

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P11-85-833

А.В.Алфименков, П.Е.Гизе, П.Х.Гизе

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ SONET-2

1985

1. ВВЕДЕНИЕ

В измерительно-вычислительном центре /ИВЦ/ ЛНФ в настоящее время работает более 20 малых ЭВМ серии СМ, используемых для сбора спектрометрической информации и управления экспериментами, проводящимися на реакторах ИБР-2 и ИБР-30. Архивизация и обработка полученных данных обычно производится на базовой ЭВМ ИВЦ PDP-11/70, обладающей магнитными дисками большой емкости и магнитофонами. Для обмена данными между малыми ЭВМ и базовой машиной и хранения полученной информации в ИВЦ с 1982 года эксплуатируется сеть SONET^{1,2}. Для аппаратной поддержки сети SONET используются последовательные байт-ориентированные интерфейсы типа DL-11, обеспечивающие скорость передачи данных до 9600 бод. Одна пара таких интерфейсов позволяет соединить две машины каналом типа "точка-точка". С целью увеличения эффективности работы сети и скорости передачи данных был разработан новый интеллектуальный сетевой интерфейс /СИ/ для ЭВМ с шиной UNIBUS, который позволяет объединить вычислительные машины ИВЦ в высокоскоростную локальную вычислительную сеть /ЛВС/. Все СИ объединяются между собой одним коаксиальным кабелем-моноканалом. Возможности адресации позволяют подключить к моноканалу до 255 сетевых интерфейсов.

На базе этих аппаратных средств было разработано программное обеспечение универсальной коммуникационной подсистемы.

В настоящей работе описывается программное обеспечение СИ, протоколы, драйверы СИ в операционных системах RSX-11M-PLUS, RSX-11M и RT-11. Кроме того, представляется применение этой коммуникационной подсистемы в первом варианте ЛВС SONET-2, позволяющей работать с малых ЭВМ в терминальном режиме в ОС RSX-11M-PLUS на центральной ЭВМ сети PDP-11/70 и пересылать файлы между малыми ЭВМ и PDP-11/70 в рамках системы архивизации.

2. СТРУКТУРА СЕТЕВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Сетевое программное обеспечение можно разделить на две части:

- общая коммуникационная подсистема, которая выполняет функции физического и канального уровней;
- транспортный сервис и протокол.

2.1. Коммуникационная подсистема

Основным аппаратным средством коммуникационной подсистемы служит интеллектуальный сетевой интерфейс /СИ/^{3/}, разработанный для объединения различных ЭВМ с каналом типа UNIBUS в единую сеть и построенный на основе микропроцессорного набора Z-80 фирмы ZILOG. Этот интерфейс реализует два нижних уровня семиуровневой модели архитектуры открытых систем /MAOS/, соответствующих стандартам на ЛВС IEEE LAN 802.3^{4/}. Скорость передачи задается параметрами микросхемы набора Z-80 SIO и может достигать 550 кбод.

Программное обеспечение СИ выполняет функции канального уровня, управляет доступом к физическому каналу и реализует уровень управления логическим каналом.

Уровень управления доступом к физическому каналу выполняет также функции арбитра конфликтных ситуаций при передаче, используя моноканал по методу коллективного доступа с контролем несущей и обнаружением столкновений КДКН/ОС /CSMA/CD/.

В нашей реализации все узлы, подключенные к моноканалу, имеют одинаковый приоритет. Перед началом передачи любая из станций с помощью сигнала "есть несущая" проверяет, свободен ли канал, и только в случае, если канал свободен, начинает передачу. В случае столкновения при одновременном начале передачи двумя или более станциями, все они прекращают выдачу информации в моноканал. После этого каждая из станций, участвовавших в конфликте, запускает таймер на временный интервал случайной величины. После истечения этого интервала передача кадра повторяется.

Большинство параметров, влияющих на уровень доступа к физическому каналу, заданы программно и показаны в приложении А.

Уровень управления логическим каналом реализует простой протокол передачи данных без подтверждения.

Основные функции протокола реализованы программно:

- обмен командами и статусной информацией с общей шиной ЭВМ;
- выполнение команд передачи и приема кадров между памятью ЭВМ и микросхемой SIO /для этого используется канал прямого доступа к памяти под управлением СИ/;
- упаковка передаваемых данных в кадр и распаковка кадров в процессе приема.

Некоторые функции реализованы непосредственно в микросхеме последовательного ввода-вывода SIO:

- формирование кадров;
- распознавание адресов;
- выделение кадров;
- обнаружение ошибок;
- обеспечение прозрачности.

Поскольку микросхема SIO, работающая в СИ с линией связи, рассчитана на поддержку кадров формата протокола HDLC, для коммуникационной подсети был разработан кадр следующего формата:

F	Ad	As	L	DATA	CRC	F
---	----	----	---	------	-----	---

где

- F - флаг 01111110 /1 байт/
- Ad - адрес приемника /1 байт/
- As - адрес передатчика /1 байт/
- L - длина данных /2 байта/
- DATA - данные /до 12 кбайт/
- CRC - контрольная сумма /2 байта/.

Программное обеспечение СИ состоит из нескольких программ обработки прерываний. В то время, когда микропроцессор не занимается обработкой какого-либо прерывания, он находится в состоянии "HALT".

СИ со своим программным обеспечением и программные средства, включенные в операционные системы ЭВМ, представляют собой коммуникационную подсеть, реализующую датаграммный сервис и дающую средства для построения локальной сети общего пользования.

2.2. Транспортный сервис и протокол

На транспортном уровне в данной ЛВС работает простой протокол пакетного обмена. Процесс, работающий на транспортном уровне, выполняет следующие функции:

- установление транспортного соединения /виртуального канала/;
- буферизация принимаемых из моноканала данных, их мультиплексирование;
- передача данных в моноканал посредством нумерованных и не-нумерованных команд;
- контроль правильности прохождения сеанса связи.

Из всего многообразия вариантов, представляемых коммуникационной подсетью, для построения нашей ЛВС мы выбрали такой, в котором виртуальные каналы образуют звездообразную структуру, в центре которой расположена базовая ЭВМ ИВЦ PDP-11/70.

Установление виртуального канала происходит после приема виртуального вызова от удаленной машины. Разрушение виртуального канала происходит автоматически после выхода пользователя из системы на машине PDP-11/70 или если удаленный пользователь не выдал ни одной команды в течение некоторого фиксированного временного интервала. Отдельная команда для этого не используется.

Пересылка данных между удаленной машиной и PDP-11/70 происходит в режиме "MASTER - SLAVE", где в роли MASTER-машины выступает PDP-11/70. Иначе говоря, любая пересылка данных /в виде нумерованной команды/ должна быть санкционирована машиной PDP-11/70. В противном случае несанкционированные нумерованные команды со стороны SLAVE-машины будут отвергнуты, а процесс, ра-

ботающий на транспортном уровне, обнаружит нарушение протокола обмена. Для того чтобы инициировать процедуру пересылки данных по моноканалу, MASTER посылает нумерованную команду REQUEST по определенному виртуальному каналу на удаленную машину. И та только в этом случае может ответить ей соответствующей нумерованной командой RESPONSE.

В случае непредвиденных обстоятельств, возникших на SLAVE-машине, она может затребовать обслуживания MASTER-машиной с помощью посылки асинхронной нумерованной командой DEMAND.

Транспортный протокол использует следующие команды:

- Нумерованные команды /управляющие/:
- CONNECT - запрос на соединение /SLAVE/ вызывает установление виртуального канала на данную удаленную машину в начале сеанса. Если эта команда пришла в середине сеанса и виртуальный канал на удаленную машину уже существует, то эта команда обрабатывается MASTER-машиной как DEMAND.
- ACKNOWLEDGE - явное подтверждение правильного приема нумерованной команды /MASTER/SLAVE/.
- DEMAND - запрос на асинхронное обслуживание /SLAVE/.
- Нумерованные команды передачи данных:
- DATA OUTPUT REQUEST - команда, содержащая в своем теле данные, посылаемые с MASTER-машины на SLAVE-машину /MASTER/.
- DATA OUTPUT RESPONSE - положительный ответ на команду передачи данных, обозначающий также /в отличие от нумерованной команды ACKNOWLEDGE/, что принятые данные уже обработаны и SLAVE-машина готова принять следующую нумерованную команду /SLAVE/.
- DATA INPUT REQUEST - запрос данных со SLAVE-машины /MASTER/. Команда разрешает SLAVE-машине выполнить передачу данных в моноканал. В поле длины этой команды стоит число байтов, которое MASTER-машина готова принять от SLAVE-машины.
- DATA INPUT RESPONSE - команда, содержащая в своем теле данные, посылаемые со SLAVE-машины на MASTER-машину /SLAVE/. Является также подтверждением правильного получения команды приема данных и признаком того, что эта команда приема данных обработана, а SLAVE-машина готова принять следующую нумерованную команду.

Структура команд и процесс передачи данных показаны в приложении Б. Процесс обмена данными между центральной ЭВМ и удаленной машиной может проходить двумя способами.

Случай непосредственного ответа на команду REQUEST

В случае, если удаленная машина может послать команду RESPONSE на пришедшую команду REQUEST в течение достаточно короткого фиксированного временного интервала, то эта команда RESPONSE будет одновременно служить подтверждением команды REQUEST и обозначать окончание обработки этой команды. В этом случае за исправлением ошибок и устранением зависаний следит MASTER-машина.

Случай обработки команды REQUEST с задержкой

Если же обработка команды REQUEST не может быть закончена в течение этого временного интервала, то SLAVE-машина посылает нумерованную команду ACKNOWLEDGE, подтверждающую только правильный прием команды REQUEST. После того, как MASTER-машина приняла команду ACKNOWLEDGE, она может ожидать команды RESPONSE неограниченно долго. При этом SLAVE-машина после окончания обработки команды REQUEST обязана послать соответствующую RESPONSE команду, но в этом случае ответственность за пересылку задержанной команды ложится на SLAVE-машину. Процесс передачи кадра данных считается законченным после того, как MASTER-машина подтвердит прием команды RESPONSE либо посылкой следующей команды REQUEST, либо явным нумерованным подтверждением ACKNOWLEDGE.

Исправление ошибок, возникающих при передаче, осуществляется повторной передачей поврежденных кадров. Потери кадров обнаруживаются с помощью сторожевых таймеров.

Чтобы устранить возможность потери кадров данных или их дублирование при повторных передачах, в протокол введена циклическая нумерация кадров данных по модулю 2.

Процедура исправления ошибок при различного рода повреждениях кадров показана в приложении В.

3. П.О. СЕТЕВОГО УЗЛА PDP-11/70

Структура сетевого программного обеспечения, работающего в системе RSX-11M-PLUS на центральной машине ЛВС PDP-11/70, показана на рис.1. СИ включается в операционную систему как новое устройство с названием QX при помощи драйвера⁵.

3.1. Драйвер сетевого интерфейса в ОС RSX-11M

Драйвер QX выполняет следующие функции:
-- иницирует СИ при загрузке;

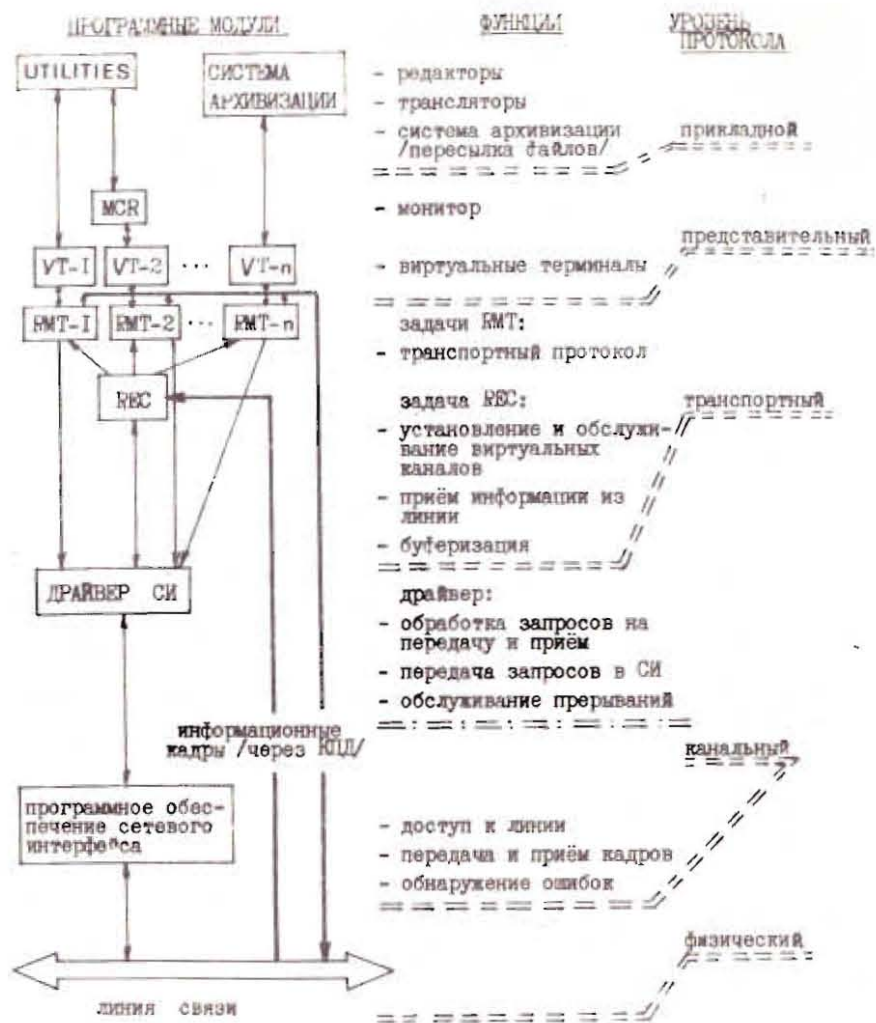


Рис. 1. Структура сетевого программного обеспечения на ЭВМ PDP-11/70.

- получает запросы задач на передачу и прием информации из линии связи в полном дуплексном режиме;
- передает запросы в СИ через контрольно-статусный регистр.

Параметры запроса передаются в СИ через специально выделенную, фиксированную в памяти ЭВМ область связи, адрес которой передается в СИ сразу после его инициализации. Обращение к этой области СИ происходит по каналу прямого доступа без вмешательства процессора ЭВМ. Структура области связи изображена на рис. 2.

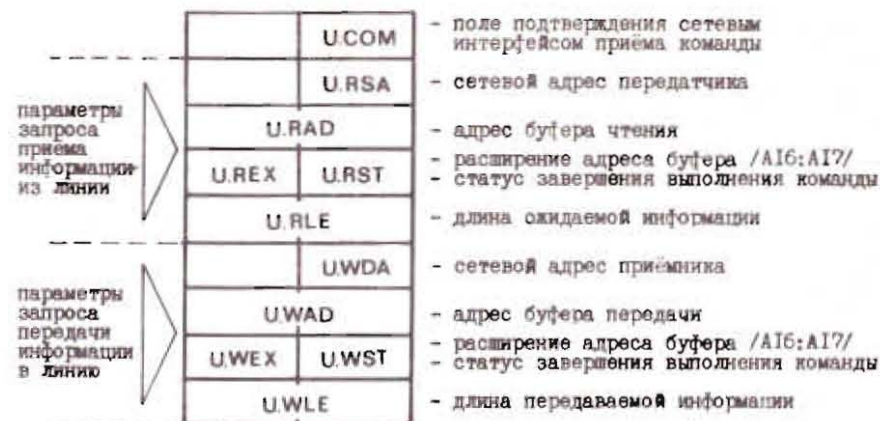


Рис. 2. Структура области связи между сетевым интерфейсом и драйвером.

Параметрами запроса являются:

- физический адрес буфера, отведенного для приема информации или содержащего данные для передачи, в памяти ЭВМ. /Драйвер организует преобразование 22-разрядного адреса в 18-разрядный и организует правильный доступ к памяти /UNIBUS MAPPING /; длина буфера;
- адрес удаленного узла;
- обмен кадрами между памятью и линией происходит по каналу прямого доступа под управлением СИ и без вмешательства драйвера;
- обрабатывает прерывания от СИ и через область связи получает от него статусную информацию об окончании передачи или приема кадра;
- дает возможность подключить к ЭВМ несколько СИ.

Драйвер написан таким образом, что может быть сгенерирован в необходимой форме либо для системы RSX-11M, либо для RSX-11M-PLUS.

3.2. Процессы транспортного уровня REC и RMT

Привилегированные задачи REC и RMT реализуют функции транспортного уровня и предоставляют свои услуги другим задачам ОС RSX-11M-PLUS, которые в данном случае являются задачами представительного и прикладного уровней.

Задача REC /RECEIVE/

- Централизованная задача приема кадров из моноканала организует:

- буферизацию всех поступающих из линии связи кадров;
- постоянное существование активного запроса на чтение из линии связи;
- по запросу удаленной станции создание виртуального канала и запуск новой версии задачи RMT для данного канала под именем RMTnnn /где nnn - сетевой адрес удаленной станции /;
- передачу информации задаче RMTnnn о приеме подтверждения или, в случае приема кадра данных, - адреса буфера;
- возвращение буфера после его освобождения в центральный набор буферов;
- по необходимости, уничтожение виртуального канала.

Задача RMT

Для каждого нового виртуального канала задача REC запускает свою версию задачи RMT /REMOTE MONITOR TASK/. Процесс RMT реализует функции транспортного уровня для виртуального соединения типа "точка - точка". Такая организация дает возможность в условиях многозадачной ОС RSX упростить структуру программы RMT.

Задача RMT выполняет следующие функции:

- поддерживает транспортный протокол;
- генерирует для каждого виртуального канала виртуальный терминал /VT/ в ОС RSX-11M-PLUS и при помощи этого VT организует доступ ко всем возможностям ОС RSX-11M-PLUS.

3.3. Программы пересылки файлов ARCHIR и RETRIR

На PDP-11/70 поддержку пересылки файлов ПО ЛВС выполняют две программы:

- ARCHIR - принимает файлы из линии связи и записывает их в архив пользователя, работающего на данном VT;
- RETRIR - выбирает файлы из архива пользователя и направляет их в линию связи по логическому каналу, закрепленному за данным VT.

Эти программы запускаются диспетчером команд системы архивизации SONET. Для каждой малой машины, запросившей пересылку файлов через ЛВС, они выполняют синтаксический разбор и анализ команд языка SOCOL, заказавших пересылку файлов, работу с файловой структурой системы RSX-11, преобразование формата текстовых файлов RT → RSX /RSX → RT, организацию групповых операций /операций со "*" и "%"/ и поддержку протокола ЛВС.

4. П.О. СЕТЕВОГО УЗЛА НА МАЛОЙ ЭВМ

На малых ЭВМ, входящих в ЛВС SONET-2 и являющихся рабочим местом /измерительным модулем/ физика-экспериментатора, работает ОС реального времени RT-11.

Для взаимодействия пользовательских программ с СИ в состав ОС включен драйвер устройства QX, дающий возможность обращаться к этому устройству через стандартные макрозапросы .READ и .WRITE.

Драйвер устройства QX выполняет следующие функции:

- при первом обращении к СИ;
- производит его инициализацию;
- получает от СИ его сетевой адрес и передает этот адрес в программу пользователя;
- передает в СИ физический адрес области связи, находящейся в адресном пространстве драйвера и служащей для передачи команд в СИ и получения от него статусной информации;
- обеспечивает прием запросов на работу с СИ от пользовательских программ и передачу их на выполнение устройству;
- организует внутренние очереди для реализации режима "полный дуплекс" /предусмотрено одновременное существование двух активных запросов: 1 - на чтение и 1 - на передачу/;
- обрабатывает прерывания, выдаваемые СИ;
- выдает информацию о завершении процессов приема и передачи в программу пользователя.

В связи с тем, что на машинах с различными ОС используется одно и то же физическое устройство, интерфейс между СИ и драйвером и структура блока связи аналогичны тем, что используются в системе RSX-11, за исключением поля расширения адреса, которое в системе RT-11 не используется.

Информация между областью связи и памятью СИ передается по КПД под управлением СИ.

В качестве пользовательской программы в данной реализации сети на малых машинах работает программа SONET. Эта программа дает пользователю возможность работать с терминала малой машины на центральной машине ЛВС PDP-11/70 в терминальном режиме /через механизм виртуальных терминалов "VT" в ОС RSX-11M-PLUS/, а также пересылать файлы с внешних устройств малой машины в свой архив на PDP-11/70 и обратно.

Программа SONET содержит две подпрограммы, реализующие транспортный уровень 7-уровневой MAOS - RECEIVE и TRANSMIT.

Подпрограмма RECEIVE выполняет прием информации из линии связи /выбор кадров, адресованных непосредственно данной станции сети, производится в СИ аппаратно/. Для этого она располагает набором буферов, позволяющим сразу после приема очередного кадра из линии связи поставить запрос на чтение из линии в дру-

гой, свободный буфер. Таким образом, обеспечивается постоянное присутствие активного запроса на чтение из линии, гарантирующее, что любой пришедший из линии кадр будет обработан. Кроме того, подпрограмма RECEIVE устанавливает таймер на посылку нумерованного подтверждения на случай, если посылка ответного нумерованного кадра RESPONSE будет по каким-либо причинам задержана.

Подпрограмма TRANSMIT формирует кадры для передачи их в линию связи, следит за правильностью нумерации команд. Кроме того, при посылке нумерованной команды RESPONSE подпрограмма TRANSMIT либо срабатывает таймер на посылку нумерованного подтверждения, если оно еще не было послано, либо обеспечивает пересылку нумерованной команды самостоятельно, т.к. после посылки нумерованного подтверждения ответственность за пересылку нумерованной команды RESPONSE ложится на SLAVE-станцию.

Для устранения зависаний протокола в его состав включены сторожевые тайм-ауты и механизм повторной передачи поврежденных или утерянных кадров.

Подпрограммы, реализующие более высокие уровни иерархии 7-уровневой MAOC, выполняют выдачу текстовой информации на терминал и ее прием с терминала малой машины и работу с внешними устройствами этой машины и с файловой системой RT-11.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанное в данной работе программное обеспечение совместно с сетевыми интерфейсами, находящимися на нескольких машинах ИВЦ, дает возможность уже в настоящее время обеспечить одновременный доступ нескольких пользователей, находящихся на удаленных машинах, к ресурсам базовой ЭВМ ИВЦ ЛНФ PDP-11/70. Новая ЛВС SONENT-2 является существенным шагом вперед по сравнению с предыдущими реализациями нашей сети. Она не только существенно повышает скорость передачи данных между машинами центра, но и дает возможность организации большого числа одновременно действующих виртуальных терминалов. Это тем более важно, так как возможности наращивания числа физических терминалов ограничены конфигурацией машины PDP-11/70.

Нашей ближайшей и наиболее важной задачей мы считаем включение в сеть SONENT-2 средств, которые дадут возможность физикам управлять экспериментом на своей удаленной машине с любого терминала центральной ЭВМ сети PDP-11/70.

В заключение можно отметить, что коммуникационная подсеть, на базе которой создается ЛВС SONENT-2, является универсальным средством, представляющим широкий простор для построения сетей самых различных топологий.

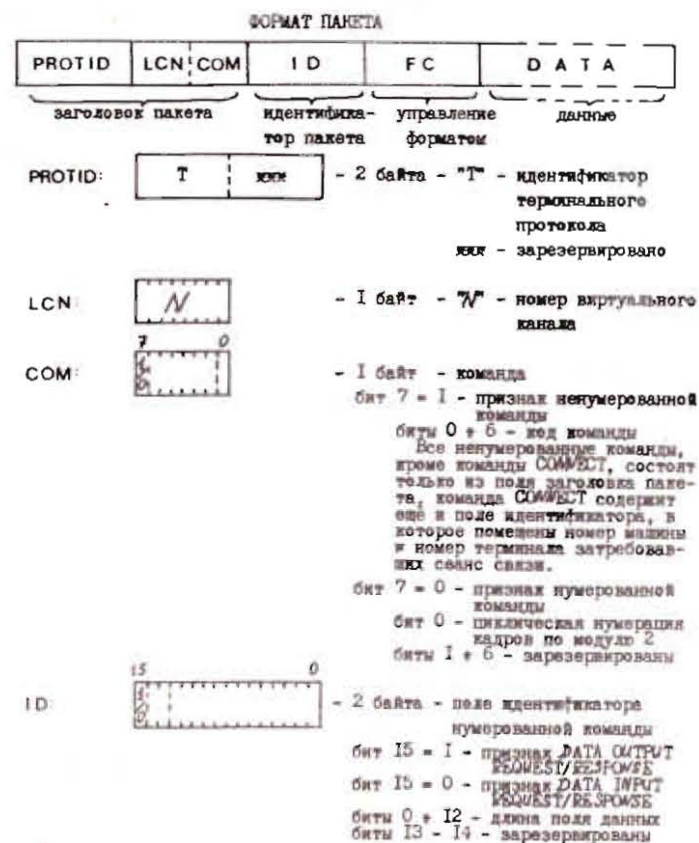
6. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Величины переменных, влияющих на работу уровня доступа к каналу

Преамбула	230 мкс	425 мкс*
"JAM"	65 мкс	
Поле адреса	1 байт	
Минимальный размер кадра	8 байтов	
Максимальный размер кадра	522 байта	
Число повторных передач при ошибках	16	
Число повторов неудачного NPR	3	
Интервал между кадрами	50 мкс	
Время передачи бита	2 мкс	4 мкс*
Формирование случайного интервала времени при конфликтах:		
$30,4 \text{ мкс} + R * 84,4 \text{ мкс}$, где	$0 < R < 2^{**} K$ и	
	$K = \text{MIN} / N, 8/$	
	N номер попытки,	
	$N \leq 16$	

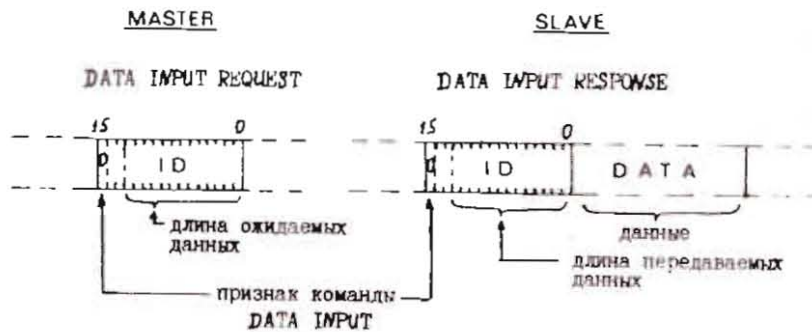
* Данные для скорости 250 кбод.

Приложение Б-1. Структура команд





Передача данных с центральной ЭВМ на удаленную машину.



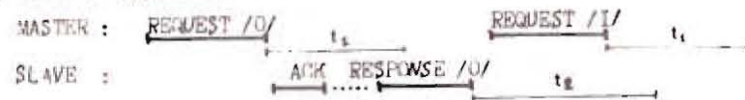
Передача данных с удаленной машины на центральную ЭВМ.

Безошибочная передача

А. Непосредственный ответ



Б. Ответ с задержкой.

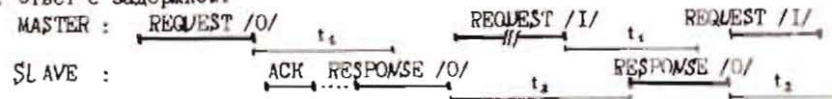


Ошибка при передаче команды

А. Непосредственный ответ



Б. Ответ с задержкой.



Ошибка в ответе

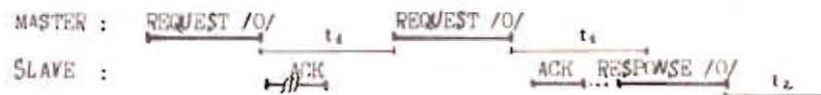
А. Непосредственный ответ



Б. Ответ с задержкой.



Ошибка в подтверждении



t_1 - время ожидания MASTER-машиной реакции на команду REQUEST
 t_2 - время ожидания SLAVE-машиной подтверждения команды RESPONSE
 в случае ответа с задержкой

$t_1 < t_2$

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова И.В. и др. ОИЯИ, 10-82-402, Дубна, 1982.
2. Гизе П.Е. и др. ОИЯИ, 11-84-453, Дубна, 1984.
3. Локальные вычислительные сети. /Тезисы докладов всесоюзной конференции/ - ИЗВТ АН Латв.ССР, Рига, 1984.
4. DRAFT IEEE STANDARD 802.3 LAN CSMA/CD Method and Physical Layer specifications IEEE, 1982.
5. RSX-11M/M-PLUS Guide to Writing an I/O Driver. Digital Equipment Corporation. Maynard Massachusetts, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 ноября 1985 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований