

КОММУНИКАЦИОННЫЙ УРОВЕНЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИБКИМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ МОДУЛЯМИ

¹Прохончуков С.Р., ¹Подлевских А.П., ¹Квасова Е.Н.

¹ НОУ ВО «Московский технологический институт», Москва, Россия (119334, Москва, Ленинский пр-т, дом 38а), e-mail: sprokhonchukov@gmail.com

В статье рассмотрено решение проблем, возникающих при организации построения эффективного коммуникационного уровня распределенной системы управления (PCY) гибкими производственными модулями (ГПМ). Для удовлетворения требований, предъявляемых к организации коммуникационного уровня PCY ГПМ, предложен алгоритм обработки требований на обслуживание от абонентов с дисциплиной выравнивания приоритетов (ДВП). Данный алгоритм реализован при построении различных вариантов магистрально-радиального интерфейса, который обеспечивает высокую надежность работы коммуникационного уровня системы и обеспечивает значительное сокращение аппаратных затрат на организацию магистральной сети. В результате применения предложенной дисциплины выравнивания приоритетов для систем, в которых критичным параметром является время ответа, разработанная математическая модель показывает повышение резерва производительности системы на (15-20)%.

Ключевые слова: распределенная система управления (PCY), гибкие производственные модули (ГПМ), коммуникационный уровень PCY ГПМ, система массового обслуживания (СМО), дисциплина обслуживания с выравниванием приоритетов (ДВП), магистрально-радиальный интерфейс (МРИ), эффективное распределение пропускной способности магистральной сети, магистральный адаптер связи (МАС), контроллер магистральной (КМ), блок доступа к шине адреса и данных, реализующий алгоритм ДВП.

COMMUNICATION LAYER DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM FLEXIBLE MANUFACTURING CELLS

¹Prokhonchukov S.R., ¹Podlevskikh A.P., ¹Kvasova E.N.

¹Moscow Technological Institute, Moscow, Russia (119334, Moscow, Leninsky av. 38a), e-mail: sprokhonchukov@gmail.com

The article deals with the solution of problems arising in the organization of building an effective communication level distributed control system Flexible manufacturing cells. To meet the requirements for the organization of the communication level, an algorithm for the processing of claims for service from subscribers with discipline align priorities. This algorithm is implemented in the construction of various options radial bus-interface, which provides a high level of reliability of the communication system and provides a significant reduction in hardware costs for the organization of the network backbone. As a result of the proposed priority discipline equalization for systems in which the critical parameter is the response time, the mathematical model developed demonstrates increasing productivity reserve system (15-20)%.

Keywords: distributed control system, flexible manufacturing cells, the communication level, queuing system, service discipline aligned priorities, bus-radial interface, efficient allocation of bandwidth backbone network backbone communication adapter, controller line, block access to the address bus and data that implements the algorithm.

В современных условиях эффективным можно считать такое производство, которое в оперативном режиме реагирует на любые изменения спроса и в предельно короткие сроки трансформируется или переключается на выпуск конкурентоспособной, востребованной продукции. Соответственно, для реализации такого гибкого производственного цикла, оперативно ориентирующегося на изменение рынка и поддерживающего выпускаемую продукцию на всех этапах ее жизненного цикла, широко применяются автоматизированные распределённые системы управления (PCY) гибкими производственными модулями (ГПМ) [1].

При управлении системой в режиме on-line с обеспечением быстродействия и эффективной связи управляющей ЭВМ со всеми гибкими производственными модулями к коммуникационному уровню предъявляются особые требования [2].

Коммуникационный уровень распределенной системы управления гибкими производственными модулями должен в данном случае обеспечивать выполнение следующих требований [3]:

1) высокую пропускную способность используемых коммуникационных средств связи;

2) высокую надежность работы, которая должна поддерживаться путем исключения влияния неисправного коммуникационного модуля на прохождение сигналов по магистрали сети;

3) равноправное распределение пропускной способности магистрали сети передачи данных между обслуживающим прибором (ЭВМ) и всеми подключенными гибкими производственными модулями (абонентами сети);

4) организацию связи между гибкими производственными модулями и ЭВМ с минимальными аппаратными затратами.

Как правило, схема организации связи между гибкими производственными модулями и управляющей ЭВМ подразумевает наличие N -независимых линий, по которым к обслуживаемому прибору от каждого абонента в отдельности поступает независимый запрос (требование) на обслуживание. Обслуживающий прибор (ЭВМ) выполняет опрос (сканирование) требований от абонентов и предоставляет им право на обслуживание в соответствии с принятой дисциплиной обслуживания. Таким образом, для реализации связи в РСУ ГПМ требуется наличие N независимых линий связи, поступающих от каждого ГПМ в отдельности, что вызывает большие накладные расходы на организацию магистрали сети, особенно при значительном удалении абонента от ЭВМ. Кроме того, требуются специальное программное обеспечение, выполняющее операции сканирования требований от абонентов в соответствии с установленными алгоритмами (дисциплинами) опроса [4].

На практике находят широкое применение следующие дисциплины обслуживания абонентов [5]:

1) дисциплина обслуживания абонентов с равноправными приоритетами (ДРП) – ЭВМ производит опрос абонентов, начиная с текущего номера $i=1$. При нахождении i -го активного требования выполняется обслуживание i -го абонента, затем поиск продолжается, начиная с $(i+1)$ -го номера. Процесс обслуживания ЭВМ выбранного абонента не может быть прерван появлением в системе требования от другого абонента. При достижении максимального номера $i=N$ опрос требований продолжается с младшего номера $i=1$;

2) дисциплина обслуживания абонентов с относительными приоритетами (ДОП) – ЭВМ производит опрос абонентов, начиная с младшего номера $i=1$. При нахождении i -го активного требования выполняется обслуживание i -го абонента, затем поиск снова начинается с младшего номера $i=1$. Процесс обслуживания ЭВМ выбранного абонента не может быть прерван появлением в системе требования от другого абонента;

3) дисциплина обслуживания абонентов с абсолютными приоритетами (ДАП) – ЭВМ производит опрос абонентов, начиная с младшего номера $i=1$. При нахождении i -го активного требования выполняется обслуживание i -го абонента, затем поиск снова начинается с младшего номера $i=1$. Процесс обслуживания ЭВМ выбранного i -го абонента будет прерван, в случае появления в системе требования от абонента с более высоким приоритетом, номер которого находится в диапазоне от 1 до $i-1$.

Для выполнения вышеназванных требований к коммуникационному уровню РСУ ГПМ предлагается следующее схемотехническое решение [6].

При данном схемотехническом подходе к ЭВМ поступает только одна линия, по которой формируется интегрированный запрос требования на обслуживание лишь в том случае, если в системе присутствуют один или несколько активных абонентов, требующих обмена данными (рисунок 1). При этом со стороны ЭВМ не требуется проводить опрос (сканирование) абонентов для выбора наиболее активного источника – абонента лидера с учетом установленной дисциплины обслуживания. Схемотехническое решение автоматически реализует обслуживание абонентов с предлагаемой дисциплиной выравнивания приоритетов (ДВП). Для оценки эффективности предлагаемого решения рассмотрим математическую модель системы с ДВП.

В систему обслуживания требований поступает N классов заявок. Класс заявки определяется порядковым номером расположения абонента относительно ЭВМ (обслуживающего прибора). Запросы r -го абонента образуют очередь требований к магистрали сети (рисунок 1) для их последующей передачи в соответствующий буферный регистр ($BP.r$) и включения в очередь требований на обслуживания к ЭВМ. Каждый буферный регистр $BP.r$ и элемент очереди $Gr.i$ (где i – порядковый номер элемента Gr в очереди требований r -го абонента к магистрали сети) предназначены для хранения одной порции информации (пакета или сообщения).

При построении математической модели системы массового обслуживания (СМО) требований будем считать, что:

- 1) поток заявок со стороны абонентов образует пуассоновский процесс с параметром λ ;
- 2) длительность обслуживания подчиняется экспоненциальному закону со средним значением, равным $1/\mu$;

3) если в момент поступления требования очередь данного класса заявок занята, то требование теряется.

Сформулируем алгоритм обработки требований различного класса в СМО с предлагаемой дисциплиной выравнивания приоритетов.

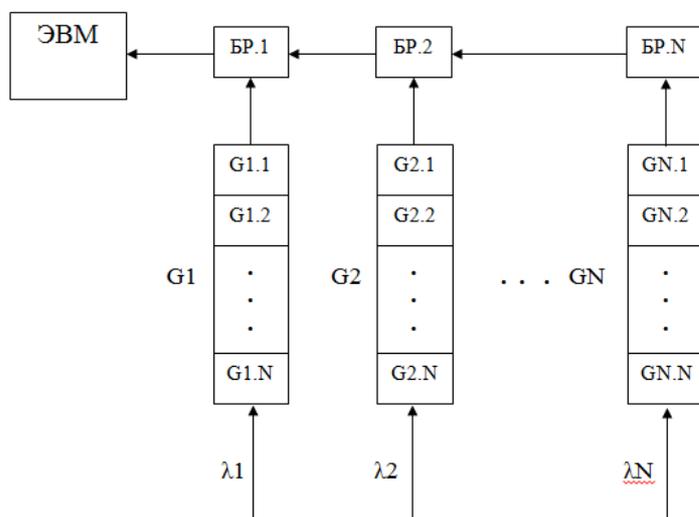


Рис.1 Система обслуживания с N – классами заявок

Правило, регламентирующее включение элемента $Gr.1$ в очередь требований на обслуживание к ЭВМ, определяется выполнением следующих условий:

1) условие 1 – запрос $Gr.1$ из очереди требований к магистрали сети будет поставлен в соответствующий буферный регистр $BP.r$, если последний свободен от наличия в нем другого требования;

2) условие 2 – запрос Gr , поставленный в буферный регистр $BP.r$, будет включен в очередь требований на обслуживание к ЭВМ при отсутствии других запросов, включенных в очередь требований на обслуживание к ЭВМ, с более старшими порядковыми номерами по отношению к данному классу требований ($j = r+1, \dots, N$).

3) условие 3 – одновременное появление двух и более запросов от абонентов различного класса, для которых выполняются условия 1 и 2, вызывает их безусловное включение в очередь требований на обслуживание к ЭВМ.

Сформулируем правило, регламентирующее порядок обслуживания запросов, включенных в очередь требований на обслуживание к ЭВМ:

4) условие 4 – включенный в очередь требований на обслуживание к ЭВМ запрос будет обработан лишь после того, как будут обслужены все другие запросы от абонентов с младшими порядковыми номерами ($j = 1, \dots, r-1$) по отношению к данному классу, включенные в очередь требований на обслуживание к ЭВМ.

В соответствии с данным алгоритмом процесс передачи сообщения r -го абонента ЭВМ можно разбить на три этапа:

- 1) включение запроса в очередь требований к ЭВМ;
- 2) ожидание начала обслуживания запроса в очереди требований к ЭВМ;
- 3) непосредственное обслуживание запроса ЭВМ (прибором).

Математическая модель предложенной дисциплины с выравнением приоритетов подробно описана в [7].

Из теории систем массового обслуживания известно [5], что, когда загрузка оборудования превышает (80-90)%, то незначительное увеличение трафика может привести к резкому спаду производительности системы или даже перевести систему в аварийный режим. Поэтому, анализ модели СМО с ДВП для нескольких источников заявок следует проводить на интервале нагрузки ($0 < \rho \leq 0,9$).

Проведенное исследование с помощью разработанной математической модели СМО (в научно-исследовательском институте полупроводникового машиностроения «НИИПМ», г. Воронеж и НОУ ВО «Московский технологический институт») с предлагаемой дисциплиной выравнения приоритетов для систем, в которых критичным параметром является время ответа, показывает [8] повышение резерва производительности системы на 15–20 %.

Для выполнения вышеназванных требований к коммуникационному уровню РСУ ГПМ разработана следующая архитектура магистрально-радиального интерфейса связи (МРИ) [9-11], обеспечивающая эффективное распределение пропускной способности магистрали сети с минимальными аппаратными затратами между ГПМ и управляющей ЭВМ в распределенной системе управления (рисунок 2).

Каждый абонент подключается к магистрали интерфейса с помощью специальных схем – магистральных адаптеров связи (МАС), а ЭВМ верхнего уровня управляет работой посредством контроллера магистрали (КМ). Магистраль интерфейса включает в себя информационную шину адреса и данных (ШАД), управляющие шины синхронизации ввода (ШВВ), синхронизации вывода (ШВыВ), запроса передачи (ШЗП), готовности приема (ШГП), формирования адреса (ШФА). Двухнаправленная шина адреса и данных является единой передающей средой для магистрального адаптера связи сети, в отличие от управляющих шин, которые проходят через внутреннюю логику этих устройств.

Магистральный адаптер связи состоит из входного (ВхБ) и выходного (ВыБ) буферов, дешифратора адреса (ДА), регистров состояния ввода (РСВв) и вывода (РСВыв), блока канальных приемопередатчиков (КП), регистра адреса абонента (РА), регистра широковещательного сообщения (РШС), блока коммутации (БК) и блока доступа к шине адреса и данных (БД).

Блок коммутации содержит релейный элемент, обеспечивающий, в случае возникновения неисправности источника питания или отключения какого-либо абонента, сохранение работоспособности магистрально-радиального интерфейса за счет отключения внутренней логики магистрального адаптера связи от управляющих шин синхронизации ввода, готовности приема, запроса передачи, что исключает влияние неисправного модуля на прохождение сигналов по магистрали сети.

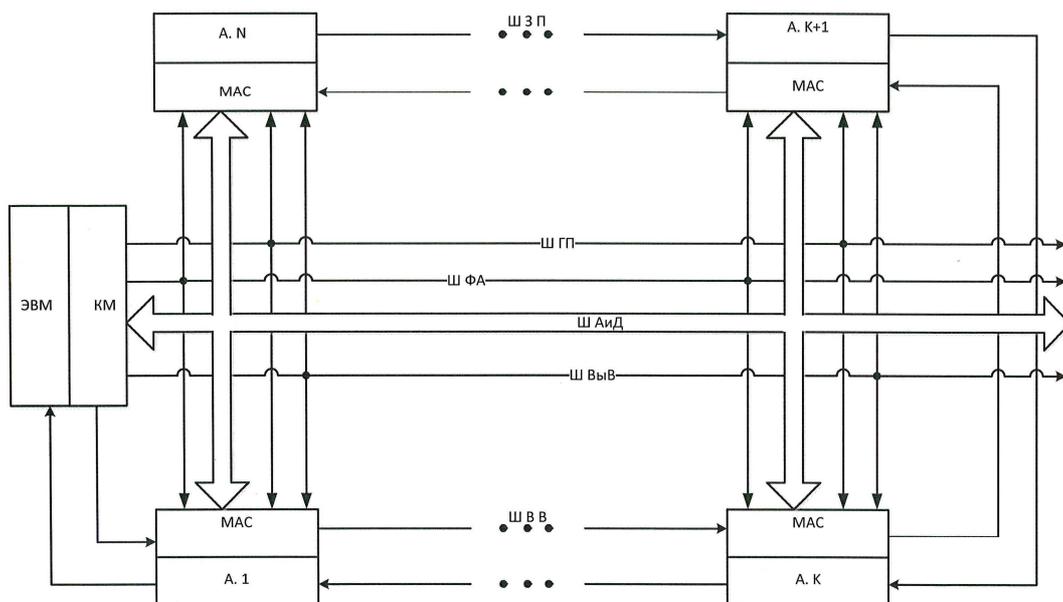


Рис.2. Архитектура магистрально-радиального интерфейса связи

Блок доступа реализует захват магистрали сети для передачи информации от соответствующего абонента к управляющей ЭВМ в соответствии с предложенным алгоритмом ДВП. Совокупность блоков доступа всех магистральных адаптеров связи реализует аппаратную селективную цепочку, которая выравнивает приоритеты обслуживания абонентов вне зависимости от их месторасположения по отношению к управляющей ЭВМ [12].

Функциональное назначение базовых элементов и узлов магистрального адаптера связи подробно изложены в [13-17].

В исходном состоянии флаг регистра состояния вывода «Флаг ПРД = 0» и удерживает триггер приоритета блока доступа в нулевом состоянии «Запрос ПРТ = 1», который не блокирует прохождение сигнала «Ввод данных» по шине синхронизации ввода через внутреннюю логику данного магистрального адаптера связи.

При организации связи в магистрально-радиальном интерфейсе используются следующие четыре режима работы:

- 1) режим 1 - передача единицы информации от ЭВМ к выбранному i-му абоненту;

2) режим 2 - передача единицы информации от ЭВМ одновременно ко всем абонентам – режим циркулярного сообщения;

3) режим 3 - прием ЭВМ единицы информации с идентификацией источника;

4) режим 4 - настройка регистров широковещательного сообщения магистрального адаптера связи для выбранных абонентов на определенные групповые адреса.

Разработано два варианта работы магистрально-радиального интерфейса, основные технические решения которых защищены авторскими свидетельствами на изобретения (А. С. №1434444, №1453441). Различия между предлагаемыми вариантами заключаются в организации блока доступа и в используемом протоколе обмена между ЭВМ и абонентами на физическом уровне сети.

Вариант 1 [13,14,17]. Обмен информацией между ЭВМ и абонентами осуществляется параллельным кодом, разрядность которого зависит от числа подключенных абонентов в сети. Единицей передаваемой информации по шине адреса и данных является сообщение, формат которого включает код адреса абонента и собственно данные.

Режим 1. ЭВМ при наличии высокого уровня на шине готовности передачи выдает на шину адреса и данных сообщение, старшие разряды которого представляют собой код адреса выбранного абонента, а младшие – передаваемые данные, и формирует на шине синхронизации вывод сигнал «Вывод данных». Информационная часть сообщения поступает во входной буфер того магистрального адаптера связи, на выходе дешифратора адреса которого вырабатывается сигнал совпадения, после чего происходит установка регистра состояния ввода магистрального адаптера связи «Флаг ПРМ = 1». Сигнал занятости регистра состояния ввода поступает в ЭВМ. На шине готовности приема формируется низкий уровень сигнала – операция вывода данных запрещена до тех пор, пока данные не будут обработаны абонентом.

Режим 2. В отличие от предыдущего режима каждое сообщение, передаваемое ЭВМ, снабжается кодом адреса широковещательного сообщения и принимается одновременно во входные буферы тех магистральных адаптеров связи, для которых код, записанный в регистре широковещательного сообщения, совпадает с кодом адреса принятого сообщения.

Режим 3. Абонент записывает данные в выходной регистр магистрального адаптера связи, при этом флаг регистра состояния вывода устанавливается в состояние «Флаг ПРД = 1» и поступает в блок доступа. Уровень сигнала на шине запроса передачи переходит в состояние активного уровня, что информирует ЭВМ о наличии, по крайней мере, одного активного абонента. Ввод сообщения в ЭВМ сопровождается формированием сигнала «Ввод данных» на шине синхронизации ввода. Этот сигнал, в случае готовности абонентов к передаче, поступает во внутреннюю логику магистрального адаптера связи, который в

данный момент является лидером среди других. Выбор лидера осуществляется в блоке доступа магистрального адаптера связи, которые образуют приоритетную цепочку, в соответствии с реализованным алгоритмом с ДВП. В случае появления запросов со стороны нескольких абонентов на передачу сообщения одновременно, то наибольший приоритет будет иметь магистральный адаптер связи, который захватил лидерство в очереди требований к магистрали сети. По сигналу «Ввод данных» блок канальных приемопередатчиков магистрального адаптера связи-лидера системы формирует на шине адреса и данных сообщение, младшая часть которого определяется кодом, записанным в выходном буфере, а старшая часть – кодом из регистра адреса магистрального адаптера связи – лидера. После чтения этого сообщения ЭВМ происходит переход флага регистра состояния вывода в состояние «Флаг ПРД = 0 » и уровень сигнала на шине запроса передачи переходит в состояние пассивного уровня, если в магистрально-радиальном интерфейсе отсутствуют запросы от других абонентов.

Режим 4. ЭВМ формирует на шине формирования адреса сигнал «Настройка» и выдает на шине адреса и данных сообщение, формат которого включает код адреса абонента и код адреса группового или широковещательного сообщения, который записывается в регистр широковещательного сообщения соответствующего магистрального адаптера связи.

Для проведения технико-экономического обоснования вариантов реализации магистрально-радиального интерфейса [18,19] проведем расчет среднего времени обслуживания одного требования в системе, реализованной по варианту 1:

$$T_1 = T_{\text{прер.}} + T_{\text{ввод}} + T_{\text{обр.}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{прер.}}$ – среднее время предоставления прерывания ЭВМ с момента возникновения требования на обслуживание; $T_{\text{ввод}}$ – время передачи единицы данных от абонента к ЭВМ; $T_{\text{обр.}}$ – среднее время обслуживания единицы данных ЭВМ.

К достоинствам представленного вариант магистрально-радиального интерфейса можно отнести:

- 1) высокую скорость обмена данными, при минимальном объеме программно-аппаратных средств на организацию связи;
- 2) равноправное распределение эффективной пропускной способности магистрали сети между всеми подключенными абонентами;
- 3) обеспечение работоспособности системы связи в случае возникновения неисправности источника питания или какого-нибудь абонента;
- 4) возможность одновременной передачи в управляемое оборудование, выполняющее однотипные операции, большого объема информации (загрузка бездисковых ЭВМ

операционной системой, прикладными программами, технологическими рецептами, заданиями на тестовую проверку), что позволяет программное обеспечение системы управления нижнего уровня иерархии хранить во внешней памяти управляющей ЭВМ и загружать его по мере необходимости.

Вариант 2 [15,16]. Обмен информацией между управляющей ЭВМ и абонентами осуществляется с использованием параллельного кода, разрядность которого зависит от длины единицы передаваемой информации. Блок доступа магистрального адаптера связи дополнительно варианту 1 содержит счетчики стробов вывода и ввода, триггер приема.

Режим 1. Передача единицы информации от управляющей ЭВМ к выбранному абоненту осуществляется за две фазы обмера.

Фаза 1. ЭВМ при наличии высокого уровня на шине готовности приема выдает на шину адреса и данных код адреса абонента, с которым необходимо произвести обмен, и формирует на шине синхронизации вывода сигнал «Вывод данных». Триггер приема адресуемого магистрального адаптера связи устанавливает на шине готовности приема сигнал активного уровня «Готов=1». ЭВМ анализирует сигнал «Готов» и при его наличии переходит на следующую фазу передачи. Описанная процедура является операцией «захвата шины» со стороны адресуемого магистрального адаптера связи.

Фаза 2. При наличии активного уровня сигнала «Готов» ЭВМ выставляет на шину адреса и данных информацию для передачи выбранному в первой фазе абоненту, и формирует на шине синхронизации вывода сигнал «Вывод данных». Все магистральные адаптеры связи, кроме адаптера, захватившего шину, игнорируют данную информацию. По окончании действия сигнала «Вывод данных» осуществляется сброс триггера приема и переход сигнала готовности в пассивное состояние «Готов=0».

Режим 2. Абонент записывает данные в выходной буфер магистрального адаптера связи, при этом флаг регистра состояния вывода устанавливается в состояние «Флаг РПД = 1» и поступает в блок доступа. Уровень сигнала на шине запроса передачи переходит в состояние активного уровня, что информирует ЭВМ о наличии, по крайней мере, одного активного абонента. Работа блока доступа магистрального адаптера связи аналогична варианту 1, за исключением того, что ЭВМ реализует ввод информации от абонента в течение двух фаз обмена.

Фаза 1. После появления на шине запроса передачи сигнала активного уровня ЭВМ вырабатывает на шине синхронизации ввода сигнал «Ввод данных», который принимает только магистральный адаптер связи – лидер очереди. При этом счетчик стробов вывода увеличивается на единицу; на шине адреса и данных выдается код адреса абонента,

требующего обслуживания; триггер приоритета блока доступа магистрального адаптера связи – лидера остается в прежнем активном состоянии.

Фаза 2. Через произвольный промежуток времени ЭВМ выдает на шину синхронизации ввода сигнал «Ввод данных», который вызывает передачу данных из выходного буфера на шину адреса и данных; сброс счетчика стробов вывода; сброс триггеров приоритета и флага состояния вывода «Флаг ПРД = 0». После этой процедуры данный магистральный адаптер связи перестает быть лидером очереди.

При этом, среднее время обслуживания одного требования в системе, реализованной по варианту 2, составит:

$$T_2 = 2 \times (T_{\text{прер.}} + T_{\text{ввод}} + T_{\text{обр.}}) = 2 \times T_1. \quad (2)$$

Вариант 2 реализации магистрально-радиального интерфейса обеспечивает сокращение числа линий в шине адреса и данных, что снижает затраты на организацию связи между абонентами и ЭВМ. Однако это достигается путем снижения общей производительности работы сети в два раза, так как все операции обмена данными включают в себя две фазы:

- 1) выбор адресата при передаче или идентификации источника при приеме по отношению к ЭВМ;
- 2) передача единицы информации от ЭВМ к выбранному абоненту;
- 3) прием ЭВМ единицы информации от абонента.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие обоснованные и подтвержденные выводы:

1) В современных условиях при построении коммуникационного уровня автоматизированной распределенной системы управления гибкими производственными модулями важны в первую очередь такие показатели, как высокая производительность и надежность работы системы, минимальные затраты на аппаратную организацию связи, эффективное распределение пропускной способности магистрали сети передачи данных между ЭВМ и всеми подключенными модулями;

2) Предложен алгоритм дисциплины обслуживания выравнивания приоритетов, регламентирующий порядок включения запроса в очередь требования на обслуживание к ЭВМ и порядок обслуживания запроса в этой очереди, позволяющий выровнять приоритеты заявок, вне зависимости от месторасположения абонента по отношению к ЭВМ;

3) Для выполнения требований, предъявляемых к коммуникационному уровню

современной РСУ ГПМ, разработано схмотехническое решение, позволяющее снизить аппаратно-программные затраты на организацию эффективной связи между ЭВМ и подключенными гибкими производственными модулями и реализовать обмен данными в соответствии с предложенной дисциплиной выравнивания приоритетов;

4) Разработаны два варианта схмотехнического компромиссного решения магистрально-радиального интерфейса, обеспечивающих различные подходы к реализации коммуникационного уровня РСУ ГПМ в зависимости от требуемого быстродействия и аппаратных затрат на организацию связи между ЭВМ и абонентами.

Список литературы

1. Выжигин А.Ю. Гибкие производственные системы: учебное пособие. — М.: Машиностроение, 2009.— 288 с.
2. Подвальный С.Л., Гусев С.И., Прохончуков С.Р., Батуев И.Ю., Полухин В.Д., Аносович Б.Р. Система управления гибкими автоматизированными линиями // Заводы будущего для реализации интеллектуального компьютерно-интегрированного производства: Тез. докл. Международной конф. Венгрия, Будапешт: ИНТЕРТЕХНО:90, 1990. – С.73-78.
3. Прохончуков С.Р. Разработка коммуникационного уровня распределенной системы управления технологическими объектами электронной техники. – Автореф. дис. канд. техн. Наук. – Воронеж. 1991. – 16с.
4. Подвальный С.Л., Гусев С.И., Прохончуков С.Р. Сетевое программное обеспечение системы управления гибкими автоматизированными участками // Автоматизация и роботизация в химической промышленности: Тез. докл. II Всесоюз. конф. – Тамбов: ТИХМ, 1988. – С.154-156.
5. Климов Г.П. Теория массового обслуживания. Учебное пособие/ Климов Г.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2011.— 312 с.
6. Гусев С.И., Прохончуков С.Р., Плахотнюк С.А. Контроллер межмашинного обмена для распределенных систем управления ГАП // Разработка и оптимизация САПР и ГАП изделий электронной техники на базе высокопроизводительных мини- и микроЭВМ: Тез. докл. Всесоюз. Совещание-семинар молодых ученых и специалистов. – Вороне: ВПИ, 1989. – С.183-185.
7. Прохончуков С.Р., Подлевских А.П. Повышение эффективности распределения пропускной способности магистрали сети автоматизированной системы управления между гибкими производственными модулями // Журнал «Фундаментальные исследования». – 2014. - №11(4). – С.783-792.

8. Прохончуков С.Р. Модель канала распределенной системы управления технологическими объектами // Математическое и машинное моделирование: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. – Воронеж: ВТИ, 1991. – С.93
9. Диордиев А.Л., Прохончуков С.Р., Иванов Б.И. Многоканальный интерфейс для сопряжения абонентов с ЭВМ в распределенных системах управления // Повышение эффективности функционирования систем и устройств: Тез. докл. областной научно-практической конф. – Воронеж: ВПИ, 1988. – С.65-66.
10. Диордиев А.Л., Подвальный С.Л., Прохончуков С.Р., Фомин С.В. Программно-технические средства комплексирования технологических модулей в иерархических АСУ ТП // Автоматизация потенциально опасных процессов химической технологии: Сб. науч. тр. – Л.:ЛТИ, 1990. – С.64-68.
11. Диордиев А.Л., Прохончуков С.Р., Кисурин А.А., Тищенко А.К. Комплекс технических средств для построения децентрализованных АСУ ТП на базе ЭВМ «Электроника-60» // Динамика процессов и аппаратов химической технологии: Тез. докл. III Всесоюз. конф. – Воронеж: ВПИ, 1990. – С.128-129.
12. Гусев С.И., Прохончуков С.Р. Адаптивная система обмена многоуровневых АСУ ТП // Проблемные вопросы автоматизации производства: Тез. докл. Всесоюз. научно-технического симпозиума – Воронеж: ВПИ, 1987. – С.142-144.
13. Авторское свидетельство 1434444 СССР, МКИ G06F13/00. Устройство для сопряжения абонентов с ЭВМ / С.Л. Подвальный, А.Л. Диордиев, С.Р. Прохончуков. – 4с.
14. Авторское свидетельство 1513465 СССР, МКИ G06F13/00. Устройство для сопряжения абонентов с ЭВМ / С.Р. Прохончуков, А.Л. Диордиев, С.Л. Подвальный, С.В. Фомин, А.М. Ткаченко. – 8с.
15. Авторское свидетельство 1564636 СССР, МКИ G06F13/00. Устройство для сопряжения ЭВМ с абонентами / С.Л. Подвальный, С.И. Гусев, С.Р. Прохончуков, С.В. Ключанцев, Н.Н. Федоров, В.Н. Блинов. – 10с.
16. Авторское свидетельство 1453441 СССР, МКИ G06F13/00. Устройство для сопряжения абонентов с ЭВМ / С.Л. Подвальный, С.Р. Прохончуков. – 4с.
17. Авторское свидетельство 1658159 СССР, МКИ G06F13/00. Устройство для сопряжения ЭВМ с абонентами / С.Р. Прохончуков. – 8с.
18. Подлевских А.П., Прохончуков С.Р., Фролов А.П. Методика технико-экономического обоснования внедрения ресурсо-энергосберегающих технологий и оборудования на предприятиях технического сервиса // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11 – С. 15-21

Рецензенты:

Анненков А.Н., д.т.н., профессор, проректор по научной работе Воронежского Международного института компьютерных технологий (МИКТ), г. Воронеж;

Климовицкий М.Д., д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации и процессов управления ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет (МАМИ)», г. Москва.