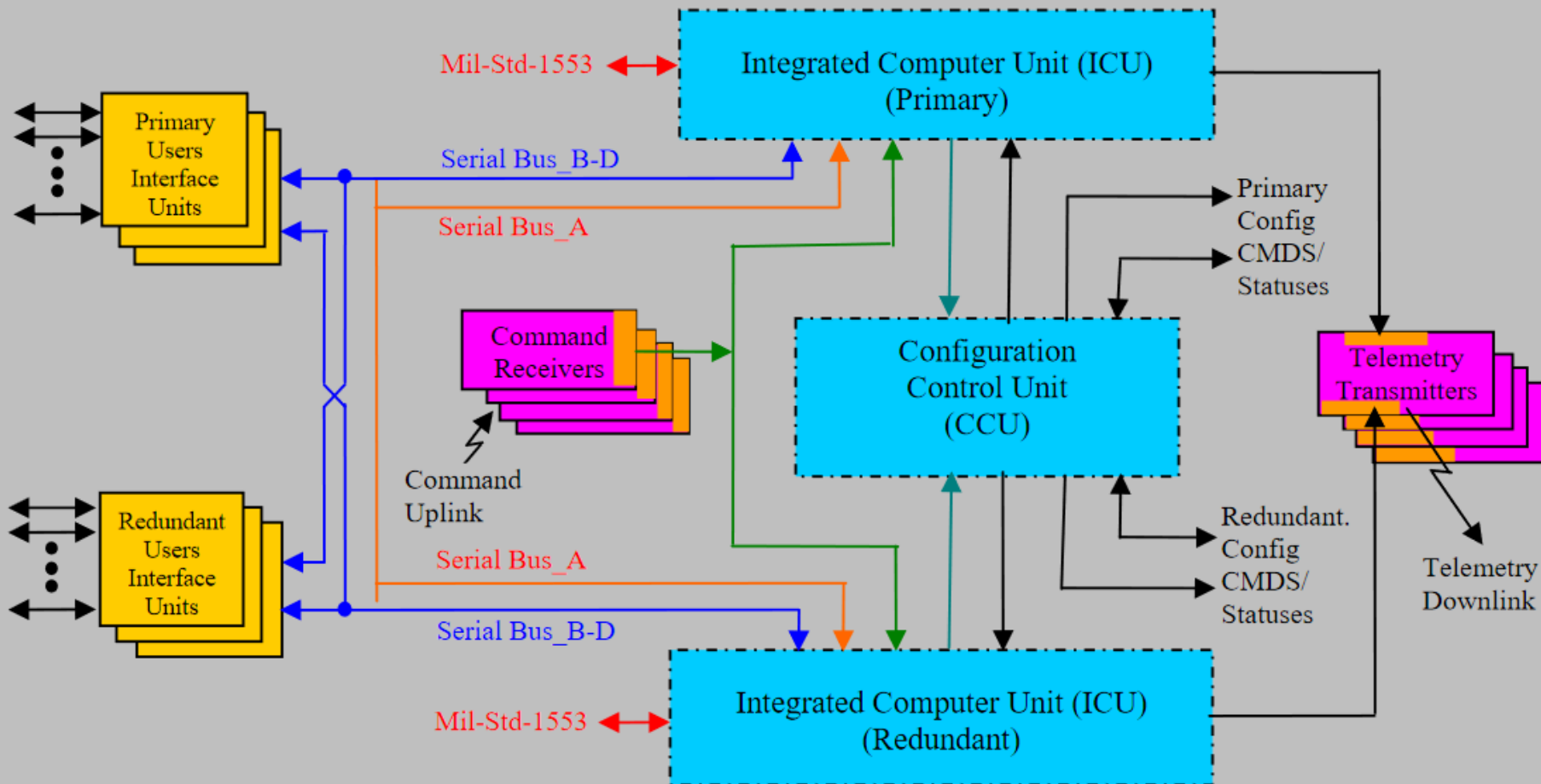


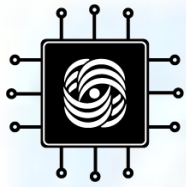
Прямой канал
к радару





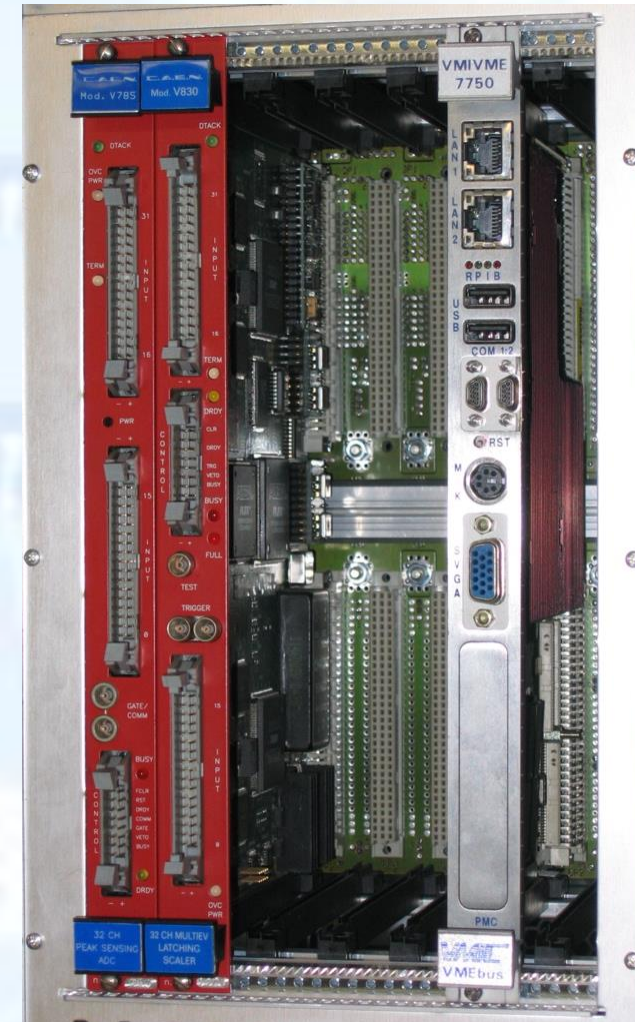
Бортовая ВС на основе RAD750

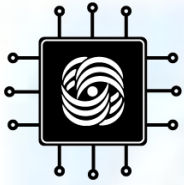




Тесная интеграция: шина VME

- Параллельная шина с арбитражем
- Реализует прямой доступ к памяти модулей
- Объединяет модули в блок (крейт)
- Разрядность шины данных: 32 или 64 бита
- Пропускная способность:
 - 40 Мбайт/с (VME32)
 - 80 Мбайт/с (VME64)
 - до 320 Мбайт/с (VME64 в блочном режиме, на одну передачу адреса – несколько передач данных)



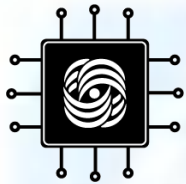


Структура шины VME

- Адресная шина
- Шина данных
- Шина арбитража (для управления доступом)
- Шина прерываний

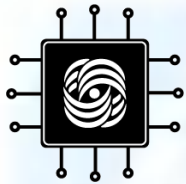
**Это похоже на
процессорную шину!**

**Это она и есть
(процессор Motorola
68000)**



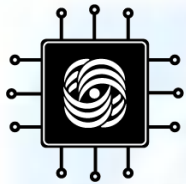
Роли модулей на шине VME

- Ведущий (Master)
 - Может инициировать передачу данных
- Подчинённый (Slave)
 - Отвечает на запросы от ведущего
- Источник прерывания (Interrupter)
 - Модуль, способный формировать прерывание (обычно – подчинённый)
- Обработчик прерывания (Interrupt handler)
 - Модуль, способный обрабатывать прерывания (как правило, одноплатный компьютер)
- Арбитр (Arbiter)
 - Модуль, управляющий доступом к шине и осуществляющий мониторинг обмена по шине. Устанавливается в слот №1



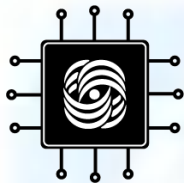
Процедура передачи данных

1. Ведущий устанавливает запрос на передачу данных на шине арбитража
 - при этом ведущий устанавливает на Ш.А. «свою» линию запроса в активное состояние (логический 0)
2. Шина освобождается от текущей передачи данных =>
 - арбитр определяет, какие линии запроса активны на Ш.А.
 - арбитр выбирает ведущего, которому отдать шину, и устанавливает в активное состояние линию Ш.А. «доступ дан» для этого ведущего



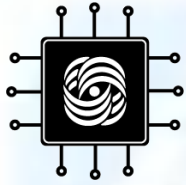
Процедура передачи данных

3. Получив доступ к шине, ведущий устанавливает:
 - на шине данных: значения передаваемых данных (в случае отправки); разрядность данных – не больше разрядности шины данных
 - на шине адреса:
 - номер подчинённого устройства
 - адрес в памяти подчинённого устройства
 - разрядность передаваемых данных (8, 16, 32 бита; также 64 бита для VME64)
 - признак «чтение» или «запись»
4. Подчинённое устройство:
 - на Ш.А. признак «чтение» => устанавливает на шине данных значения данных заданной разрядности с заданного адреса своей памяти
 - на Ш.А. признак «запись» => записывает по заданному адресу своей памяти данные заданной разрядности с шины данных



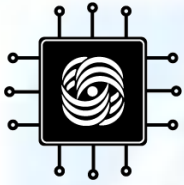
Прерывания

- Прерывание – способ для подчинённого устройства оповестить какое-либо из ведущих устройств о необходимости обмена данными
- Запрос прерывания выставляется на одной из 7 линий шины прерывания
- Ведущие устройства сами разбираются, кому адресован запрос



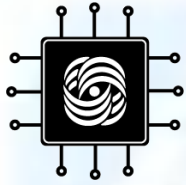
Блочная передача данных

- Поддерживается в VME64
- В начале обмена задаётся адрес и число передаваемых блоков данных
- Выполняется передача заданного числа блоков данных (каждый блок – не шире шины данных)
- => значительная экономия времени на задании адреса



Недостатки VME

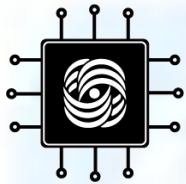
- Медленная шина (по современным меркам)
- Параллельная шина (много линий на материнской плате, сложность повышения частоты работы)
- Невозможно одновременное выполнение нескольких обменов данными



Борьба с недостатками VME: VPX

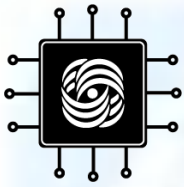
- Программа «VME Renaissance»: дать VME будущее в мире скоростных процессоров
- Обратная совместимость с VME: возможность установки в VPX-систему существующих VME-модулей
 - механическая совместимость
 - поддержка протокола и «идеологии» VME
- Уход от общей шины с арбитражем: поддержка коммутируемых сетей
 - Gigabit Ethernet, 10-Gigabit Ethernet
 - PCI Express
 - InfiniBand (высокоскоростной прямой доступ в память)

Высокоскоростные каналы из мира x86



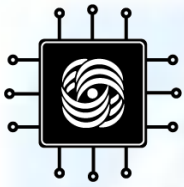
VPX: плавный уход от VME

- Современная VPX-система:
 - нет VME (т.к. нет унаследованных модулей)
 - x86 процессор
 - технологии из настольных систем (PCI Express, Gigabit Ethernet, USB, HDMI/DisplayPort)
 - межмодульное взаимодействие – по каналам Ethernet (дорожки на материнской плате крейта)
- Фактически – вычислительный кластер на технологиях «мира x86»
 - для создания системы нужно меньше экзотических знаний
- Модули в закрытых кожухах – можно вставлять и вынимать из работающей «в поле» системы



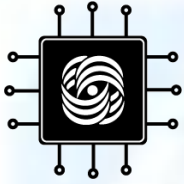
Интегрированная модульная авионика

- Недостаток традиционных многомодульных блоков: чрезмерная внутренняя интеграция
- VME: шина ограничена пределами блока
 - Единственный арбитр
 - Параллельная шина (сложно провести между блоками, в т.ч. защитить от помех)
 - Выход арбитра из строя – фатален (слот №1 – единственный)
 - Идеология прямого доступа к памяти: у модуля «слишком много» знания о внутреннем устройстве других модулей того же блока
- В итоге:
 - система неоднородна (блоки сильно различаются)
 - модули одного блока тесно интегрированы друг с другом
 - модули разных блоков слишком изолированы
 - низкая отказоустойчивость и реконфигурируемость (блок выходит из строя целиком)

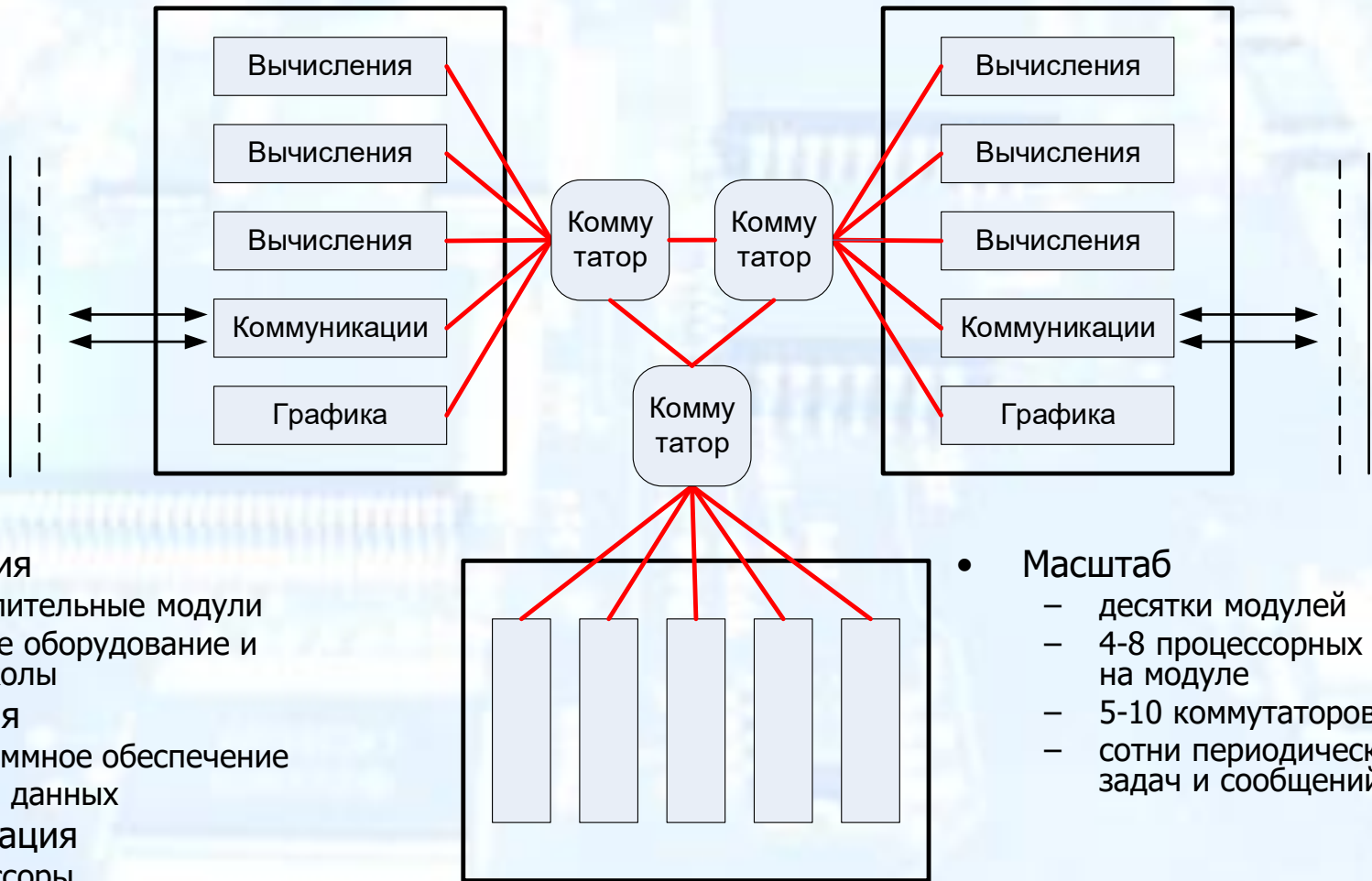


Интегрированная модульная авионика

- Среда обмена данными на основе коммутатора
 - использование виртуальных каналов для разделения пропускной способности
 - ограниченные задержки при передаче сообщений
- Модули всех блоков равноправно подключены к среде обмена данными
=> система – «облако» модулей
- Сервисная шина – последовательная, относительно медленная (помехоустойчивость), может объединять все модули системы ИМА
 - CAN bus
- Трафик по сервисной шине минимален (низкоуровневые данные о состоянии, простейшие команды вроде вкл/выкл модуля)
- Высокая отказоустойчивость и реконфигурируемость
 - модуль вышел из строя => заменить его может модуль из другого блока
 - поддержка виртуальных каналов => возможность миграции вычислительных задач

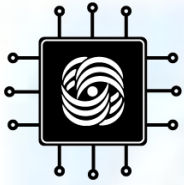


Интегрированная модульная авионика (5 поколение)



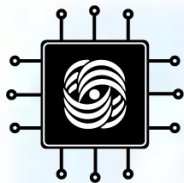
- Унификация
 - вычислительные модули
 - сетевое оборудование и протоколы
- Интеграция
 - программное обеспечение
 - потоки данных
- Виртуализация
 - процессоры
 - память
 - сеть

- Масштаб
 - десятки модулей
 - 4-8 процессорных ядер на модуле
 - 5-10 коммутаторов
 - сотни периодических задач и сообщений

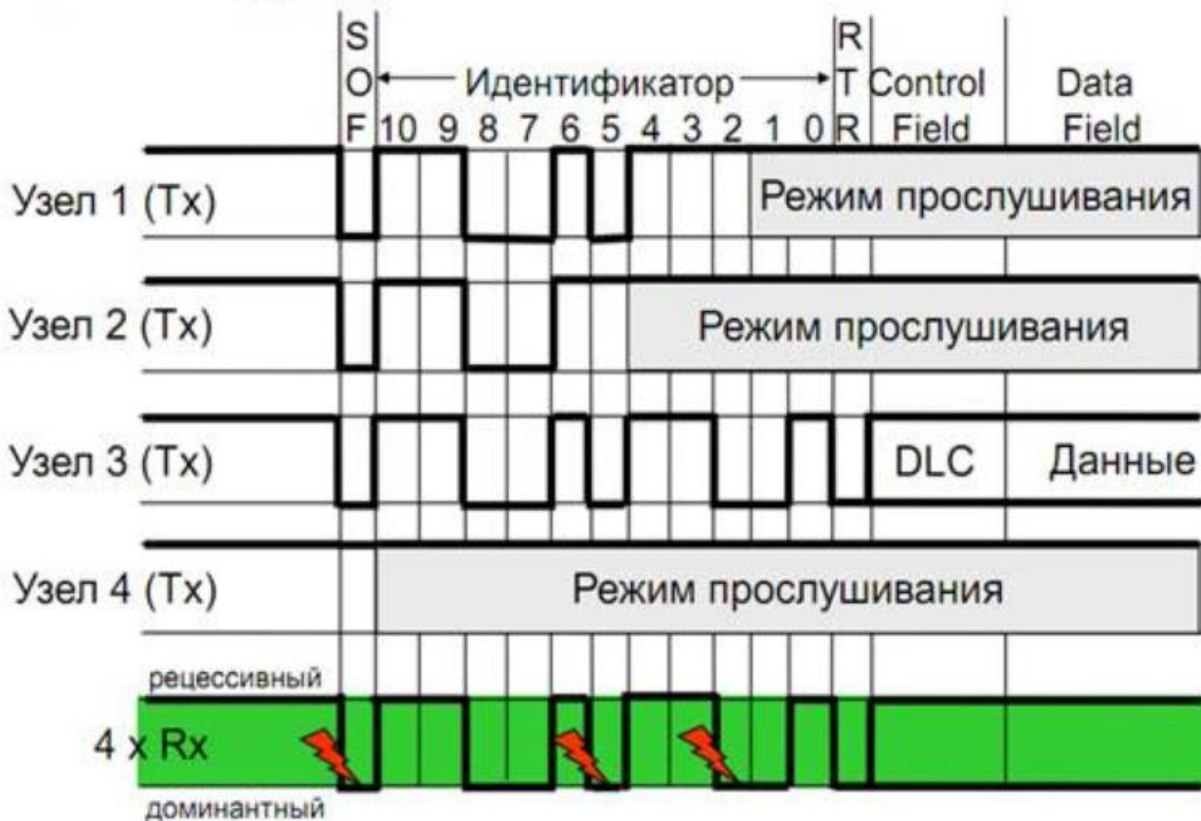


Сервисная шина CAN

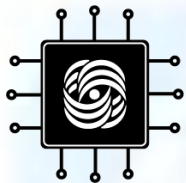
- Абонент CAN на модуле ИМА – отдельная подсистема
 - включается до активизации основной логики модуля
 - продолжает функционировать при сбое основной логики модуля
- Короткие сообщения (до 8 байт данных)
 - периодическая выдача модулями статусных сообщений
 - запрос статуса модуля + ответ на запрос
 - команды вкл/выкл основной логики модуля



CAN: арбитраж



- Арбитраж
 - каждый абонент «слышит» передачу данных по каналу
 - нет передачи данных => можно начинать отправку своих данных; иначе ждать освобождения канала
 - при одновременном начале выдачи:
 - доминантные и рецессивные биты
 - сообщение начинается с адреса абонента-отправителя
 - абонент с «меньшим» адресом слышит в сети не то, что выдал, и прекращает выдачу
- Как ограничить задержку доставки данных?
 - ИМА: низкая загрузка канала, нет проблемы
 - в следующей лекции: CAN с централизованным управлением



Примеры модулей ИМА

Модуль процессора данных

Функциональный модуль общего назначения

Задачи:

- обработка данных,
- выполнение вычислительных задач,
- принятие управленческих решений.

Модуль ввода-вывода

Функциональный модуль специального назначения

Задачи:

- прием/выдача сигналов по «унаследованным» бортовым интерфейсам,
- преобразование унаследованных форматов сообщений в стандартный формат ARINC 653.

Модуль графического контроллера

Функциональный модуль специального назначения

Задачи:

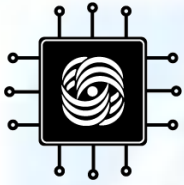
- построение изображений на основе данных, полученных от вычислительных задач,
- обработка входных видеоизображений,
- прием/выдача изображений по оптическим видеоканалам.

Модуль коммутатора FC

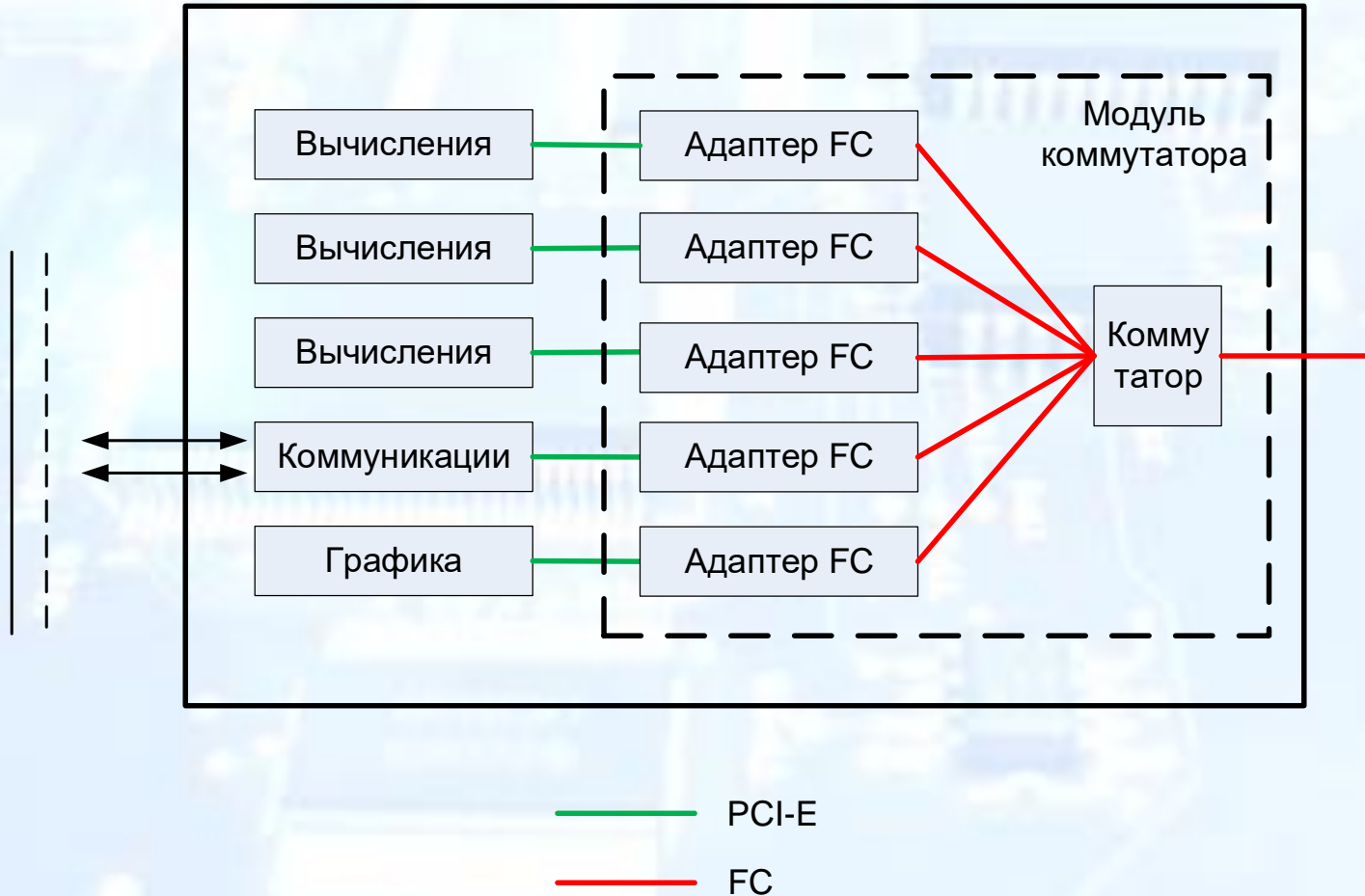
Предназначен для обеспечения взаимодействия в сети Fibre Channel

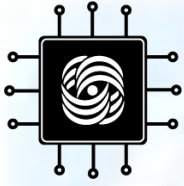
Модуль источника питания

Вспомогательный модуль, обеспечивающий вторичное питание модулей с требуемыми характеристиками



Пример применения шины PCI Express





Спасибо за внимание