

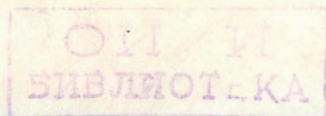


СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P10-94-8

В.Е.Новожилов, А.И.Островной,  
В.Е.Резаев, А.П.Сиротин

ОРГАНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ  
В СТАНДАРТЕ VME  
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
НА РЕАКТОРЕ ИБР-2



1994

Новожилов В.Е. и др.

Организация распределенной системы в стандарте VME  
для автоматизации экспериментов на реакторе ИБР-2

Разработаны принципы организации аппаратуры и программного обеспечения распределенной системы автоматизации на реакторе ИБР-2, построенной на базе аппаратуры в стандарте VME. Предложенная организация обеспечивает максимальную пропускную способность системы накопления спектрометрической информации, позволяет реализовать достаточно сложную методику проведения эксперимента, связанную с необходимостью одновременного управления и наблюдения различных параметров и устройств установки, обеспечивает возможность удаленного управления системой через сеть ETHERNET. В работе кратко представлены реализованные компоненты системы.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Перевод авторов

Novozhilov V.E. et al.

P10-94-8

Organization of the Distributed System in the VME Standard  
for Experiments Automation at the IBR-2 Reactor

The main principles for hardware and software organization of the distributed experiment automation system at the IBR-2 reactor are worked out. The system is built on the basis of the electronics in the VME standard. This organization gives us the maximum of throughput of spectrometrical data acquisition system, allows us to implement the complicated method of experiment performance, which needs the simultaneous control of different devices and viewing parameters of the instrument, allows user to remote control of the experiment via ETHERNET network. A brief presentation of the components for this system is done.

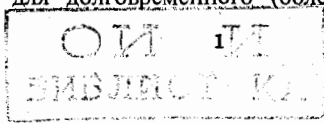
The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

В Лаборатории нейтронной физики имени И.М.Франка Объединенного института ядерных исследований проводятся исследования в области физики твердого тела. В экспериментах такого рода обычно используются точечные детекторы и системы из точечных детекторов, а также одно- и двухкоординатные позиционно-чувствительные детекторы (ПЧД). Детекторы регистрируют рассеянные на образце нейтроны. Каждое событие (регистрация нейтрона детектором) характеризуется следующими параметрами: временем пролета, кодом номера детектора или координат на ПЧД. Интенсивность входного потока информации составляет около  $2 \cdot 10^6$  соб./с. В процессе измерений обычно накапливаются спектры нейтронов по времени пролета. Спектр может быть представлен в виде гистограммы, отражающей распределение нейтронов по времени пролета и номеру детектора или позиции на ПЧД. В экспериментах часто используются устройства регулирования температуры на образце (в широком диапазоне), механизмы управления положением детекторов и пространственной ориентацией образца. Реже обеспечивается управление давлением, влажностью, напряженностью магнитного поля и т.п. Соответственно проводятся исследования, связанные с измерением временных спектров нейтронов при различных условиях на образце.

В настоящее время для автоматизированного управления установками и процессом проведения экспериментов используются системы, построенные на базе персональных компьютеров типа IBM PC/AT-386 и аппаратуры КАМАК. Однако развитие методики измерений, увеличение количества управляемых и контролируемых параметров, увеличение количества и усложнение используемых в эксперименте детекторов изменили требования, предъявляемые к системам автоматизации данного типа экспериментов в ЛНФ ОИЯИ. Создание систем автоматизации спектрометрических экспериментов с качественно новыми эксплуатационными характеристиками требует применения современной электронной техники. Поэтому было решено для управляющих систем использовать аппаратуру в стандарте VME, а также современные персональные компьютеры и рабочие станции, включенные в единую сеть ETHERNET.

Комплекс разрабатываемых программно-аппаратных средств включает систему накопления и управления спектрометром на базе аппаратуры в стандарте VME, а также графический интерфейс пользователя на базе современных персональных компьютеров и рабочих станций, объединенных единой вычислительной сетью ETHERNET. Для реализации системы использована электроника в стандарте VME с процессором Motorola 68020/68030 производства фирм ComControl (Нидерланды) и PEP (США), работающая под управлением мультипрограммной операционной системы реального времени OS-9.

В сеть ETHERNET включены также файл-серверы лаборатории, которые могут быть использованы при работе систем автоматизации экспериментов. Файл-серверы представляют собой две машины SPARCServer 2 с дополнительными дисковыми накопителями, стримерными лентами и перезаписываемыми лазерными дисками для долговременного (более года) хранения данных. На



некоторых рабочих станциях также устанавливаются дополнительные устройства для хранения данных, и в этом случае они играют роль специализированных серверов для какой-либо группы или спектрометра.

### Система накопления

Система накопления данных для рассматриваемого типа спектрометров предназначена для регистрации и накопления спектров (распределений) нейтронов по времени пролета с использованием позиционно-чувствительных детекторов и многодетекторных систем. В результате измерений в памяти компьютера формируется спектр распределения зарегистрированных нейтронов по времени пролета и номеру детектора или позиционным группам на ПЧД. На рис.1 показана структура накопленного в таком режиме спектра.

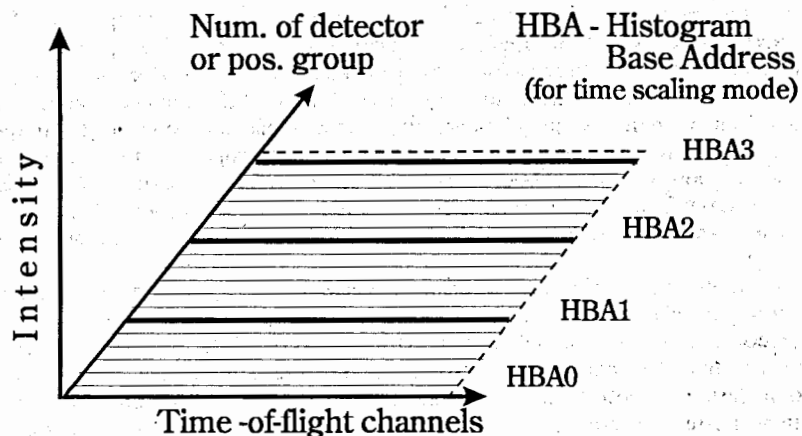


Рис. 1. Структура информации в спектре

Отметим, что в одной установке с целью повышения эффективности использования времени реактора одновременно могут (в зависимости от характера проводимых измерений) использоваться несколько различных детекторных систем. Причем система автоматизации должна обеспечить измерение временных спектров в обычном инкрементном режиме и в режиме временного сканирования, когда через заданное время накопление в инкрементном режиме переключается на следующий участок памяти.

В основу организации системы накопления положена аппаратная реализация процесса накопления спектрометрических данных в инкрементную буферную память. Функциональная схема электроники, предназначенной для кодирования и накопления данных представлена на рис.2.

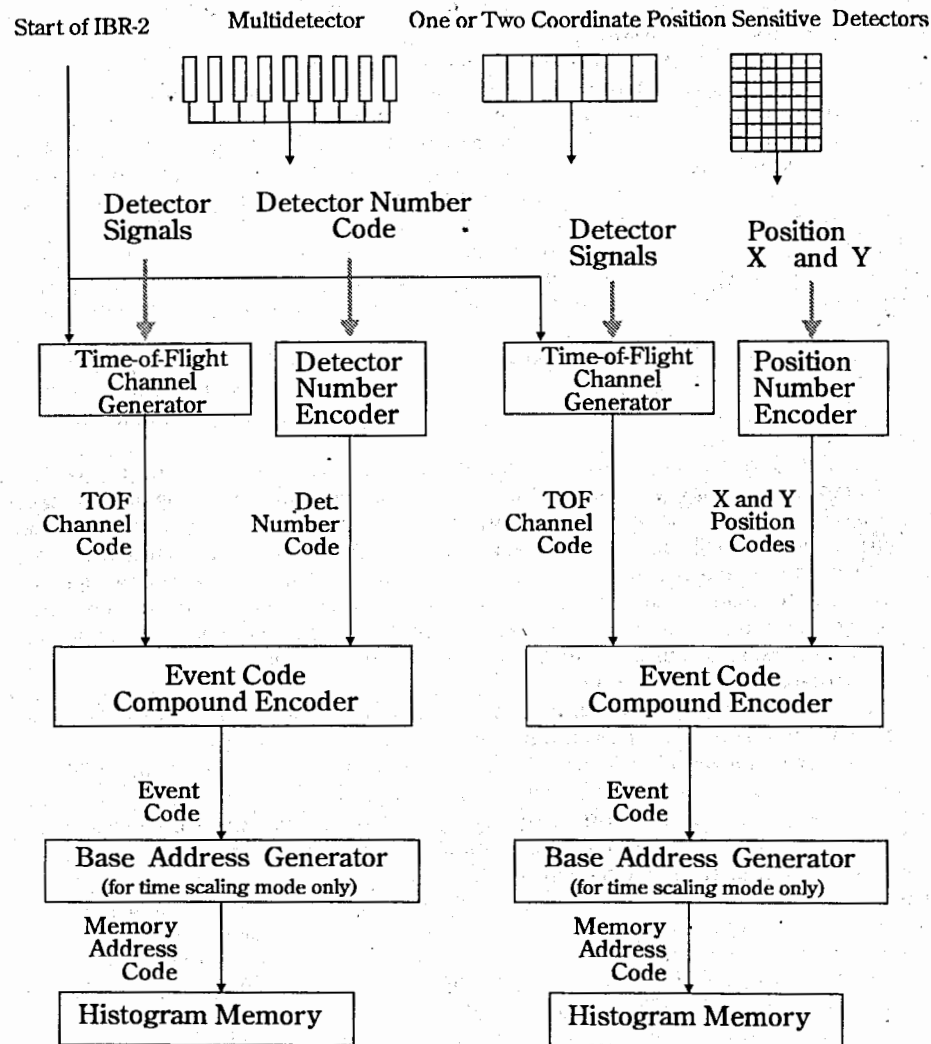


Рис. 2. Структурная схема аппаратуры накопления данных от системы точечных детекторов и ПЧД

Как видно из рисунка, кодирующая аппаратура для каждого зарегистрированного события определяет номер временного канала и номер детектора в многодетекторной системе или позиционной группы на ПЧД, которые компонуются в один код события. Код события поступает на вход инкрементной буферной памяти, которая при получении этого кода на входе интерпретирует его как код адреса и аппаратным способом увеличивает на единицу содержимое

ячейки по этому адресу (таким образом осуществляется аппаратная сортировка спектрометрических данных).

В таком режиме аппаратура накопления работает без временного сканирования. Если же система работает в режиме временного сканирования, то код, включающий номер временного канала и код номера детектора или позиции, поступает на вход блока, который вырабатывает дополнительно код базового адреса и компонует его с полученным кодом. Результирующий код интерпретируется как код адреса буферной памяти, поступает на вход инкрементной памяти и обрабатывается, как описано выше. Код базового адреса меняется на единицу по истечении заданного времени экспозиции (в начале измерений он равен нулю) и соответствует номеру кадра (временного спектра нейтронов, полученного за время экспозиции от детектора или детекторной системы).

Накопление спектрометрических данных осуществляется по каналу прямого доступа непосредственно в инкрементную буферную память без участия компьютера. Таким способом обеспечивается минимальное мертвое время регистрации данных.

Количество используемых детекторов или позиционных групп на ПЧД, количество временных каналов, ширина канала задаются пользователем при подготовке спектрометра к измерениям. Легко видеть, что от этих параметров зависит необходимый объем буферной памяти для накопления спектра. Для различных типов измерений требуемый объем буферной памяти составляет от 1Мбайт до 16Мбайт. Так как на одном спектрометре может использоваться несколько детекторов или детекторных систем, то для системы накопления требуется соответствующее количество комплектов кодирующих устройств и инкрементных буферных памяти.

В состав системы накопления входят следующие электронные устройства в стандарте VME, специально разработанные для данного класса задач:

1) программируемый генератор номера временного канала (Time-of-Flight Channel Generator) - предназначен для определения времени пролета зарегистрированного детектором нейтрона (время пролета начинает отсчитываться от сигнала "Старт" реактора). Код времени пролета и является номером временного канала. Ширина временных каналов может задаваться индивидуально. Временная шкала (ширины временных каналов для всего измеряемого временного спектра нейтронов) вычисляется и записывается в устройство программой при подготовке аппаратуры к эксперименту в зависимости от задания физика. Максимальное число временных каналов - 4096. Ширина временного канала может варьироваться от 500 нс до 32 мс;

2) кодировщик номера детектора (Detector Number Encoder) - предназначен для кодирования номера детектора в многодетекторной системе (максимальное количество "точечных" детекторов - 64, максимально допустимая загрузка по каждому детектору -  $3 \cdot 10^6$  имп./с);

3) кодировщик кода координаты X на позиционно-чувствительном детекторе (Position Number Encoder) - предназначен для определения и кодирования координаты на однокоординатном позиционно-чувствительном детекторе, где произошла регистрация нейтрона. Максимальное количество позиций равно 64;

4) кодировщик кодов координат X и Y на двухкоординатном позиционно-чувствительном детекторе (Position Number Encoder) - предназначен для

определения и кодирования позиции на двухкоординатном позиционно-чувствительном детекторе, где произошла регистрация нейтрона. Максимальное количество позиционных групп по каждой координате составляет 64;

5) устройство временного сканирования (Base Address Generator) - предназначено для формирования базового адреса участка инкрементной буферной памяти, где накапливается гистограмма (спектр распределения нейтронов по времени пролета). Базовый адрес переключается на последовательно расположенные участки всякий раз по истечении времени экспозиции (время накопления одной гистограммы). Время экспозиции может варьироваться от 1 до 65535 импульсов (сигналов "Старт"). Сейчас сигналы "Старт" следуют с частотой 5Гц. Размер гистограммы может составлять от 256 до 128К 16-разрядных слов. Максимальный объем памяти для накопления гистограм, с которой может работать это устройство, составляет 2Мбайта;

6) инкрементная буферная память (Histogram Memory) предназначена для накопления гистограмм. На вход этого устройства через внешний разъем на передней панели поступает код, который интерпретируется как адрес ячейки, содержимое которой следует увеличить на 1. Эту операцию устройство выполняет автоматически при поступлении кода на вход. Объем буферной памяти - 2 Мбайт, мертвое время - 500 нс. Со стороны шины VME инкрементная буферная память представляет собой обычное запоминающее устройство, которое в любой момент используется для операций чтения/записи/тестирования (в том числе и во время накопления гистограммы без ухудшения характеристик работы).

## Система управления оборудованием спектрометра

Система управления спектрометром обеспечивает управление механическими частями спектрометра и условиями на образце. Механическое оборудование спектрометров включает поворотные платформы, на которых установлены детекторы, гониометры, используемые для управления ориентацией образца в пространстве, кассеты с набором образцов и т.п. Управление условиями на образце в первую очередь связано с управлением и контролем температуры образца.

Управление двигателями механических частей спектрометра осуществляется через регистры ввода-вывода, реализованные в виде электронных блоков VME. Положение осей определяется с помощью датчиков положения, установленных на осях механизмов, или специальных меток - "концевиков", которые позволяют программным путем определять положение каждой из осей. Если на какой-либо оси используется датчик положения, то он постоянно "помнит" код положения оси в координатах устройства. Достаточно прочитать этот код, и программа может управлять этой осью. Если же положение оси требуется определять с помощью установленных "концевиков", то перед началом работы с заданной осью необходимо выполнить автоматическую процедуру определения положения оси либо код текущего положения оси задает пользователь. После того, как исходное положение осей определено, программа, при выполнении последующих команд, всякий раз вычисляет текущее положение осей и сохраняет эту информацию в файле состояния системы.

При необходимости, на основе знания особенностей исследуемых образцов и соответственно получаемых спектров, можно разработать автоматические процедуры поиска заданного положения кристаллографических плоскостей относительно пучка нейтронов.

Для исследований, связанных с изменением температуры используются печи различной мощности, позволяющие проводить исследования в широком диапазоне температур (от комнатной до 1000° С), а также рефрижераторы позволяющие работать в диапазоне температур от комнатной до 8 К.

Управление рефрижераторами осуществляется через посредство последовательной линии связи RS485 (или возможно использование интерфейса GPIB). Непосредственно алгоритмы работы рефрижератора в различных режимах реализуются промышленными устройствами управления. От компьютера (или от системы автоматизации эксперимента) необходимо только посылать команды управления этим устройством.

Управление печами осуществляется через входные и выходные регистры, установленные в крейте VME. В этом случае алгоритмы регулирования должна выполнять управляющая программа эксперимента в системе VME. Основные режимы управления температурой, которые требуются пользователю в процессе эксперимента, следующие:

- нагревание (или охлаждение) с максимально возможной скоростью;
- нагревание (или охлаждение) с заданной скоростью;
- стабилизация температуры на заданном уровне;
- регистрация через заданный интервал времени показаний датчиков температуры, формирование графика изменения температуры во времени и сохранение его на диске.

Перечисленные режимы управления температурой образца по заданию пользователя могут быть использованы в сочетании между собой и одновременно с регистрацией, накоплением и сохранением на диске спектрометрической информации. Во время измерений не только регистрируется и сохраняется в файле на диске график изменения температуры образца, но пользователь имеет возможность наблюдать его во время измерений или во время выхода устройства на заданный температурный режим. При необходимости пользователь в любой момент может изменить параметры, которые влияют на качество процесса регулирования, или ввести новое задание, связанное с изменением температуры образца.

Иногда основной управляющий процессор в крейте VME должен обеспечить максимально возможную пропускную способность канала накопления и сохранения зарегистрированных данных. Поэтому, чтобы не создавать помех процессу накопления основной экспериментальной информации, для операций управления условиями на образце, например, регулирования температуры или управления оборудованием установки, в крейте VME может быть установлен специально выделенный для этих целей процессор, который будет работать в подчиненном режиме. Отметим, что программное обеспечение для подчиненного процессора также как и для основного (управляющего) создается на языке высокого уровня и имеет стандартный доступ на диск системы.

## Управление экспериментом

Необходимые функции управления системой в целом определяют то, как организована работа и взаимодействие имеющейся в системе аппаратуры, что в свою очередь определяется программным обеспечением спектрометра. Поэтому прежде, чем рассматривать программное обеспечение, мы представим основные требования к управлению данным типом экспериментов и установкой в целом.

В эксперименте необходимо реализовать гибкие методы измерений, связанные с необходимостью одновременного управления, контроля и наблюдения параметров нескольких подсистем спектрометра, а также накапливаемых данных. Одновременное использование в измерениях нескольких детекторных систем, разнообразного оборудования для управления условиями на образце требует обеспечить возможность как независимого, так и синхронизированного управления подсистемами спектрометра. Управление экспериментом может выполняться автоматически по заранее заданной программе или в интерактивном режиме.

Конкретный состав аппаратуры системы управления и, как следствие, набор параметров, определяющих режим ее работы, зависят от проводимых исследований и определяются пользователем при подготовке установки к эксперименту путем определения рабочей конфигурации системы из предлагаемого набора оборудования.

Аппаратура управления спектрометром в стандарте VME работает под управлением мультипрограммной операционной системы реального времени OS-9, которая позволяет реализовать нужные режимы работы установки. Однако следует отметить, что операционная система OS-9, хотя и является хорошим инструментом для программиста при создании управляющего программного обеспечения систем реального времени, но недостаточно удобна для широкого круга пользователей. Она не имеет такого, как персональные компьютеры, широкого набора дружественного пользователю разнообразного по сфере применения программного обеспечения. Поэтому системы VME целесообразно использовать наряду с персональными компьютерами и рабочими станциями, а для общения пользователя с системой автоматизации эксперимента в стандарте VME необходим удобный, простой в использовании, функционально достаточный и дружественный для пользователя графический интерфейс.

В данной работе графический интерфейс пользователя на первом этапе реализуется на базе современного персонального компьютера PC/AT-386 или PC/AT-486 в среде MS WINDOWS, а на последующем этапе - на рабочих станциях. Такие персональные компьютеры, с одной стороны, позволяют реализовать необходимое программное обеспечение для интерфейса пользователя, а с другой - обеспечивают такой же стиль общения человека с вычислительной установкой, как и современные рабочие станции, которые наряду с персональными компьютерами нашли широкое применение для обработки и анализа данных в области научных исследований.

Отметим также, что в экспериментальном зале реактора, где располагаются спектрометры, недостаточно комфортные условия для работы физиков, с одной стороны, а с другой - экспериментальный зал и лабораторные помещения ЛНФ находятся на значительном расстоянии (около 500 м) друг от друга. Поэтому весьма актуально при разработке графического интерфейса пользователя решение

проблемы удаленного управления системой автоматизации. Включение компьютера, на базе которого реализуется графический интерфейс пользователя, и управляющей системы в стандарте VME в единую вычислительную сеть ETHERNET позволяет решить эту проблему стандартными средствами.

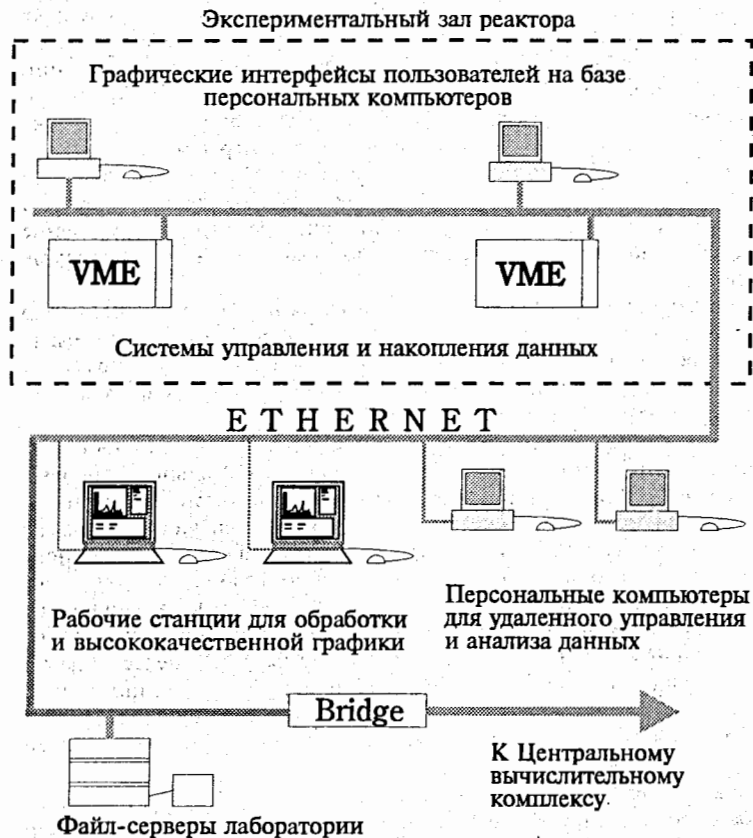


Рис. 3. Организация измерительных систем и компьютеров, используемых как графические интерфейсы пользователя, в сети ETHERNET

Одновременно с проведением эксперимента пользователь должен иметь возможность проводить анализ и обработку данных, просмотр экспериментальной информации в графическом виде. В зависимости от ситуации и задачи физик может использовать для обработки разного типа компьютеры, находящиеся в различных зданиях лаборатории. Поэтому при создании новой системы автоматизации предусмотрено, что пользователь будет записывать и хранить

данные на сетевых файл-серверах, где информация доступна для любой машины и в любое время. Единой средой для передачи данных служит сеть ETHERNET. Общая организация средств вычислительной техники, используемой для управления экспериментами, сохранения, анализа и представления накопленных данных, приведена на рис.3.

### Организация программного обеспечения системы автоматизации

Принципиальным является то, что в программном обеспечении системы организационно разделены интерфейсная часть (графический интерфейс пользователя), отвечающая за выполнение функций взаимодействия системы с пользователем, и управляющая часть, которая обеспечивает непосредственное управление аппаратурой спектрометра и процедурой проведения эксперимента. Организация программного обеспечения показана на рис.4. На рисунке приведены названия и терминология, принятые в реализуемых программах.

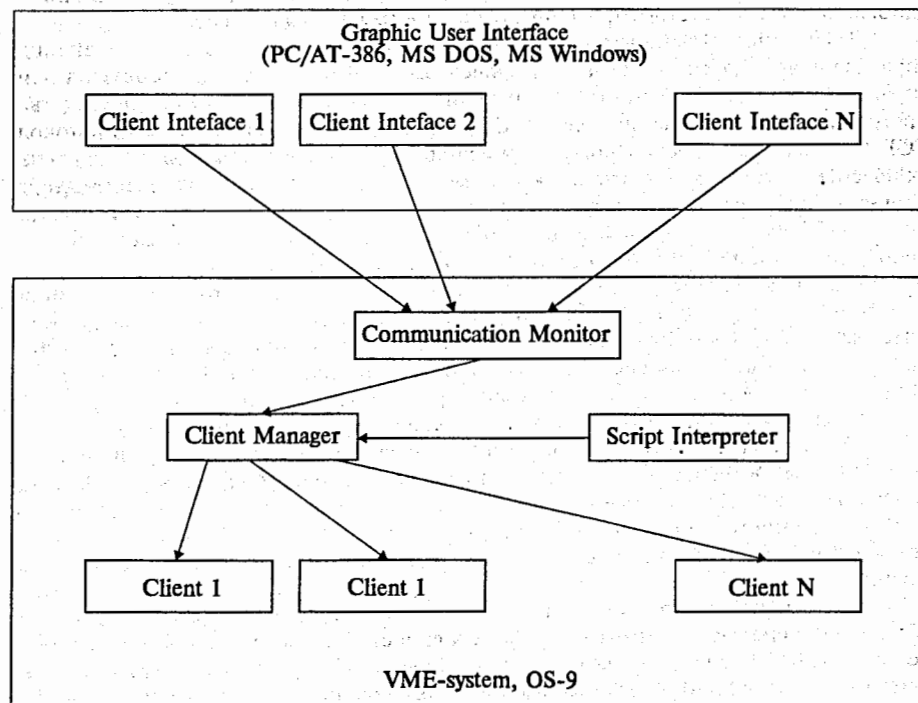


Рис. 4. Организация программного обеспечения системы управления экспериментом

Графический интерфейс пользователя (Graphic User Interface или сокращенно GUI) является удобным, дружелюбным средством общения пользователя с системой в целом и позволяет управлять физической установкой в интерактивном режиме, проводить измерения в автоматическом режиме в соответствии с заданной программой и при этом одновременно контролировать ход эксперимента. На первом этапе GUI реализуется на персональном компьютере. В дальнейшем он будет реализован на рабочей станции или в системе VME под управлением X-Windows.

Реализация графического интерфейса пользователя подразумевает создание набора прикладных программ, работающих под управлением MS Windows на PC/AT-386 или X-Windows на рабочих станциях или в системе VME, обеспечивающих представление информации о состоянии спектрометра и средства для управления установкой в удобном для пользователя виде. Отдельные прикладные программы графического интерфейса позволяют задать конфигурацию системы, обеспечивают интерактивное управление отдельными устройствами спектрометра, проверку работоспособности его подсистем, а также управление рабочими режимами измерений. Реализация интерфейса пользователя в среде Windows дает возможность представить на экране информацию одновременно и в текстовом, и в числовом, и в графическом видах.

Задаваемые пользователем команды GUI передает для исполнения управляющей части. Связь графического интерфейса пользователя и управляющего программного обеспечения осуществляется через посредство программного обеспечения сети ETHERNET, поддерживающего протокол TCP/IP. Так как персональный компьютер или рабочая станция могут быть включены в локальную сеть в любом месте, то, реализовав такой интерфейс пользователя, мы получаем возможность как удаленного управления спектрометром, так и управления с компьютера, установленного в непосредственной близости к экспериментальной установке.

Следует отметить, что интерфейсная часть программного обеспечения инициируется в момент, когда пользователю нужно выполнить какую-либо интерактивную команду, посмотреть текущее состояние системы, передать накопленные данные из системы VME в персональный компьютер или рабочую станцию для обработки. В остальное время связь между интерфейсной и управляющей частями программного обеспечения может отсутствовать.

Управляющая часть программного обеспечения полностью реализуется в системе VME и работает под управлением операционной системы OS-9. Она выполняет все необходимые в процессе проведения эксперимента функции непосредственного управления аппаратурой спектрометра, функции сбора и накопления информации, предварительной обработки данных и сохранения их в архиве.

В режиме автоматических измерений управляющее программное обеспечение системы VME может работать самостоятельно без команд со стороны пользователя. В случае возникновения ошибок в работе аппаратуры или в процедуре проведения эксперимента управляющая часть программного обеспечения должна записать необходимую информацию в таблицы и файлы состояния системы и затем автоматически привести себя в состояние максимальной работоспособности (например, отметив в таблицах состояния как неработающие, устройства, где происходили ошибки).

Поскольку операционная система OS-9 является системой реального времени и работает в мультипрограммном режиме, то все управляющее программное обеспечение спектрометра для системы VME делится на процессы или исполнительные модули (Clients), которые обеспечивают управление отдельными устройствами и подсистемами. Передача параметров этим процессам производится через области памяти, определяемые в OS-9 как модули данных, управляющее взаимодействие обеспечивается с помощью стандартных средств OS-9 (сигналов и событий). Каждый исполнительный модуль (Client) имеет отвечающий ему модуль данных, где часть параметров является одинаковой для всех таких модулей, а другая часть содержит параметры, специфичные только для данного устройства или подсистемы. Для каждого исполнительного модуля (Client) создается отвечающая ему интерфейсная часть (Client Interface), входящая в состав графического интерфейса пользователя.

Взаимодействие этих двух частей (Client Interface и Client) осуществляется через посредство служебных модулей Communication Monitor и Client Manager. Первый из них обеспечивает правильное включение пользователя в систему OS-9. Модуль выполняет проверку пароля, когда пользователь начинает сеанс работы с системой, выполняет необходимые операции для обеспечения непротиворечивого управления (в каждый момент времени спектрометром, а следовательно и системой автоматизации, может управлять только один пользователь). При попытке войти в систему сразу нескольких пользователей этот процесс в диалоге определяет, какой из пользователей должен остаться в системе.

После нормального подключения пользователя к системе модуль Communication Monitor устанавливает связь между соответствующей частью графического интерфейса пользователя (Client Interface) и служебным модулем Client Manager, который является посредником при обращении к какому-либо исполнительному модулю (Client). Модуль Client Manager контролирует состояние модулей Clients, обеспечивает синхронизацию взаимодействия с ними. Client Manager имеет таблицу, где отмечены все используемые в данный момент исполнительные модули, их состояние, допустимые режимы работы. В частности, Client Manager обеспечивает:

- захват и освобождение модуля данных, если, например, интерфейсный модуль записывает параметры для последующего задания команды;
- запуск и останов исполнительных модулей;
- сообщение исполнительному модулю сигнала об изменении параметров задания или о необходимости приведения модуля и параметров в исходное состояние.

Модули Clients выполняют все прикладные операции, которые были заданы интерфейсным модулем. Они осуществляют непосредственное управление аппаратурой спектрометра. Но помимо этого они обязаны правильно реагировать на сигналы модуля Client Manager. Набор исполнительных модулей может пополняться. Одни исполнительные модули могут использовать другие, но через посредство служебного модуля Client Manager. В числе первых создаются модули для работы с файлами на диске системы VME в режиме удаленного управления с компьютера в сети, управления температурой на образце, управления двигателями.

Специализированный модуль Script Interpreter обеспечивает выполнение интерпретируемой программы проведения эксперимента в автоматическом



режиме. Он последовательно считывает команды из файла и инициирует соответствующие модули Clients. Выполнение программы эксперимента может быть приостановлено, после чего можно продолжить или прекратить ее выполнение. Выполнение интерактивных команд возможно в любое время, но модуль Client Manager должен обеспечить непротиворечивое обращение к одному и тому же устройству, подсистеме (или, что то же самое, к модулю) пользователя или других модулей.

## Заключение

В заключение следует отметить, что данная работа находится в стадии реализации, а также перечислить основные отличия подхода, принятого в данной работе, от широко распространенных методов организации систем автоматизации спектрометрических экспериментов, построенных на базе аппаратуры в стандарте VME и рабочих станций.

Во-первых, мы в нашей системе используем аппаратный метод сортировки и накопления спектрометрической информации, что потребовало разработки специализированной инкрементной буферной памяти, но позволило сделать минимальным мертвое время аппаратуры накопления (500 нс). Такой подход к накоплению спектрометрической информации позволяет увеличить пропускную способность системы накопления в целом, так как процессор управляющей системы не занят обработкой каждого события и все время экспозиции одного спектра может заниматься обработкой данных и выводом ее в графическом виде на графические устройства для оперативного контроля, передачи данных через сеть в архив. Возможный альтернативный подход[1] позволяет использовать промышленно производимые блоки памяти в стандарте VME, но в этом случае мертвое время системы накопления несколько больше.

Во-вторых, традиционно для автоматизации спектрометрических экспериментов рабочие станции используются в качестве управляющего компьютера[2,3], а аппаратура в крейте VME работает в подчиненном режиме. Программа эксперимента выполняется на управляющем компьютере, поэтому во время проведения эксперимента рабочая станция занята выполнением программы эксперимента и управлением спектрометром. Однако возможность анализа и обработки данных на рабочих станциях остается, так как они работают в многопрограммном режиме. Реальные возможности обработки в этом случае зависят от загрузки управляющего компьютера процессом управления экспериментом и мощности самой рабочей станции. В нашем случае рабочая станция или персональный компьютер используются только как графический терминал пользователя на время диалога пользователя с системой автоматизации экспериментов, а комплект электроники и программного обеспечения системы VME реализует полностью все необходимые функции, связанные с процессом проведения эксперимента. Причины такого решения две. Первая связана с недостаточным количеством рабочих станций в лаборатории и, как следствие, с необходимостью использовать персональные компьютеры для реализации графического интерфейса пользователя, а другая - с намерением обеспечить максимальную надежность измерительных систем в наших условиях. Система в стандарте VME способна полностью выполнять все необходимые для

эксперимента функции без сети ETHERNET, без сетевых файл-серверов и без дополнительного персонального компьютера или рабочей станции. Графический интерфейс пользователя играет сервисные функции и предназначен для организации простого в освоении и современного по стилю средства общения экспериментатора и системы.

В-третьих, управление крейтом VME в составе систем автоматизации спектрометрических экспериментов зачастую осуществляется через специализированный параллельный интерфейс[4], соединяющий управляющую экспериментом рабочую станцию и крейт VME. В этом случае рабочая станция должна находиться в непосредственной близости от спектрометра. Однако существует и другая возможность - управлять аппаратурой VME-системы через посредство аппаратных и программных средств сети ETHERNET[2,3,5]. В нашем подходе предусмотрено взаимодействие интерфейсной и управляющей частей системы через сеть ETHERNET, что позволяет использовать для управления спектрометром и экспериментом любой персональный компьютер или рабочую станцию, оснащенные соответствующим программным обеспечением, независимо от места включения их в локальную вычислительную сеть.

Следует отметить также основные преимущества нового поколения систем автоматизации, создаваемых в ЛНФ ОИЯИ на основе стандарта VME, по сравнению с системами, которые созданы ранее на основе аппаратуры в стандарте КАМАК и персональных компьютеров и используются в настоящее время:

- мультипрограммная и многопользовательская операционная система OS-9, под управлением которой работает система VME, ориентирована на задачи реального времени и поэтому позволяет реализовать достаточно сложные в методическом отношении эксперименты, в частности, когда нужно одновременно контролировать и наблюдать несколько параллельно происходящих процессов;

- сетевое программное и аппаратное обеспечение системы VME позволяет создавать распределенные системы реального времени на базе аппаратуры VME, персональных компьютеров, рабочих станций и других компьютеров, включенных в сеть ETHERNET и поддерживающих сетевой протокол TCP/IP (в частности реализовать стандартными средствами функции удаленного управления экспериментальной установкой);

- аппаратура VME позволяет использовать несколько процессоров в одной системе автоматизации, что существенно повышает гибкость аппаратуры VME и расширяет сферу ее применения. В необходимых случаях для быстропротекающих процессов можно выделить отдельный процессор, что позволяет увеличить пропускную способность системы в целом до максимально возможной величины. Здесь важно отметить, что связь между процессорами осуществляется стандартными средствами, и программирование для дополнительных процессоров не приносит существенных трудностей (программное обеспечение может сначала создаваться на одном процессоре и затем часть его переноситься на другой процессор);

- аппаратное накопление данных осуществляется в буферную память, которая одновременно является обычной оперативной памятью для процессора системы VME. Как следствие, для обработки информации, передачи ее по линии связи или записи на диск - не требуется дополнительной передачи данных из буферной памяти в оперативную (как это необходимо делать при работе с аппаратурой КАМАК);

- большое (до 4Гбайт) прямо адресуемое поле оперативной памяти позволяет

эффективно работать с большими массивами данных (в персональных компьютерах IBM PC/AT прямо адресуется только 64Кбайт, а обращение к ячейкам памяти в массивах свыше 64Кбайт связано с увеличением времени выполнения операций).

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность за помощь и поддержку данной работы В.Л.Аксенову, И.Натканцу, А.М.Балагурову, В.Г.Тишину, К.Вальтеру и И.Хайницу, а также за полезные консультации и помощь Х.-И.Мюллеру из System-Control (Дрезден), В.Ваверу и П.Циму из НМИ (Берлин).

## Литература

- 1.G.Herdam, H.Klessmann, W.Wawer, J.Adebayo, G.David,F.Szatmari. Time-of-Flight Data Acquisition Unit (DAU) for Neutron Scattering Experiments Specification of the Requirements and Design Concept. HMI-B 476, Berlin, 1989.
- 2.P.Ziem. The Design of VME Based Data Aquisition Systems. Proc.of the International Symposium "Electronic Instrumentation in Physics", Dubna 14-17 May 1991. JINR, E13-91-321, Dubna, 1991.
- 3.W.C.A.Pulford. Future Strategy for Computing at ISIS. ICANS-XI International Collaboration on Advanced Neutron Sources, KEK, Tsukuba, October 22-26, 1990.
- 4.SVIC 7213. SBUS to VMV.VIC Interface. User Manual. Creative Electronic Systems S.A. Geneva, 1991.
- 5.H.Schwab. RTA, Remote Task Activation. ILL, SI Internal. Grenoble, 1991.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 января 1994 года.