

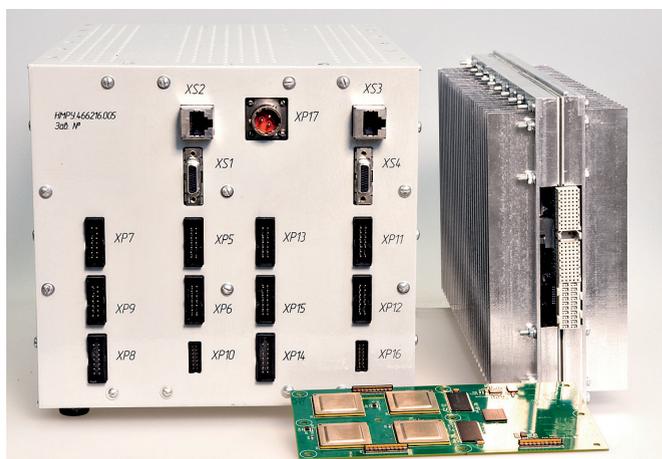
# ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МНОГОКЛАСТЕРНЫЙ ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В.Любицин [rea@milandr.ru](mailto:rea@milandr.ru)

Сегодня трудно найти сферу деятельности, будь то производство, наука, образование, управление, экономика, медицина и т.д., в которой не использовались бы информационные технологии. От доступности вычислительных сетей и сервисов в любое время суток зависит множество долгосрочных проектов и наукоемких процессов, один компьютер уже не в состоянии обеспечить требуемые вычислительные мощности и высокую надежность. Для решения все более сложных задач в Центре проектирования радиоэлектронной аппаратуры компании АО "ПКК Миландр" был реализован высокоскоростной многокластерный интегрированный модуль обработки данных. В этой перспективной современной системе воплощены технологии, обеспечивающие высокий уровень отказоустойчивости при оптимальной стоимости решения.

**К**ластерная архитектура представляет собой модульную многопроцессорную систему, созданную на базе высокопроизводительных вычислительных узлов, соединенных высокоскоростными коммуникационными каналами. Сфера применения кластерных систем в настоящее время очень широка. Например, компьютерная обработка геофизических данных позволяет создавать детализированные модели нефтяных и газовых месторождений, что повышает эффективность, безопасность разработки скважин и снижает трудозатраты.

Один из примеров кластерных систем – высокоскоростной многокластерный интегрированный модуль обработки данных (рис.1), разработанный Центром проектирования РЭА (ЦП РЭА) АО "ПКК Миландр" совместно с университетами МФТИ, НГТУ на основе высокопроизводительных процессоров обработки сигналов (ВПЦОС) собственной разработки. Данные модули, оснащенные современным программным обеспечением, предназначены для параллельной обработки цифровых сигналов, поступающих от внешних устройств (радиолокационных систем, систем радиосвязи с интеллектуальными



**Рис.1.** Высокоскоростной многокластерный интегрированный модуль обработки данных

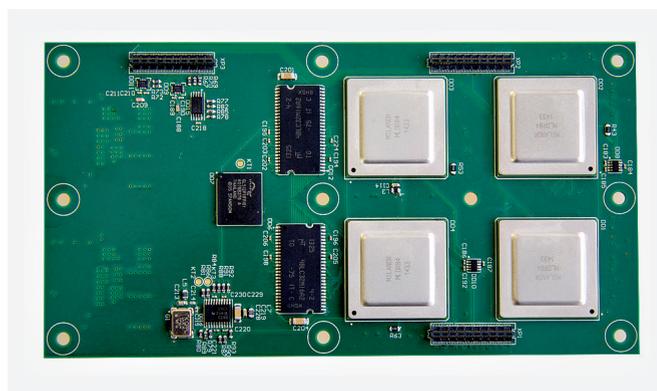
антеннами, систем радиоизмерений и т.д.), могут применяться в системах управления транспортными, авиационно-космическими и энергетическими комплексами. Высокоскоростной многокластерный интегрированный модуль обработки данных состоит из базовой платы (с возможностью установки на нее до пяти submodule) и представляет собой моноблок с пассивным воздушным охлаждением, предназначенный для применения в целевом устройстве (ЦУ) – аппаратном комплексе, в составе которого будет эксплуатироваться.

Основные технические характеристики высокоскоростного интегрированного модуля:

- количество кластеров: до 5 шт.;
- количество ВПЦОС в кластере: 4 шт.;
- скорость обмена между ВПЦОС в кластере:
  - по системной шине: не менее 450 Мбайт/с,
  - по Link-порту: не менее 200 Мбайт/с;
- потребляемая мощность: не более 86 Вт;
- температурный диапазон: от  $-40$  до  $60^{\circ}\text{C}$ ;
- внешние интерфейсы: PCI-Express, Ethernet 10/100 Мбит/с;
- диапазон рабочего питания: 22–30 В;
- поддерживаемые операционные системы: ОС Linux, ОС Windows.

Разработка соответствует требованиям прочности при воздействии синусоидальной вибрации в диапазоне частот 200–500 Гц с амплитудой виброускорения  $50 \text{ м/с}^2$  (5 g) и амплитудой виброперемещения 0,5 мм.

Модуль устойчив к воздействию механических ударов многократного действия с пиковым ударным ускорением  $150 \text{ м/с}^2$  (15 g) и длительностью действия ударного ускорения от 2 до 20 мс, а также к воздействию механических ударов одиночного действия



**Рис.2.** Submodule на основе ВПЦОС, разработанных компанией АО "ПКК Миландр"

с пиковым ударным ускорением  $200 \text{ м/с}^2$  (20 g) (длительность ударного ускорения 2–15 мс).

В качестве вычислительного ядра в кластере используется высокопроизводительный DSP-процессор, разработанный компанией АО "ПКК Миландр".

Такое решение позволяет:

- перевести аппаратуру на современную отечественную элементную базу;
- снизить стоимость разработки за счет унификации элементной базы;
- заменить несколько однотипных блоков на один, с модификацией ПО;
- повысить надежность и увеличить производительность;
- продлить срок эксплуатации системы в 2–3 раза.

## УСТРОЙСТВО ИНТЕГРИРОВАННОГО МОДУЛЯ

Основными функциональными узлами устройства интегрированного модуля (ИМ) являются submodule, состоящие из четырех микросхем высокопроизводительных процессоров цифровой обработки и микросхем памяти. Имеется несколько вариантов исполнения submodule, которые идентичны по аппаратному подключению, но различаются по внутренней архитектуре. Варианты исполнения ИМ различаются между собой количеством и способом изготовления установленных submodule (в зависимости от задач, выполняемых ИМ).

Для взаимодействия ИМ с персональным компьютером, работающим под управлением ОС Windows или ОС Linux, создано специализированное прикладное программное обеспечение.

Взаимодействие с программным обеспечением предоставляет возможность загрузки программных модулей с персонального компьютера на ИМ, запуска программных модулей на исполнение, мониторинга

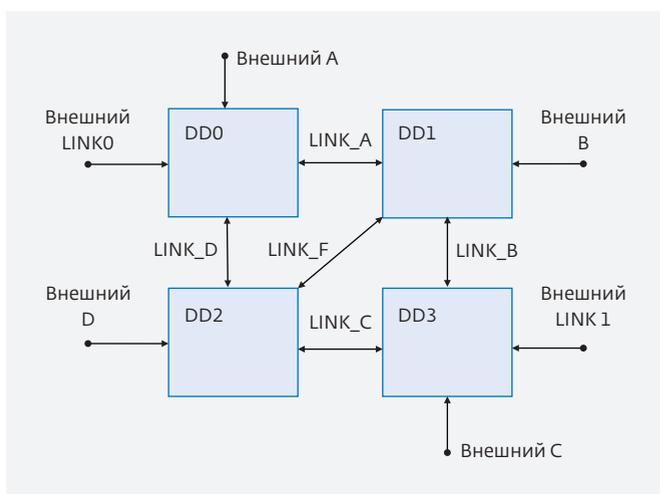


Рис.3. Схема соединения link-портов субмодуля

процесса их работы, а также обмена данными между персональным компьютером и ИМ.

С внешними устройствами ИМ сопрягается посредством разъемного соединения, содержащего выводы напряжения питания, выводы JTAG-интерфейса программирования ПЛИС, выводы JTAG-интерфейса, обеспечивающие связь процессоров ИМ через USB-порт с персональным компьютером, а также интерфейсы PCI Express и Ethernet 10/100, отвечающие за обмен данными между ИМ и ЭВМ. Тепловая мощность отводится с помощью систем теплопроводящих прокладок и рассеивается двумя ребристыми радиаторами, между которыми закреплена несущая плата.

На несущей плате ИМ размещена интерфейсная ПЛИС Spartan 6 – связующее звено между процессорными кластерами и ПЭВМ. Связь ПЛИС с процессорными кластерами осуществляется по link-каналам. Интерфейс link-канала включает дифференциальную шину данных (с разрядностью 1 или 4), дифференциальный тактовый сигнал и два сигнала управления.

Схема соединения link-портов субмодуля приведена на рис.3. Взаимодействие процессоров возможно через link-порты LNK\_A, LNK\_B, LNK\_C, LNK\_D и LNK\_F, а также через общую системную шину. Внешние порты LNK0 и LNK1 предназначены для взаимодействия с ПЛИС Spartan 6 на базовой плате. С помощью внешних link-портов (A, B, C, D) субмодуль может взаимодействовать с другими субмодулями, а также с интегрированными модулями.

Для расширения возможностей синхронизации процессоров при выполнении программ на каждом субмодуле реализована схема связей между портами ввода-вывода процессоров и линиями запросов прерывания.

Вычислительная система, в состав которой входит ИМ, представляет собой управляющую машину с присоединенными к ней одним или несколькими интегрированными модулями. Соединение может использовать интерфейс Ethernet и (или) PCI-Express. Конструкция управляющей машины, источника питания и интерфейсных соединительных кабелей может различаться для разных целевых устройств. В качестве управляющей машины (хоста) выступает персональный компьютер под управлением ОС Linux или ОС Windows. Интегрированные модули соединяются с хостом по каналам Ethernet и (или) PCI-Express.

## ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТЧИКА

Интегрированная среда разработчика (ИСР) включает в себя компилятор C/C++ и графическую среду проектирования. Компилятор преобразует исходный код (файлов \*.c, \*.cpp) в исполняемый двоичный код.

В состав графической среды проектирования входят редактор исходных текстов, подсистемы структурного анализа исходного текста, сборки проекта, отладки и тестирования ПО интегрированного модуля. Редактор исходных текстов дает возможность пользователю создавать и модифицировать контент текстовых файлов, как входящих в проект, так и загружаемых отдельно.

Подсистема структурного анализа исходного текста отвечает за составление и поддержку в актуальном состоянии списка всех объявленных в проекте идентификаторов. Подсистема сборки проекта управляет процедурой сборки цели проекта (исполняемого образа или библиотеки объектных модулей), а подсистема отладки и тестирования программного обеспечения ИМ обеспечивает загрузку, запуск на исполнение и отладку исполняемого кода на целевой архитектуре ВПЦОС. Графическая среда проектирования строится на базе свободно распространяемой интегрированной среды разработки модульных кроссплатформенных приложений Eclipse CDT.

Основные аспекты применения ИСР:

- управление проектами и конфигурациями разрабатываемого ПО;
- синтаксически ориентированное редактирование исходных текстов на языках C++, C и ассемблер для ВПЦОС;
- автоматическая проверка синтаксической корректности исходных текстов в процессе редактирования;
- поддержка процесса сборки проекта с использованием утилит командной строки (компилятор C++, ассемблер, линкер и др.);
- обеспечение процесса интерактивной (высокоуровневой и низкоуровневой) отладки ПО;

- поддержка режимов программной симуляции и отладки с использованием аппаратного отладчика;
- отображение и редактирование данных, содержащихся в памяти и регистрах общего и специального назначения ВПЦОС;
- отображение состояния конвейера ВПЦОС.

### ОПЕРАЦИОННАЯ СРЕДА "МИЛАНДР-ОС"

Операционная среда "Миландр-ОС", предназначенная для использования в кластерных многопроцессорных решениях на основе цифровых сигнальных процессоров с коммуникациями типа "точка-точка", выполняет следующие четыре задачи.

- Предоставляет прикладным программам набор сервисов для управления ресурсами ИМ, что позволяет при разработке приложений абстрагироваться от конкретной аппаратной реализации тех или иных компонентов, таких как система прерываний, коммуникационные каналы, регистры периферийных устройств и т.д. Абстрагирование, в свою очередь, предоставляет возможность разрабатывать программное обеспечение, которое одинаково выполняется на различных модификациях ИМ.
- Обеспечивает возможность исполнения многопоточных приложений на ИМ с произвольным количеством потоков.
- Обеспечивает функционал для обмена данных и синхронизации между потоками. Синхронизация между потоками осуществляется посредством стандартных примитивов: мьютексов, семафоров, событий и сообщений.
- Обеспечивает обмен данными между программой на ИМ и хост-машиной.

Разработка и производство электронных модулей на основе микросхем собственной разработки и производства – одно из перспективных направлений деятельности АО "ПКК Миландр" на базе собственного Центра проектирования РЭА. В рамках данных работ проводится комплекс импортозамещающих мероприятий по модернизации электронных блоков, а также разработке новых программно-аппаратных решений. Модули, программное обеспечение и радиоэлектронная аппаратура, разрабатываемая в ЦП РЭА, могут применяться в бортовых вычислительных комплексах (наземного и надводного размещения), системах управления, обработки видеoinформации, радиолокационных комплексах и других промышленных сегментах. ●