



**сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна**

1608 / 2-80

74-80

P10 - 12968

Н.Н.Говорун, В.М.Головатюк, З.Гузик, З.М.Иванченко,
И.М.Иванченко, Н.Н.Карпенко, В.В.Кореньков,
Т.С.Нигманов, В.Д.Рябцов, В.Н.Садовников,
А.Е.Сеннер, Л.А.Сеннер, И.А.Тяпкин, Э.Н.Цыганов

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
УСТАНОВКИ "КРИСТАЛЛ"**

Часть II. Организация комплекса программ
реального времени

1980

Большая часть современных экспериментальных исследований в области физики высоких энергий проводится с использованием ЭВМ на линии с физическими установками.

Совершенствование и количественный рост детектирующей и регистрирующей аппаратуры, стремление рационально использовать возможности ускорителей, повышение интенсивности потока регистрируемой информации, усложнение управления физической аппаратурой и процессами сбора информации, повышение требований к обработке информации в реальном масштабе времени вызывают необходимость применения достаточно мощных вычислительных систем и соответствующего программного обеспечения для проведения экспериментов.

Отражением этой общей тенденции является внедрение в эксперименты, проводимые в Объединенном институте ядерных исследований, ЭВМ ЕС-1040^{/1,5,8/}.

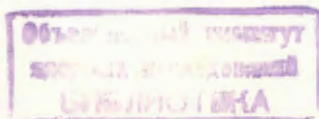
Параллельно с обновлением средств вычислительной техники осуществляются исследования и разработки программного обеспечения автоматизированных систем управления. Первые в Объединенном институте работы этого направления были связаны с экспериментами на бесфильтровом спектрометре БИС-2^{/1/}, работающем на линии с ЕС-1040, оснащенной операционной системой ДОС ЕС.

В данной работе рассмотрена структура комплекса программ реального времени. Проанализированы алгоритмы распараллеливания процессов и взаимодействия ЭВМ с внешними абонентами в электронных экспериментах, проводимых на линии с ЭВМ ЕС-1040, оснащенной операционной системой ОС ЕС^{/2,3,8/} с фиксированным числом задач (MFT), версия 4.1, редакция 3.

В качестве экспериментальной установки как объекта управления и источника данных выступает спектрометр "Кристалл". Эта установка создана для исследований возможностей управления пучками заряженных частиц с помощью монокристаллов.

На первом этапе проведения исследований в качестве детектирующих элементов установка включает дрейфовые камеры, монокристалл и набор сцинтилляционных счетчиков. Регистрирующая и передающая аппаратура выполнена в стандарте КАМАК. Аппаратное согласование крейтов регистрирующей аппаратуры с каналом ЭВМ реализовано при помощи разработанного в ОИЯИ устройства управления физической аппаратурой /УУФА-2/. УУФА-2 является модификацией УУФА-1, использующегося в экспериментальной установке БИС-2^{/1/}.

ЭВМ ЕС-1040 /~300 тыс. операций/с, 512К байтов/ оснащена набором стандартных периферийных устройств /4 НМЛ ЕС-5016, АЦПУ ЕС-7031 и ЕС-7033, 8 НМД ЕС-5052, 2 устройства ввода перфокарт ЕС-6012, пишущая машинка ЕС-7073 или дисплей



VT-340, подключаемые альтернативно/, мультиплексорным и четырьмя селекторными каналами. Кроме указанных устройств используется удаленный /-1 км/ терминал на базе печатающего устройства DZM-180 KRS.

В качестве языков программирования использовались ФОРТРАН и язык АССЕМБЛЕР. Язык АССЕМБЛЕР применяется для создания модулей, обеспечивающих организацию работы комплекса программ и реализующих функции управления аппаратурой, сбора и накопления данных, а также вывода результатов.

Для создания программного обеспечения на ЭВМ ЕС-1040 использовалось технологическое программное обеспечение ОС ЕС, состоящее из утилитов /вспомогательных программ/ и трансляторов. В качестве недостатка ОС ЕС, как и дисковой операционной системы ДОС ЕС, следует отметить относительно слабое технологическое программное обеспечение этапа, предшествующего трансляции. Это программное обеспечение не соответствует современным требованиям, предъявляемым к нему, и приводит к относительно большим непродуктивным затратам труда программиста.

При разработке комплекса программ использовалось четыре типа личных библиотек. Исходные тексты программ хранятся в библиотеках исходных модулей. После трансляции и редактирования связей модули помещаются в библиотеку загрузочных модулей. При такой организации, с одной стороны, отпадает необходимость в библиотеке объектных модулей, а с другой - уменьшается время, необходимое редактору связей для объединения модулей в единый загрузочный модуль /т.е. для сборки всей программы/. В личную библиотеку макроопределений помещены вновь созданные макроопределения. Эта библиотека при ссылке на нее связывается с системной библиотекой макроопределений. Разработанные процедуры хранятся в личной библиотеке процедур, связанной с системной библиотекой процедур.

Комплекс программ реального времени при функционировании выступает в виде проблемной задачи по отношению к операционной системе. При этом используются только стандартные средства, предоставляемые программисту операционной системой, без каких-либо модификаций последней.

При выборе языка программирования важным аргументом в пользу ФОРТРАНа явилась его мобильность - возможность использования другой ЭВМ, более приспособленной для создания и развития систем программ. В частности, для рассматриваемых работ применялись ЭВМ Центрального вычислительного комплекса ОИЯИ, оснащенные высокоэффективными системами автоматизации программирования.

РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ

Работа комплекса программ реального времени организована в мультипрограммном режиме согласно дисциплине обслуживания с абсолютными приоритетами. Это обеспечивает возможность параллельного решения в реальном масштабе времени следующих основных задач:

1. Управление аппаратурой передачи информации, прием и буферизация экспериментальных данных.
2. Паспортизация и накопление данных на магнитных лентах.
3. Обработка данных с целью определения характеристик работы аппаратуры /технический контроль/ и исследуемых физических процессов /физический контроль/.
4. Обеспечение оперативного взаимодействия экспериментатора с ЭВМ.

ОС ЕС предоставляет пользователю возможность распараллеливать выполнение процессов некоторого шага задания посредством образования, по принятой в ЕС терминологии, подзадач. Наличие в системе ОС средств параллельного выполнения и синхронизации процессов позволяет на базе операционной системы организовать мультипрограммный комплекс реального времени /рис. 1/. Предлагаемая декомпозиция процессов дает возможность эффективно использовать в рамках ОС ЕС основные ресурсы ЭВМ. Определяющими критериями для декомпозиции и выбора приоритетных уровней процессов являлись скорость набора экспериментальной информации, время реакции системы на внешние сигналы, скорость и полнота обработки данных, наглядность представления результатов. Высокие требования к оптимизации комплекса были обусловлены спецификой поискового характера исследований, которому не отвечала традиционная методика проведения измерений и последующей длительной обработки.

Следует отметить гораздо большую свободу, предоставляемую пользователю ОС ЕС по сравнению с ДОС ЕС при образовании подзадач. В ДОС ЕС подзадачи могут создаваться главной задачей. В ОС ЕС подзадача может быть создана как главной, так и любой уже существующей подзадачей. Значения диспетчерских приоритетов подзадач в ДОС ЕС строго детерминированы последовательностью создания и завершения подзадач и всегда выше значения диспетчерского приоритета главной задачи. В ОС ЕС значения диспетчерских приоритетов определяются пользователем и могут быть изменены в любой момент времени выполнения главной задачи или подзадачи. Устранение присущих ДОС ЕС ограничений дает возможность создавать в ОС ЕС логически и архитектурно более простые конструкции, упрощает отладку



Рис. 1. Принципиальная схема системы "Кристалл".

комплекса, позволяет реализовать более сложную логику взаимодействия процессов. В рамках режима подзадач удастся не только рационально использовать время центрального процессора, но и оптимизировать использование оперативной памяти. Это одно из основных преимуществ предлагаемой организации распараллеливания процессов по сравнению с альтернативным подходом - выполнением основных процессов в разных разделах памяти ЭВМ.

Вопросы эффективного использования оперативной памяти являются также весьма актуальными при решении обсуждаемых задач.

Создаваемые комплексы программ реального времени имеют, как правило, значительный объем. Например, комплексы программ для установок БИС-2 и "Кристалл" имеют без учета буферов для сбора информации объемы, равные ~350К байт каждый. Объем оперативной памяти на используемых ЭВМ, как указывалось выше, равен 512К байт, а в штатном режиме - 256К. Поэтому выделение таких значительных участков оперативной памяти для прохождения задания приводит не только к снижению эффективности

использования мощности ЭВМ, но и к резкому сужению класса задач, способных параллельно решаться на ЭВМ. Эффективным способом оптимизации использования оперативной памяти является построение комплекса программ реального времени в виде структуры с перекрытием /оверлейной структуры, рис. 2/. Существует ряд критериев, используемых при организации комплекса программ.

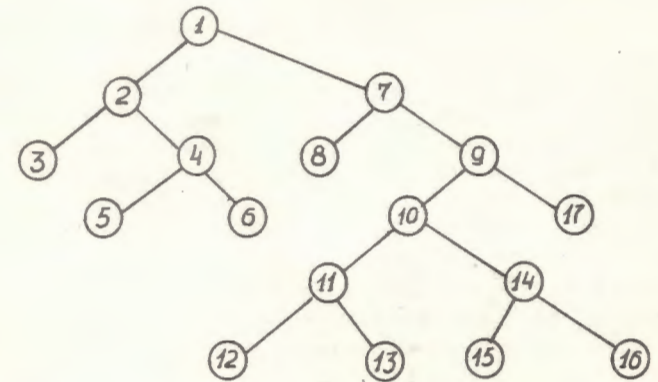


Рис. 2. Дерево структуры с перекрытием комплекса программ "Кристалл". 1 - сбор и запись на МЛ; диалог; программы, общие для сегментов инициализации, первичной обработки и печати. 2,3 - задание геометрии установки, определение переменных. 2,4,5 - заказ объектов /гистограмм, диаграмм, таблиц/. 2,4,6 - ввод и интерпретация директив. 7,8 - обработка данных. 9,10,11,12/13/ - печать одномерных гистограмм. 9,10,14,15/16/ - печать двумерных гистограмм и таблиц. 9,17 - другие печати пользователя /не НВООК /.

Один из критериев состоит в том, что оформление в виде оверлейной структуры не должно приводить к увеличению времени реакции системы на внешние сигналы. С этой целью программные модули, реализующие управление аппаратурой, взаимодействие с оператором, сбор и накопление данных, помещаются в корневой сегмент. Это, в сочетании с приоритетной дисциплиной диспетчеризации, обеспечивает высокую реактивность комплекса программ на внешние сигналы.

Основным критерием при разделении нерезидентных частей комплекса программ является требование оптимизации количества загрузок с диска перекрывающихся сегментов в период работы комплекса, что обеспечивает минимизацию непроизводительных потерь времени. Согласно этому критерию комплекс программ разделяется на три группы сегментов, имеющие определенные функциональные назначения, а именно:

- инициализация и оперативная настройка комплекса программ;
- первичная обработка данных;
- итоговая обработка данных, редактирование и представление результатов.

На стадии настройки выполняются операции, не связанные с отдельными событиями. Это, как правило, образование структур данных, присвоение начальных значений величинам /в том числе в рамках правила умолчания/, подготовка массивов, соответствующих статистическим распределениям, интерпретация директив, вывод значений базисных параметров. Программы этой группы могут быть подразделены на несколько перекрывающихся сегментов. При этом экономия памяти достигается практически без увеличения времени центрального процессора и реального времени, необходимого для выполнения задачи в целом.

Вторая стадия связана с обработкой отдельных событий. В состав этой группы входят программы, осуществляющие калибровку, распознавание и геометрическую реконструкцию событий, накопление статистических распределений различных параметров событий, удовлетворяющих определенным критериям. Эта группа программ наиболее критична к разбиению на перекрывающиеся сегменты, хотя такие программы, как представление результатов обработки отдельного события, могут быть вынесены в отдельный сегмент.

Стадия итоговой обработки включает операции над статистическими распределениями /вычисление интегральных характеристик, сглаживание, "арифметические" действия, фитирование/, подготовку результирующих файлов символьной и графической информации, представление результатов. Программы этой группы, как и настроенной, подразделяются на перекрывающиеся сегменты.

В завершение этого раздела, касающегося оптимизации использования памяти, выделяемой под программы, следует отметить, что повышение уровня автоматизации подготовки оверлейной структуры является одним из актуальных направлений развития операционных систем ЕС ЭВМ. Рациональным представляется подход, основанный на построении структуры на гло-

бальном уровне, которое осуществляется разработчиками, и автоматическом сегментировании отдельных групп, определенных на предыдущем уровне. Одним из способов уменьшения требуемого объема оперативной памяти являлось использование средств оперативного распределения памяти для размещения данных, имеющих динамическую природу. Динамическая природа совокупности элементов данных проявляется в варьировании в процессе работы количества элементов и их размеров. Данные, по типу средств оперирования с динамическими структурами, делятся на 3 класса. К одному классу относятся данные, вводимые непосредственно с установки. К другому - статистические объекты, которые обрабатываются пакетом программ HBOOK ^{7/}. Кроме статистических объектов HBOOK может оперировать динамическими элементами произвольного типа, хотя для этого более пригоден ZBOOK ^{4/} - специальный пакет для динамического распределения памяти. Оба пакета могут работать с единой динамической структурой. Таким образом достигается рациональное использование памяти с двумя типами динамических структур. В частности, исключается эффект фрагментации, возникающий при использовании программного обеспечения разных типов для обслуживания динамических структур.

За счет оверлейной структуры программ и динамического распределения памяти для рабочих массивов удается существенно снизить объем требуемой оперативной памяти.

Исследованы другие методы повышения эффективности использования запоминающих устройств. В рамках пакета HBOOK разработаны программы управления данными, основанные на принципах виртуальной памяти. На уровне проблемной программы вводится однородная виртуальная память, при этом применяется стандартный режим прямого доступа. В режиме реального времени интенсивность эксплуатации этой системы хотя и не приводит к увеличению времени центрального процессора, но ограничивается из-за увеличения общего времени обработки информации.

В особую область выделяются буфера для размещения первичной информации. Управление динамическими структурами этого типа при помощи фортраноориентированных пакетов HBOOK и ZBOOK не является оптимальным. Для этой цели разработаны специальные системноориентированные средства. Количество передаваемой в ЭВМ экспериментальной информации в течение отдельного сброса ускоренных частиц даже в рамках одного эксперимента и сеанса зависит от многих факторов и может варьироваться в широких пределах. Из-за относительно невысокой эффективной скорости обмена с внешними запоминающими

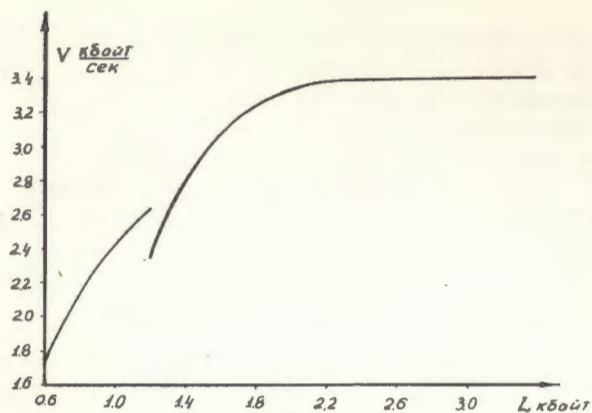


Рис. 3. Время записи с помощью бесформатного оператора WRITE на диск массива размером N байт определяется эмпирической формулой: $T = (0,4 + N/V)$ с. Зависимость эффективной скорости записи (V) от длины элементарной записи (L) приведена на графике.

устройствами /рис. 3/ буфер приема в оперативной памяти должен вмещать все данные, соответствующие одному сбросу.

В рамках рассматриваемого варианта ОС задание пользователя выполняется в некотором разделе оперативной памяти, имеющем определенный размер, задаваемый при генерации системы или оперативно на языке директив. Выполнение отдельного шага задания обычно не требует всего объема памяти раздела, и ее остаток может по запросам динамически выделяться выполняющейся программе.

В составе ОС имеются средства /макрокоманда GETMAIN/, обеспечивающие доступ к указанному участку памяти. При этом величина буфера, запрашиваемая проблемной программой, пропорциональна объему свободного участка памяти в разделе. Такая организация позволяет на уровне директив оператора варьировать размер буфера приема. Подзадача первичной обработки данных также требует отдельного буфера в оперативной памяти из-за асинхронности процессов сбора и обработки. Поскольку, как правило, информация, соответствующая одному сбросу, подразделяется на самостоятельные фрагменты - события, являющиеся элементарными логическими единицами для программы обработки, в оперативной памяти можно иметь относительно небольшой буфер, вмещающий только часть событий. Массив данных, относящийся к одному циклу уско-

рителя, записывается на диск, а в процессе обработки по запросам программы считывается в оперативную память в режиме последовательного доступа.

Вывод результатов работы программы осуществляется с помощью программы прямого системного вывода /режим DSO / или при помощи разработанных специальных драйверов на уровне отдельной подзадачи. Таким образом достигается распараллеливание процесса обработки и вывод результатов в реальном масштабе времени. При этом не требуется наличия в оперативной памяти больших буферов для вывода результатов.

Для ввода заданий при работе ЭВМ на линии с экспериментальной установкой используется транзитная программа системного ввода. Это также позволяет более эффективно использовать оперативную память /экономится ~50К байт/, не вызывая существенного снижения загрузки центрального процессора.

СБОР И НАКОПЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Программы сбора и накопления данных обеспечивают управление аппаратурой передачи информации, выполненной в стандарте КАМАК, прием данных с требуемых источников информации, оформление данных в виде динамических структур, паспортизацию логических единиц информации и запись данных на магнитную ленту.

Высокая частота появления регистрируемых событий и адекватные характеристики детектирующей и регистрирующей аппаратуры обуславливают высокую интенсивность потока информации. Это предъявляет жесткие требования к параметрам системы, реализующей сбор информации.

В результате анализа работы системы управления /1/ были найдены пути эффективного и универсального решения на ЕС-1040 задачи сбора информации. Максимальная скорость приема информации достигается при реализации полной схемы сбора в рамках работы канальной программы. Этот подход определил функции программ обмена и устройства управления физической аппаратурой УУФА-2.

Обмен информацией между ЭВМ ЕС-1040 и установкой осуществляется через УУФА-2, которое монополюбно подключено к первому селекторному каналу ЭВМ. Программируемое устройство УУФА-2 имеет широкий набор команд и микрокоманд, которые обеспечивают:

- обмен информацией между оперативной памятью ЭВМ и внутренними регистрами устройства управления;

- анализ содержимого этих регистров;
- условный переход в программе канала.

Синхронизация работы установки с комплексом программ осуществляется за счет внешних сигналов, которые поступают в регистры УУФА-2. Набор базисных внешних сигналов включает "Начало сброса", "Событие", "Конец сброса", "Запрос". Программа канала, анализируя содержимое регистров, осуществляет определенные действия, зависящие от семантики данного внешнего сигнала. Использование перечисленных средств обеспечивает высокую реакцию системы на внешние сигналы.

Разрешение на передачу события и адрес группы модулей КАМАК выдаются программой канала. Передача элементарного массива данных, информации об отдельном событии, осуществляется в групповом режиме /режим автосканирования КАМАК/. Элементарный массив имеет фиксированную длину ~240 байтов и передается за ~800 мкс. Вспомогательные операции, выполняемые программой канала, требуют 60-80 мкс. Эта величина, вклад ЭВМ в мертвое время системы, рационально согласуется с общим временем передачи информации о событии. При переходе к приему очередного события, после выдачи управляющей информации на внешний объект, необходимо модифицировать адрес в буфере приема. Традиционный метод организации ввода составного массива данных с завершением программы канала и последующим ее инициированием приводит к резкому возрастанию времени на вспомогательные операции /миллисекундный диапазон/. Это происходит из-за подключения к работе соответствующих компонентов ОС ЕС.

Можно указать ряд методов решения указанной проблемы при различной степени детерминированности входных потоков. Рассмотрим некоторые из них в предположении фиксированной длины события. Время поступления и количество событий могут иметь вероятностную природу.

Сущность первого метода состоит в том, что заранее программными средствами генерируется полная программа канала для сбора экспериментальной информации, относящейся к отдельному циклу ускорителя. Тело этой программы формируется в виде набора элементарных программ сбора. При поступлении внешнего сигнала "Начало сброса" запускается сгенерированная программа, и затем выполняется та ее часть, которая необходима для сбора информации о происшедших событиях. Количество реально принятых событий вычисляется на основании анализа информации, поставляемой средствами ОС ЕС - модулями управления вводом/выводом. Недостаток такой методики заключается в том, что длина резидентной программы сбора информации увеличивается с увеличением количества собы-

тий. Преимуществом этого метода является то, что для сбора информации практически не привлекается ресурс центрального процессора, который в это время используется для решения других задач, например для обработки экспериментальной информации в реальном масштабе времени. Этот метод целесообразно использовать, когда объем полной программы канала относительно невелик. Этот объем определяется произведением длины элементарной программы канала /программы приема отдельного события/ и максимального количества событий в сбросе. Для установки "Кристалл" значение первой величины составляет ~100 байтов.

Другой метод заключается в организации циклического выполнения элементарной программы сбора данных. При этом использование режима прерывания для оперативной модификации программы канала должно быть исключено ввиду значительного времени обработки прерываний. Необходимую динамическую настройку программы сбора удастся осуществить за счет использования средств УУФА-2 и монопольного захвата ресурса центрального процессора /ЦП/ на период регистрации данных /сброса пучка/. Захват ЦП обеспечивается высшим приоритетом подзадачи сбора информации. Синхронизация параллельной работы программы канала и ЦП осуществляется с помощью набора флагов. При поступлении сигнала "Начало сброса" программа ЦП иницирует программу канала и осуществляет сканирование флагов "Конец сброса" и "Конец события". Программа канала в это время выполняет операции, связанные с приемом события. По завершении чтения выставляется флаг "Конец события". Обнаружив это, программа ЦП контролирует степень заполнения буфера, формирует заголовок события и настраивает программу канала на прием следующего события. При получении внешнего сигнала "Конец сброса" или по истечении заданного интервала времени программа канала выставляет соответствующий флаг и оканчивает работу.

Положительной стороной этого метода, обеспечивающего высокую скорость сбора данных, является рациональное использование оперативной памяти. Отрицательная сторона заключается в монопольном захвате ресурса центрального процессора на период сброса пучка. Дальнейшее развитие этого метода, предполагающее расширение возможностей УУФА, связано с передачей программе канала функций самонастройки и контроля заполнения приемного буфера. Такая модификация средств обмена обеспечит высокую скорость процессов сбора экспериментальных данных, а также эффективное использование оперативной памяти и центрального процессора.

Принятые в оперативную память события оформляются в виде списочной структуры, что упрощает дальнейшие операции с ними.

Для долговременного хранения экспериментальной информации служит магнитная лента, на которую кроме экспериментальных данных записывается также служебная информация, содержащая некоторое описание условий эксперимента. Физическая запись состоит из паспорта стандартной формы и информационной части. Длина физической записи выбирается исходя из условий рационального использования ресурсов ЕС-1040 и возможности работы с лентой на ЭВМ центрального вычислительного комплекса ОИЯИ. Следует отметить, что форматы записей на магнитную ленту и на диск для программ обработки выбраны идентичными. Это дает возможность использовать унифицированные модули подготовки данных как в режиме связи с установкой, так и в режиме последующей обработки накопленной информации. Рабочие варианты программ накопления данных написаны на языке АССЕМБЛЕР, хотя на начальной стадии комплексной наладки системы эти программы были подготовлены на ФОРТРАНе. Очевидные преимущества языка высокого уровня для создания подсистемы накопления не могут компенсировать возникающие при этом трудности. Из-за нереентерабельности модулей, связанных с фортранскими операторами обмена, возникает проблема программных ресурсов, общих для различных процессов. С учетом этого обстоятельства программы накопления написаны на языке АССЕМБЛЕР так, что обмен с НМЛ реализован на физическом уровне. При этом достигается программная независимость процесса накопления от других процессов. Кроме этого, повышается эффективность использования оперативной памяти за счет отказа от буферов, требуемых при реализации фортранских операторов обмена.

Основное достоинство такого подхода состоит в повышении устойчивости процессов сбора и накопления информации относительно ошибок обмена за счет их специальной обработки, учитывающей особенности задачи, и устранения отрицательного влияния особых ситуаций, возникающих при прохождении других процессов.

Управление процессом накопления осуществляется директивами оператора, вводимыми с дисплея VT-340 и обеспечивающими следующие операции: инициирование или блокировку записи данных на МЛ, перемотку и разгрузку ленты, поиск ленточной марки в прямом и обратном направлениях, запись ленточной марки.

ОПЕРАТИВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРА С КОМПЛЕКСОМ ПРОГРАММ

Начальная загрузка программ осуществляется с помощью языка управления заданиями и директив ОС ЕС.

Характерной особенностью описываемого экспериментального комплекса является значительная территориальная разобщенность /~ 1 км/ детектирующей и регистрирующей аппаратуры, с одной стороны, и ЭВМ - с другой. Это обстоятельство привело к децентрализации терминальных средств управления и наложало ряд требований на комплекс программ для обеспечения возможности эффективной эксплуатации физического оборудования. В качестве технических средств управления работой комплекса используется дисплей VT-340, устройство чтения с перфокарт, функциональная клавиатура и блоки набора констант, выполненные в стандарте КАМАК. Первые два расположены в зале ЭВМ, последние - в измерительном павильоне.

Управляющие воздействия по источникам их поступления подразделяются соответственно на следующие группы: команды оператора, директивы и запросы.

Настройка и оперативное управление работой комплекса программ производится с использованием проблемно-ориентированного языка управления, в котором команды оператора и директивы состоят из ключевого слова и некоторого множества параметров /включая пустое множество/. Аппарат команд оператора выбран адекватным аппарату директив, что упростило работу с комплексом программ операторам и экспериментаторам различных специальностей и квалификации.

Ввод и анализ директив осуществляется программой FFREAD^{/9/}, а команд оператора - специально разработанными программами. Вводимые директивы и команды оператора обрабатываются процессором анализа команд, обеспечивающим их лексический, синтаксический и семантический анализ.

Лексический анализатор, сканируя терминальные символы команды управления, создает символ ключевого слова и строит соответствующее внутреннее представление числовых параметров.

Синтаксический анализатор обеспечивает контроль формального соответствия команды управления /директивы или команды оператора/ некоторой конструкции языка управления и вызывает соответствующую семантическую процедуру, реализующую частичный контроль данной конструкции с точки зрения семантики. Допустимые ключевые слова сведены в специальную таблицу. Результатом работы процессора анализа команд управления является занесение значений в соответствующие массивы и таблицы. При благоприятном результате анализа производится

интерпретация команды управления, в противном случае выводится сообщение об ошибке. Интерпретация команд реализуется специально разработанными программными средствами. На этом этапе производится окончательный семантический анализ команд управления и передача управления подпрограммам, реализующим требуемые действия.

Широкий набор директив и команд оператора^{/5/} позволяет экспериментатору возможность для описания статистических объектов, задания режимов работы и глубины обработки данных, вывода результатов эксперимента. С помощью директив и команд оператора задаются также адреса устройств для вывода диагностических сообщений и результатов обработки информации, производится управление магнитной лентой и т.д. Основная задача, реализующая ввод и обработку команд оператора, оформлена в виде отдельной подзадачи. Она начинает работу при общем иницировании комплекса программ и завершает ее только по завершении других основных задач. Таким образом, оператор имеет возможность в любой момент оказать допустимое управляющее воздействие на комплекс. Требуемая реактивность обеспечивается приоритетностью и независимостью программных ресурсов. В качестве программных средств, обеспечивающих ввод/вывод информации оператору, используются системные макроопределения WTOR и WTO. После иницирования обсуждаемая подзадача выводит на дисплей приглашение к вводу команд управления и переводится в состояние ожидания. При получении команды оператора управление передается процессору анализа команд, а по завершении его работы подзадача, выведя приглашение, вновь переводится в состояние ожидания очередной команды оператора.

Наличие удобного и гибкого аппарата непосредственного взаимодействия оператора с комплексом программ не снижает актуальности ввода параметров с перфокарт. Последние являются удобным средством при настройке параметров комплекса, частота изменений которых невелика.

Управление экспериментатора работой комплекса программ из измерительного павильона реализовано при помощи запросов. При нажатии клавиши на управляющей панели в ЭВМ поступает запрос, который идентичен по своей сути некоторому ключевому слову в команде управления, а необходимые параметры вводятся с блока набора констант. Характерной особенностью процессора анализа запросов является проведение синтаксического анализа на уровне выполнения канальной программы с использованием описанных выше средств УУФА-2. С помощью запросов осуществляется запуск/остановка экспериментальных измерений, обнуление заданных статистических распределений

и таблиц, вывод результатов программ обработки данных на удаленный терминал, расположенный в измерительном павильоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе ОС ЕС ЭВМ ЕС-1040 создан комплекс программ реального времени для бесфильмового спектрометра с дрейфовыми камерами. При разработке комплекса существенно использовался опыт, полученный при создании программ реального времени в рамках ДОС ЕС.

Созданная система программ обладает высокой реактивностью при взаимодействии с внешними абонентами /экспериментальной аппаратурой и человеком/. Подсистема сбора и накопления информации позволяет работать с информационными потоками высокой интенсивности. Широкие функциональные возможности и полнота подсистемы обработки отвечают поисковому характеру исследований. Предложенные в работе схема распараллеливания процессов и структура программ позволяют эффективно использовать основные ресурсы ЭВМ ЕС-1040 для решения задач автоматизации проведения экспериментов.

Разработанное программное обеспечение характеризуется, с одной стороны, универсальностью; сложностью решаемых задач, многофункциональностью, адаптируемостью, а с другой - простотой освоения и эксплуатации.

Рассмотренное в работе программное обеспечение позволило провести цикл исследований, в которых впервые экспериментально показано, что с помощью монокристалла можно управлять траекториями заряженных частиц^{/6/}.

Авторы выражают глубокую благодарность проф. М.Г.Мещерякову за постоянное внимание к работе.

Авторы благодарны К.А.Ларионову, Л.Д.Райкову и М.Д.Шафранову за полезные обсуждения; коллективу системных программистов, инженеров и операторов, работающих на ЭВМ ЕС-1040 Лаборатории высоких энергий, за постоянную помощь; Л.Г.Ефимову, Б.М.Старченко и Н.А.Филатовой за участие в наладке связи аппаратуры КАМАК с ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов В.К. и др. ОИЯИ, 10-11357, Дубна, 1978.
2. Лебедев В.М., Соколов А.П. Введение в систему программирования ОС ЕС. "Статистика", М., 1978.
3. Система математического обеспечения ЕС ЭВМ. Под ред. А.М.Ларионова. "Статистика", М., 1974.

4. Brun R. et al. ZBOOK Users Guide and Reference Manual. CERN, DD/78/1.
5. Дорогов В.И. и др. ОИЯИ, Б10-12698, Дубна, 1979.
6. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, Д1-12716, Дубна, 1979.
7. Brun R., Ivanchenko I., Palazzi P. HBOOK, CERN, DD/77/9.
8. Пеледов Г.В., Райков Л.Д. Введение в ОС ЕС ЭВМ. "Статистика", М., 1977.
9. Brun R. et al. FFREAD Users Guide. CERN, DD/77/11.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 ноября 1979 года.