



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2013-13

ОЭФ

С.В. Рыжиков, В.С. Петров, П.А. Семенов, В.И. Якимчук

**Структура и программное обеспечение узла сетевой  
системы сбора данных эксперимента СПАСЧАРМ**

Направлено в *ИТЭ*

Протвино 2013

**Аннотация**

Рыжиков С.В., Петров В.С., Семенов П.А., Якимчук В.И. Структура и программное обеспечение узла сетевой системы сбора данных эксперимента СПАСЧАРМ: Препринт ИФВЭ 2013-13. – Протвино, 2013. – 8 с., 3 рис., библиогр.: 6.

Для нового эксперимента СПАСЧАРМ в ИФВЭ создается новая электроника в стандарте ЕвроМИСС, а также современная система сбора данных на основе локальной сети Ethernet. В работе представлено описание ключевого элемента этой системы — интеллектуального контроллера каркаса регистрирующей электроники.

**Abstract**

Ryzhikov S.V., Petrov V.S., Semenov P.A., Yakimchuk V.I. Structure and software of a data acquisition network node in the SPASCHARM experiment: IHEP Preprint 2013-13. – Protvino, 2013. – p. 8, figs. 3, refs.: 6.

For the new experiment SPASCHARM at IHEP a new electronics in EuroMISS standard is being designed and a modern data acquisition system based on Ethernet will be developed. This paper describes a key element of this two systems — the intelligent crate controller.

## Введение

Эксперимент СПАСЧАРМ [1] на ускорителе У-70 [2] нацелен на изучение спиновой зависимости адрон-адронных взаимодействий и спиновой структуры нуклона. Экспериментальная установка представляет собой спектрометр для регистрации летящих вперед быстрых заряженных частиц, нейтронов,  $K^0_L$ -мезонов и фотонов.

Предполагается провести прецизионное систематическое исследование односпиновых поперечных асимметрий в большом числе инклюзивных процессов на пучках поляризованных антипротонов и протонов, неполяризованных пионных и каонных пучках отрицательного заряда, а в перспективе и на пучках легких ядер (дейтоны, углерод).

Для эксперимента создается новая регистрирующая электроника в стандарте ЕвроМИСС: модули ВЦП, АЦП, регистров и счетчиков — в сумме на 12 500 каналов, а также современные системы сбора данных и медленного контроля. Ключевым элементом этих систем является интеллектуальные контроллеры каркасов ЕвроМИСС — модули EM-5, о программном обеспечении которых пойдет речь в этой статье.

Несколько экземпляров EM-5 были изготовлены и испытаны на сеансе ускорителя У-70 весной 2013 года. В ходе испытаний был проведен пробный набор данных с двух модулей, при этом скорость считывания информации составляла порядка 5 мкс на событие.

## Система сбора данных эксперимента

Для передачи потока данных из каркасов с электроникой в систему построения событий используется локальная компьютерная сеть, что соответствует современной мировой практике построения аналогичных систем. За синхронизацию, конфигурирование электронных модулей и сбор данных отвечают интеллектуальные контроллеры каркасов с электроникой, выступающие в роли узлов локальной компьютерной сети установки. Локальная сеть установки является многоцелевой, и служит также для передачи команд управления и данных систем мониторинга и медленного контроля.

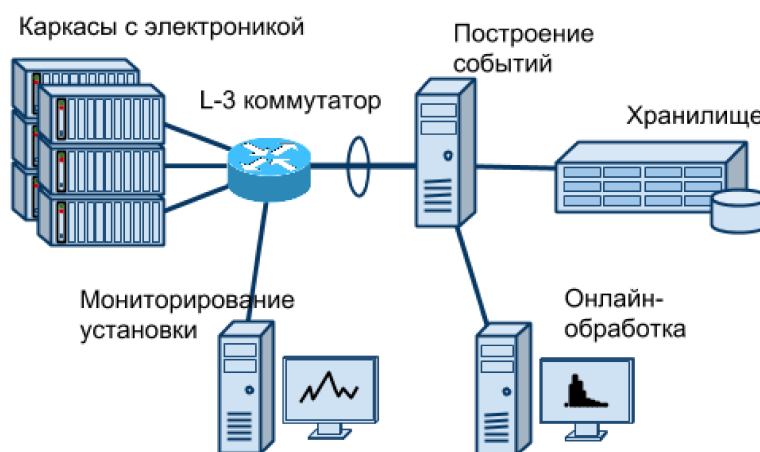


Рис. 1. Узлы локальной сети установки СПАСЧАРМ.

Цикл работы системы сбора данных состоит из двух периодов и соответствует циклу работы ускорителя У-70: до трех секунд длится сброс пучка на мишень, затем следует интервал между сбросами около семи секунд. На протяжении сброса электроника регистрирует события взаимодействия частиц пучка с мишенью, что в итоге сводится к вычитыванию по шине ЕвроМИСС данных измерений из модулей каркаса в память контроллера. В интервале между сбросами вся накопленная в контроллерах информация передается в систему построения событий.

## Электроника эксперимента

Для эксперимента СПАСЧАРМ создается новая регистрирующая электроника в стандарте ЕвроМИСС — модернизированном стандарте МИСС [3], который был разра-

ботан в ИФВЭ в середине 80-х годов. В отличие от МИСС, новая электроника выполнена современной элементной базой и в конструктиве Евромеханика. ЕвроМИСС имеет несколько режимов работы: чтение и запись по адресу модуля (АП), последовательное чтение номеров модулей (ПЧН) и последовательное чтение информации (ПЧИ).

Режим АП асинхронный, используется для конфигурирования и диагностики электроники. В этом режиме на шину каркаса выставляется адрес модуля и подадрес, сопровождаемые строб-импульсом команды. После выполнения команды адресуемый модуль отвечает отрицательным строб-импульсом.

Синхронный режим ПЧИ служит для быстрой передачи значащей информации из модулей, и позволяет вычитывать данные со скоростью до 40 МБ/с, что укладывается в требования эксперимента. Вспомогательный режим ПЧН используется для получения адресов модулей, установленных в каркасе: каждый модуль справа от контроллера, начиная с ближайшего, выдает на адресную шину свой номер (адрес).

## **Интеллектуальный контроллер ЕМ-5**

Контроллер представляет собой модуль в стандарте ЕвроМИСС (Рис. 2), устанавливаемый в каркас с электроникой. Он является связующим звеном между регистрирующей электроникой и системой сбора данных, и подключается к локальной сети через порт RJ-45 на передней панели.

Интеллектуальной частью контроллера является встраиваемый компьютер<sup>1</sup> на базе процессора семейства ARM с тактовой частотой 312 МГц. Компьютер выполнен в виде модуля SODIMM и вставляется в многоконтактный разъем на плате контроллера. Несмотря на малый размер он снабжен до 256 МБ оперативной памяти типа SDRAM и 64 МБ энергонезависимой памяти, а также контроллером Fast Ethernet.

Компьютер работает под управлением ОС Linux, которая на сегодняшний день является стандартом де-факто для разработки подобных систем. Использование современной операционной системы с разделением времени позволяет контроллеру решать множество задач одновременно: поддерживать протокол взаимодействия с системой сбора данных, исполнять команды управления и синхронизации, собирать данные системы медленного контроля, конфигурировать электронные модули, выполнять задачи самотестирования и т.д.

---

<sup>1</sup> Сторонняя разработка фирмы Voipac.

Основные функциональные узлы контроллера реализованы на двух ПЛИС. Первая отвечает за взаимодействие с шиной каркаса и реализацию протокола МИСС, вторая — за сопряжение первой с компьютером, обработку сигналов, вычитывание данных в режиме ПЧИ и формирование заголовков событий.

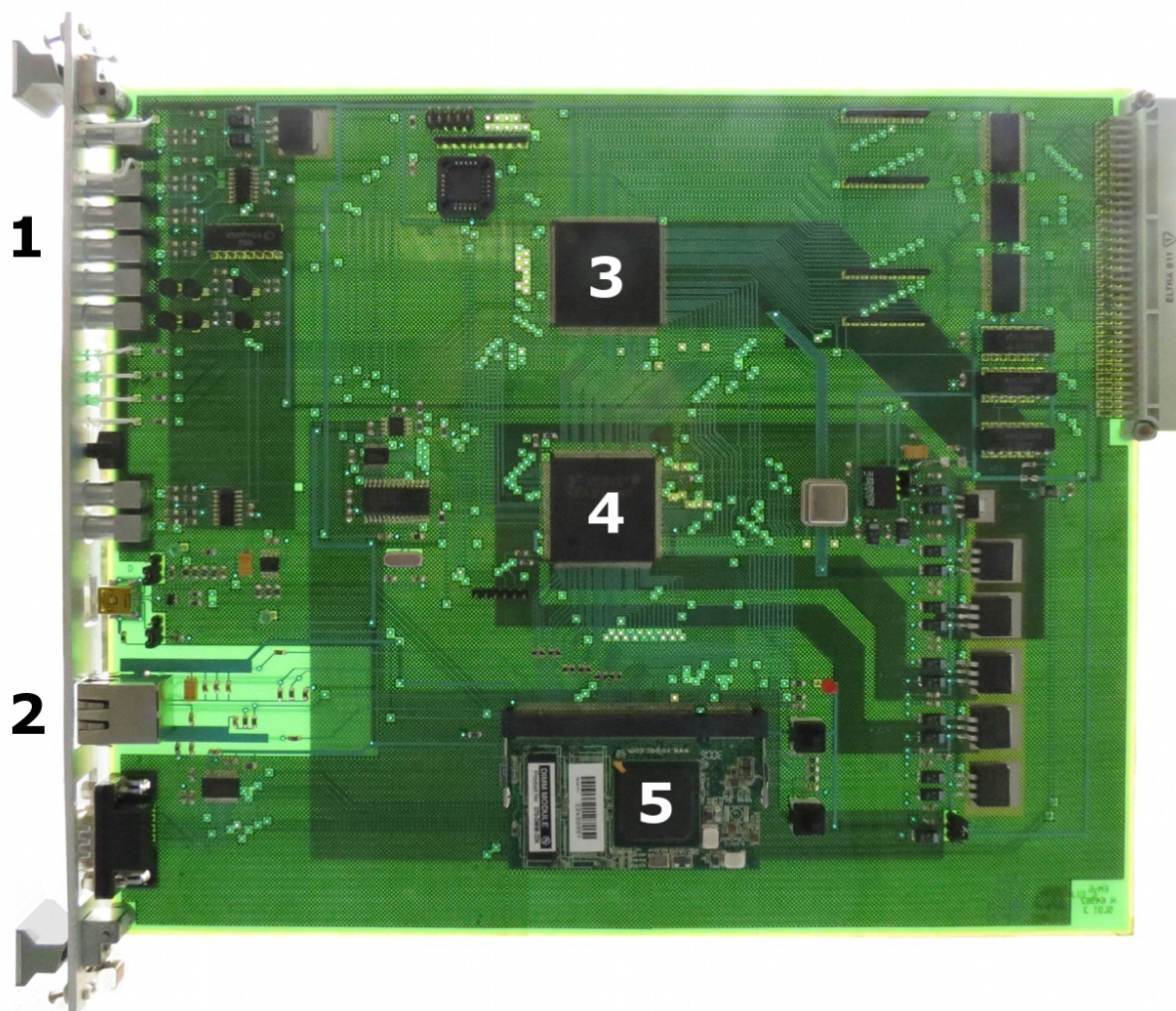


Рис. 2. Фотография контроллера EM-5.

Цифрами обозначены: 1—входы сигналов синхронизации; 2—разъем RJ-45 (Fast Ethernet); 3—ПЛИС1; 4—ПЛИС2; 5—одноплатный компьютер.

### Цикл работы контроллера

В момент начала сброса пучка на мишень контроллеру приходит сигнал BS (Begin Spill), который переводит его в режим ожидания триггера. При поступлении сигнала

триггера (Trig), обозначающего появление интересующего события (взаимодействия), контроллер выставляет сигнал блокировки новых триггеров (Busy) и запускает режим последовательного чтения. Когда данные всех каркасов вычитаны, а сигналы Busy сняты, электроника установки вновь готова к приему сигнала триггера.

После завершения сброса пучка на мишень контроллер переводится в режим передачи в систему сбора данных. Накопленная за сброс информация пересылается через локальную компьютерную сеть установки. Передача начинается одновременно со всех контроллеров, а все возможные проблемы передачи разрешаются путем использования протокола транспортного уровня, обеспечивающего управление потоком, избежание сетевых заторов и гарантированную доставку данных.

Логика обработки сигналов и данных из шины ЕвроМИСС реализованы аппаратно в интерфейсной ПЛИС2. Данные попадают в двухпортовую очередь FIFO на 1024 слова, откуда вычитываются компьютером контроллера. Каждое вычитываемое четырехбайтное слово содержит два байта данных, 13 бит адреса и 3 бита вспомогательной информации. Если очередь близка к переполнению, ПЛИС2 приостановит режим чтения.

Для каждого триггера ПЛИС2 формирует заголовок и завершающую последовательность, содержащие отметку времени по внутренним часам, “уплывание” которых может привести к рассинхронизации данных событий. Для компенсации этого на все контроллеры с определенной периодичностью поступает сигнал синхронизации (Sync) от специального контроллера. По приходу такого сигнала ПЛИС2 вставляет в поток данных специальное событие с отметкой времени по внутренним часам. Впоследствии программа построения событий по этим отметкам, используя интерполяцию, корректирует временные отметки событий триггера.

Поток данных, поступающих из одного каркаса после окончания сброса, представляют собой следующую последовательность событий:

<BS><E-1 E-2... E-k><S><E-m... E-n><S>... <ES>

<BS> — начало сброса.

<E-n> — данные и отметка времени n-го события.

<S> — отметка времени прихода сигнала синхронизации.

<ES> — окончание и общая длительность сброса.

Если по какой-то причине контроллер не успел передать данные одного сброса в систему сбора данных, передача обрывается, а внутренний буфер контроллера очищается, что приводит к потере непереданной информации. Такая схема работы в штатном режиме не вызывает проблем, а при переполнении памяти контроллера вследствие возникновения неисправности позволяет избежать полной блокировки поступления новых данных в систему построения событий.

### Программное обеспечение контроллера

Критически важно обеспечить непрерывность вычитывания данных во время сброса пучка: задержка, возникшая в любом из модулей с электроникой, увеличит мертвое время всей системы. Для увеличения быстродействия и повышения надежности вычитывание данных из FIFO ПЛИС2 в оперативную память (RAM) производится контроллером прямого доступа к памяти (DMA) компьютера без участия процессора (Рис. 3) .

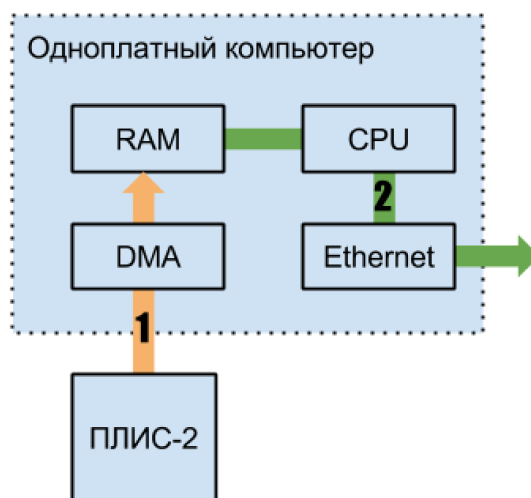


Рис. 3. Элементы контроллера EM-5, задействованные при передаче данных.

Потоки данных: 1—в режиме ожидания триггера, 2—в режиме передачи информации.

В операционной системе Linux пользовательские процессы не могут напрямую управлять работой DMA-контроллера, поэтому было разработано специальное системное программное обеспечение—модуль ядра Linux. Этот модуль загружается при запуске системы и резервирует заранее определенный объем оперативной памяти для



хранения данных событий. Затем модуль резервирует канал DMA-контроллера, переключает его в режим запуска по сигналу чипа-компаньона (Companion Chip) и задает цепочку дескрипторов, описывающих весь зарезервированный объем памяти.

Когда поступает сигнал “начало сброса”, драйвер записывает начальный адрес цепочки дескрипторов в регистр зарезервированного канала DMA-контроллера и запускает его, после чего всё вычитывание данных в оперативную память инициируется ПЛИС2 и не занимает ресурсы процессора. По приходу сигнала об окончании сброса драйвер останавливает канал DMA-контроллера, а затем дочитывает оставшиеся в FIFO данные.

Программа, принимающая команды управления и передающая информацию в систему сбора данных, организована в виде многопоточного пользовательского процесса. Передача данных осуществляется по протоколу TCP, который гарантирует доставку и реализует алгоритм избежания сетевых заторов. Поскольку в Linux пользовательские процессы не могут непосредственно обращаться к памяти ядра системы, была реализована схема, позволяющая передавать данные из пространства ядра в пространство пользователя без копирования. Для этого в драйвер была добавлена операция отображения участка памяти ядра в виртуальное адресное пространство процесса (mmap).

## **Средства разработки ПО**

Сборка ядра операционной системы, средств кросс-компиляции и всего программного обеспечения встраиваемого компьютера проводилась в среде Buildroot [4], что существенно упростило процесс разработки. В качестве программного окружения Linux использован BusyBox [5]—набор стандартных утилит UNIX, собранных в один исполняемый файл. Всё использованное при разработке программное обеспечение имеет открытый исходный код и распространяется свободно. Исходные коды программного обеспечения контроллера, конфигурационные файлы и документация для разработчиков опубликованы в интернете по адресу <https://github.com/IHEP-Protvino/em5-dev>.

Программная среда разработки и тестирования контроллера была развернута на виртуальной машине. Если спустя много лет возникнет необходимость внести какие-то изменения, то чтобы получить готовую среду разработки, не имея проблем с версиями

средств кросс-компиляции и библиотек, достаточно будет просто запустить эту виртуальную машину на любом подходящем компьютере. В качестве средства виртуализации использовалась система VirtualBox [6].

### **Заключение**

Для нового эксперимента СПАСЧАРМ в ИФВЭ создается модульная электроника в новом стандарте ЕвроМИСС. Приведено краткое описание основных особенностей программного обеспечения интеллектуального контроллера каркаса EM-5, который служит связующим звеном между новой электроникой и современной системой сбора данных на основе локальной сети Ethernet.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 12-02-00737.

### **Список литературы**

- [1] Abramov, V.V. et al Preparation of new polarization experiment SPASCHARM at IHEP. Journal of Physics Conference Series 05/2011; 295(1):012018. DOI:10.1088/1742-6596/295/1/012018
- [2] S.Ivanov. Accelerator complex U70 of IHEP: Present status and recent upgrades, ICFA Beam Dyn. Newslett. (2010) 51.
- [3] Бушнин Ю.Б. и др. Быстродействующая система регистрирующей и триггерной электроники для экспериментальных исследований в ИФВЭ. – Препринт ИФВЭ 88-47. Серпухов, 1988.
- [4] <http://buildroot.uclibc.org/>
- [5] <http://www.busybox.net/>
- [6] <https://www.virtualbox.org/>

*Рукопись поступила 25 сентября 2013 г.*

С.В. Рыжиков, В.С. Петров, П.А. Семенов, В.И. Якимчук

Структура и программное обеспечение узла сетевой системы сбора данных эксперимента СПАСЧАРМ.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

---

Подписано к печати 08.10.2013.	Формат 60 × 84/16.	Цифровая печать.		
Печ.л. 0,75.	Уч.– изд.л. 0,96.	Тираж 80.	Заказ 38.	Индекс 3649.

---

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ

142281, Протвино Московской обл.

