

М492146

НА ДАН
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

На правах рукописи

НИКИШИН Александр Васильевич

УДК 681.324:519

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ
ВЫЧИСЛЕНИЙ И СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ПАРАЛЛЕЛЬНО-КОНВЕЙЕРНЫХ СИСТЕМ
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Специальность 05.13.13 — Вычислительные машины,
комплексы, системы и сети

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Работа выполнена в Пензенском политехническом институте.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор
Н. П. Вашкевич.

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор
Ю. М. Шамаев; кандидат технических наук, доцент **Л. В. Сурков.**

Ведущая организация — Московский авиационный институт им. С. Орджоникидзе.

Защита диссертации состоится «1» декабря 1988 года
в «16⁰⁰» часов на заседании специализированного совета Д.053.15.03
«Вычислительная и информационная техника» в Московском высшем
техническом училище им. Н. Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Ба-
уманская ул., дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Н. Э. Баумана.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по указанному адресу.

Автореферат разослан « » 1988 г.

Ученый секретарь специализиро-
ванного совета к. т. н., доцент

1492176

Актуальность темы. Современный уровень развития науки и техники и возрастающие потребности народного хозяйства в средствах автоматизации определяют необходимость разработки и создания вычислительных систем /ВС/ сверхвысокой производительности. Основными направлениями повышения производительности ВС являются совершенствование элементной базы и схемотехнических решений при построении ВС, разработка новых архитектур и способов функциональной и структурной организации ВС. На настоящем этапе развития вычислительной техники наиболее перспективными являются архитектурные и организационные методы повышения производительности, причем для достижения их максимальной эффективности необходима функциональная ориентация ВС на системном этапе их проектирования на класс решаемых задач и особенности условий применения.

С точки зрения архитектуры ВС существуют два основных принципа ускорения вычислений - распараллеливание и конвейеризация, причем все известные типы ВС различаются в основном только по способу реализации этих принципов. Распараллеливание вычислений является основным способом повышения производительности ВС и применяется во всевозможных разновидностях архитектур с множественными потоками команд и/или данных. Конвейеризация вычислений, также широко используемая при построении высокопроизводительных ВС, чаще всего применяется на уровне отдельных машинных команд одной ветви программы либо частей одной команды /конвейеры арифметических операций/, реже - на уровне программных модулей /макроконвейерные системы/. Основным фактором, сдерживающим использование принципа конвейеризации на различных уровнях, является недостаточная гибкость конвейеров, что затрудняет построение универсальных конвейерных систем.

Широкие возможности использования конвейеризации открываются при построении специализированных вычислительных систем /СВС/, предназначенных для решения ограниченного набора задач или даже одной трудоемкой задачи. В частности, в СВС обработки непрерывных потоков сообщений /НПС/ высокой интенсивности в реальном масштабе времени появляется возможность совмещения во времени обработки множества последовательно поступающих сообщений и обеспечения за счет этого высокой пропускной способности системы. Эффективность конвейеризации в данном случае обусловлена относи-

М4 92176

тельной детерминированностью протекающих в СВС вычислительных процессов. При этом сочетание параллельной и конвейерной обработки по принципу управления потоками данных открывает дополнительные возможности в плане повышения производительности и пропускной способности СВС. Актуальность работы определяется, во-первых, высокими требованиями, предъявляемыми в настоящее время к специализированным системам обработки потоков сообщений, во-вторых, недостаточной изученностью вопросов функциональной и структурной организации параллельно-конвейерных систем /ПКС/ реального времени.

Целью работы является разработка методов планирования вычислений и синтеза структуры специализированных параллельно-конвейерных систем обработки непрерывных потоков сообщений в реальном масштабе времени.

Для достижения указанной цели в диссертации решаются следующие задачи:

- разработка принципов планирования параллельно-конвейерных вычислений с учетом задержек прохождения сообщений в ПКС;
- разработка алгоритмов планирования вычислений в ПКС при различных распределениях входного потока сообщений и с учетом времени межпроцессорного обмена;
- разработка метода снижения числа конфликтов, возникающих при межпроцессорном обмене в ПКС, при различных распределениях входного потока сообщений;
- разработка алгоритма синтеза адекватной решаемой задаче структуры ПКС;
- разработка методики системного этапа проектирования ПКС.

Методы исследования. Для решения поставленных задач были использованы методы теории графов, теории множеств, комбинаторного анализа, теории расписаний, теории массового обслуживания, имитационного моделирования.

Научная новизна. В процессе решения указанных задач были получены следующие научные результаты:

- с учетом задержек прохождения сообщений в ПКС разработаны принципы распределения функциональных операторов по процессорам и построения расписания их выполнения, позволяющие обеспечить соблюдение директивного срока вычислений и предотвратить потери сообщений при минимальном числе процессоров;
- разработаны и исследованы алгоритмы планирования парал-

тельно-конвейерных вычислений, основанные на решении задачи поиска системы различных представителей, составлении независимых расписаний для каждого процессора с последующим согласованием отдельных расписаний, получении серии приближенных решений по различным критериям и выборе из них наилучшего решения;

- разработан способ минимизации числа конфликтов, возникающих при межпроцессорном обмене в ПКС, основанный на преобразовании временной диаграммы обмена с учетом директивного срока обработки сообщений и степени загрузки процессоров, а также на организации синхронного запуска конвейера;

- разработан и исследован алгоритм синтеза многошинной структуры ПКС, основанный на группировании одновременных пересылок информации и рациональном распределении пересылок по общим шинам.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- предложена методика системного этапа проектирования ПКС, разработанная на основе доведенных до программной реализации алгоритмов планирования вычислений и синтеза структуры, а также параметрически настраиваемой имитационной модели ПКС. Методика позволяет спроектировать ПКС с заданными характеристиками и минимальной стоимостью и снизить общее время проектирования;

- получено выражение, позволяющее по соотношению между числовыми характеристиками входного потока сообщений и графа, предназначенной для решения задачи, оценить эффективность применения параллельно-конвейерной организации СВС.

Реализация и внедрение результатов работы. Диссертационная работа является составной частью научно-исследовательской работы, выполненной при участии автора на кафедре вычислительной техники ПИИ, по темам "Разработка и исследование многопроцессорного вычислительного комплекса на базе микроЭВМ для решения задач реального времени" /№ гос.рег. 01.85.0011916/ и "Разработка архитектуры и программы управления периферийными устройствами вычислительного комплекса на базе микроЭВМ" /№ гос.рег. 01.86.0035601/. Результаты диссертационной работы использовались при проектировании вычислительных систем на промышленном предприятии, что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: совместном заседании Советского национального комитета и Центрально-Поволжской территориальной группы

по участию в деятельности международной ассоциации по математическому и машинному моделированию "Математическое и машинное моделирование", г.Воронеж, 1986г.; расширенном заседании Центрально-Поволжской территориальной группы Советского национального комитета международной ассоциации по математическому и машинному моделированию "Математическое и машинное моделирование систем управления и обработки информации", г.Горький, 1987г.; III Всесоюзной конференции "Перспективы и опыт внедрения статистических методов в АСУ ТП", г.Тула, 1987г.; зональных семинарах "Микропроцессоры в системах контроля и управления", г.Пенза, 1985 — 1987гг.; XXXII и XXXIII научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ППИ, г.Пенза, 1985-1986 гг.

Публикации. Результаты выполненных исследований опубликованы в восьми печатных работах и отражены в отчетах по НИР.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы, включающего 106 наименований, приложения и содержит 149 страниц основного текста, 74 рисунка, 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность проводимых исследований, сформулированы цель и задачи работы, изложены основные научные и практические результаты, выносимые на защиту.

В первой главе выделяется класс задач, связанных с обработкой НПС в реальном масштабе времени, и исследуются особенности организации ВС обработки НПС. К числу указанных задач относятся:

- управление технологическими процессами и объектами;
- обработка телеметрической информации;
- цифровая обработка сигналов;
- обработка изображений.

Известны два основных способа организации ВС обработки НПС:

- многоканальная организация;
- многостадийная /конвейерная/ организация.

Проведенный анализ показал, что класс многостадийных систем является наименее изученным и наиболее перспективным в плане минимизации затрат оборудования для построения ВС, что особенно важно при создании специализированных систем, требующих минимизации габаритов с целью приближения обработки к месту образования информации.

Возможны следующие пути реализации многостадийной ВС:

- построение макроконвейерной системы в соответствии с принципами, разработанными в Институте кибернетики им. В.М.Глушкова;
- построение машины потоков данных и потоков запросов;
- построение ВС в виде сети процессорных модулей с традиционной архитектурой, управляемых потоками данных.

В случае специализированного применения ВС /для решения ограниченного набора задач или даже одной трудоемкой задачи/ наиболее простыми и эффективными в реализации являются ВС последнего класса, которые становятся параллельно-конвейерными системами при обработке НПС при соотношении $\tau_c < T_{\text{пз}}$, где τ_c - среднее значение периода поступления входных сообщений; $T_{\text{пз}}$ - время обработки одного сообщения. Основными чертами ПКС являются:

- одновременная обработка на различных стадиях множества входных сообщений;
- распределенное управление потоками данных при отсутствии глобального управления;
- асинхронный обмен данными в виде сообщений через блоки обмена;
- простота синхронизации процессов и протоколов обмена.

Рассмотрены способы приведения программ к виду, удобному для параллельно-конвейерной реализации.

Проведенное исследование показало, что не существует эффективных методов планирования параллельно-конвейерных вычислений в реальном масштабе времени. Планирование работы параллельных ВС обычно сводится к обеспечению требуемой степени параллелизма вычислений. В ПКС помимо этого требуется расчленение процесса вычислений на ряд последовательных стадий с ограниченной трудоемкостью и реализация различных стадий на отдельных процессорах. Кроме того, ПКС является системой массового обслуживания /СМО/ с очередями, поэтому в процессе составления расписания необходимо учитывать время пребывания сообщений в очередях на обработку при выборе очередного готового к исполнению функционального оператора /ФО/ для назначения его на процессор, а также при подсчете оценок стоимости частичных и полных решений. Известные методы планирования конвейерных и потоковых вычислений также не учитывают специфики работы ПКС. Методы планирования конвейерных вычислений не допускают возможности работы конвейера в принудительном

темпе поступления входных сообщений. При планировании работы потоковых ВС не учитывается многостадийный характер вычислительного процесса.

С другой стороны, реализация различных стадий вычислений в ПКС на отдельных процессорах приводит к увеличению общей интенсивности межпроцессорного обмена /МЮ/. В связи с этим необходима оптимизация структуры ПКС, направленная на снижение затрат оборудования и числа конфликтов, возникающих при обмене, при обеспечении требуемых показателей времени реакции и пропускной способности ПКС.

В результате анализа вопросов, связанных с организацией вычислений и МЮ в ПКС, были сформулированы основные задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке метода и алгоритмов планирования вычислений в ПКС без учета и с учетом времени МЮ при периодическом и непериодическом входном потоке сообщений.

Исследована динамика функционирования ПКС при периодическом входном потоке. Показано, что при прохождении сообщений в ПКС возникает задержки трех типов:

- задержки t_{3c} , связанные с синхронизацией параллельных ФО, назначенных на различные процессоры, увеличивающие время простоя процессоров;

- задержки $t_{3л}$, связанные с последовательным выполнением параллельных ФО, назначенных на один процессор, определяемые расписанием;

- задержки $t_{3к}$, связанные с конвейеризацией обработки последовательно поступающих сообщений.

Особенность планирования вычислений в ПКС заключается в необходимости учета задержек $t_{3к}$ при распределении ФО по процессорам и построении расписания их выполнения. Получено выражение, позволяющее оценить величину $t_{3к}$ в каждом цикле процессоров по обработке одного сообщения. Показано, что для обеспечения установившегося режима работы ПКС и рациональной загрузки процессоров необходимо производить назначение ФО на процессоры таким образом, чтобы для каждого процессора P_j , $j = \overline{1, L}$, выполнялось условие:

$$\sum_{i=1}^{m_j} \tau_i \leq \tau_c,$$

где τ_c - период поступления входных сообщений; τ_i - время вы-

полнения Φ_0 a_i , назначенного на процессор P_j ; m_j - число Φ_0 , назначенных на процессор P_j .

Величина общей задержки t_{zk} растет с увеличением номера входного сообщения до тех пор, пока ПКС не войдет в установившийся режим работы. Условием существования установившегося режима является такое взаимное упорядочение времен выполнения Φ_0 , при котором длительность цикла каждого процессора не превышает значения T_c . Введено понятие числа стабилизации конвейера ε , определяющего номер входного сообщения, начиная с обработки которого ПКС работает в установившемся режиме. Для обеспечения конечного значения ε введены следующие правила объединения Φ_0 :

1/ на один процессор может быть назначено множество Φ_0 , образующих в графе задачи непрерывные цепочки; при этом один Φ_0 может входить сразу в несколько цепочек; число цепочек Φ_0 , назначенных на один процессор, может быть неограниченным /в предельном случае отдельный Φ_0 может считаться цепочкой единичной длины/;

2/ на один процессор не может быть назначена непрерывная цепочка Φ_0 $a_1, \dots, a_i$, если имеется более длинный путь из a_1 в a_i , проходящий через вершину a_k , назначенную на другой процессор.

Разработаны правила определения времени решения задачи в ПКС в установившемся режиме работы, включающие введение условных отношений предшествования Φ_0 , определяемых расписанием и цикличностью работы процессоров, установление очередности вершин при подсчете времен их выполнения и проверку длительностей циклов процессоров.

Следствием наличия задержек t_{zk} является то, что при составлении расписания становятся нечеткими критерии выбора для назначения на процессор очередного готового к исполнению Φ_0 . Становится целесообразной организация рекурсивной процедуры построения расписания, предполагающей составление приближенного расписания с последующим многократным его уточнением. С другой стороны, ограничения на способы объединения Φ_0 требуют первоначального распределения Φ_0 по процессорам с последующим построением расписания.

Задача планирования вычислений в ПКС при периодическом входном потоке сообщений поставлена следующим образом: составить расписание выполнения Φ_0 по критерию минимума необходимого числа процессоров и информационного обмена между ними при условии, что

время обработки каждого сообщения не превышает заданный директивный срок и не происходит потерь сообщений.

Пусть задача, предназначенная для решения в ПКС, представлена ациклическим графом $H(A, \bar{B})$, каждая вершина a_i , $i = \overline{1, m}$, которого имеет временной вес τ_i , заданный детерминированно, а каждая дуга $\bar{b}_{ij}$ - условный вес $c_{ij} = 1$. Тогда более строго задачу планирования сформулируем следующим образом: произвести разбиение графа $H(A, \bar{B})$ на минимальное число n подграфов A_i , $i = \overline{1, n}$, и произвести линейное упорядочение вершин в каждом подграфе. При этом должны выполняться условия:

$$A = \bigcup_{i=1}^n A_i ; \quad A_i \cap A_j = \emptyset, \quad i \neq j ;$$

$$\sum_{a_i \in A_j} \tau_i \leq \tau_c, \quad j = \overline{1, n} ;$$

$$\sum_{p=1}^{n-1} \sum_{q=p+1}^n \sum_{\substack{a_i \in A_p \\ a_j \in A_q \\ p \neq q}} c_{ij} \rightarrow \min ;$$

$$T_{a_i}^{(\varepsilon)} \leq \bar{\tau}_i(T_d), \quad i = \overline{1, m},$$

где $T_{a_i}^{(\varepsilon)}$ - относительное время окончания выполнения ФО a_i по обработке сообщения с номером ε ; $\bar{\tau}_i(T_d)$ - директивный срок выполнения ФО a_i ; причем значения $T_{a_i}^{(\varepsilon)}$ и $\bar{\tau}_i(T_d)$ рассматриваются как числовые величины, соответствующие вершинам графа, и определяются с учетом разбиения графа и линейного порядка вершин.

Разработанный метод решения данной задачи основан на выполнении следующих шагов.

1. Для каждой вершины a_i , $i = \overline{1, m}$, определяем подмножество E_i совместимых с ней вершин с учетом максимально допустимой величины задержки $t_{\text{зи}}$.

2. Формируем сочетания вершин в соответствии с правилами объединения ФО. Для этого генерируем множество вариантов упаковки каждой вершины a_i , $i = \overline{1, m}$, с вершинами из множества E_i , которые предварительно специальным образом нумеруются, в контейнеры емкостью τ_c .

3. Упорядочиваем вершины в каждом отдельном сочетании по критерию минимума максимального превышения директивных сроков. Исключаем из числа сгенерированных перестановки, включающие вершины с нарушенным директивным сроком.

4. Находим минимальное число перестановок, покрывающих все

вершины графа. Вершины a_i , $i = \overline{1, m}$, интерпретируем как множества A_i , $i = \overline{1, m}$, а перестановки вершин — как элементы соответствующих множеств и решаем задачу поиска системы различных представителей /СРП/. При этом одна перестановка $P(C_e) = \{a_i, a_j, a_k\}$ может одновременно являться представителем различных множеств

A_i , A_j , A_k . Множества для назначения им представителей выбираются по неубыванию их мощности. Представители выбираются по критерию максимума суммарного веса вершин, входящих в перестановку, а при равенстве веса — по максимуму числа поглощаемых перестановкой дуг графа /критерий 1/.

5. Делаем попытку улучшить найденное решение по числу поглощаемых всеми представителями СРП дуг графа. Для этого определяем величину суммарной недогрузки всех контейнеров δ . Далее находим СРП путем выбора представителей по критерию максимума числа поглощаемых перестановкой дуг при условии, что суммарный вес вершин перестановки не ниже величины $\max[a_i, (\tau_i - \delta_i)]$ /критерий 2/, где δ_i — текущее значение запаса недогрузки контейнеров. После выбора очередного представителя значение δ_i уменьшается на величину недогрузки соответствующего контейнера.

6. Определяем число стабилизации ε и проверяем соблюдение директивных сроков выполнения ФО с учетом условного отношения предшествования вершин, задаваемого найденной СРП. Если $\varepsilon \rightarrow \infty$, то найденное решение считается недействительным. Из числа сгенерированных удаляется перестановка, назначенная на процессор с чрезмерным временем цикла, и процесс поиска СРП повторяется. При нарушении директивного срока выполнения ФО a_k производим переупорядочение вершин в перестановках, содержащих вершины, расположенные на критическом пути до a_k . Для этого производим либо перемещение вершин критического пути в как можно более левую позицию перестановки, либо переупорядочение вершин с учетом реальных сроков выполнения ФО, входящих в другие перестановки. Коррекция перестановок представляет собой циклическую процедуру, осуществляющую последовательное уточнение расписания.

7. Получаем серию СРП путем принудительного изменения назначения первого представителя в каждой СРП и выбираем наилучшее решение задачи.

Разработаны алгоритмы выполнения каждого из перечисленных этапов планирования, представляющих собой относительно самостоятельные задачи, а также общий алгоритм планирования.

Особенности планирования вычислений в ПКС с учетом времени МПО заключаются в учете длительностей приема и передачи сообщений при упаковке ЭО, составлении расписания передачи сообщений от каждого ЭО и минимизации числа передач по критическому пути. Последнее достигается путем выбора представителей по следующим критериям:

- максимум числа поглощаемых перестановкой дуг, а при равенстве - минимум суммарного веса дуг /критерий 3/;
- минимум суммарного веса дуг в расчете на одну дугу перестановки, а при равенстве - максимум числа поглощаемых дуг /критерий 4/.

Предложен способ подсчета весов дуг, характеризующих длину соответствующего пути графа. При коррекции расписания вычислений уточняется также расписание МПО.

Задача планирования вычислений в ПКС при неперiodическом входном потоке сообщений поставлена следующим образом: составить расписание выполнения ЭО по критерию минимума необходимого числа процессоров и информационного обмена между ними при условии, что среднее время вычислений не превышает директивный срок и обеспечивается заданная вероятность потери сообщений. Задача решается в два этапа. На первом этапе определяется величина загрузки процессоров, обеспечивающая соблюдение директивного срока обработки сообщений, и составляется расписание вычислений. На втором этапе исходя из найденной величины загрузки и заданной вероятности потери сообщений определяется необходимый размер входного буфера. Предложенный подход позволяет использовать алгоритм планирования, разработанный для случая периодического потока.

В третьей главе разрабатывается метод синтеза адекватной решаемой задаче структуры ПКС, обеспечивающей бесконфликтный МПО и минимум затрат оборудования при ограничении на время обработки сообщений.

Предложена многошинная структурная организация ПКС, применение которой становится целесообразным ввиду повышенной интенсивности МПО в ПКС. Для реализации принципа асинхронного обмена сообщениями между микропроцессорными модулями /МММ/ в состав каждого МММ включаются блоки обмена /ЭО/, имеющие средства буферизации сообщений. При этом каждый ЭО имеет отдельные входы и выходы и может одновременно принимать сообщения по нескольким общим шинам /ОШ/ и передавать сообщение по одной из шин.

Цикличность протекающих в ПКС процессов делает удобным производить оптимизацию МПО по временной диаграмме работы системы, которая в данном случае является сходной с диаграммой Ганта и таблицей занятости, используемой для оптимизации загрузки конвейеров арифметических операций.

Разработан способ построения временной диаграммы, основанный на подсчете времен начала и окончания выполнения ФО, а также операторов приема и передачи сообщений и выделении в диаграмме повторяющегося фрагмента, который соответствует установившемуся режиму работы ПКС и полностью отражает общесистемное расписание вычислений и МПО. На основании данного фрагмента строится диаграмма МПО *SIOS*, включающая только операторы передачи сообщений. При этом i -я строка диаграммы *SIOS* интерпретируется как процессорное расписание передачи сообщений $SIOP_i$, задающее множество операторов передачи от процессора P_i , а также порядок и время их выполнения.

Ставится задача определения минимально необходимого числа ОШ и рационального распределения конфликтующих пересылок информации /операторов передачи, находящихся в одном столбце диаграммы *SIOS* / по различным шинам, при котором число межпроцессорных связей /число точек подключения БО МПМ к ОШ/ минимально. В случае периодического входного потока задача решается в три этапа.

На первом этапе осуществляется преобразование диаграммы *SIOS* с целью снижения максимального числа f_{k_1} элементов в одном столбце диаграммы, определяющего минимально необходимое число ОШ, позволяющее организовать бесконфликтный обмен. Преобразование диаграммы производится путем задержки определенных пересылок с учетом директивного срока обработки сообщений и величины загрузки процессоров.

На втором этапе осуществляется минимизация числа точек подключения выходов БО МПМ к ОШ путем нахождения в диаграмме *SIOS* подмножества пересылок минимальной мощности, перераспределение которых между строками диаграммы *SIOS* приводит к снижению хроматического числа графа несовместимости процессорных расписаний обмена $G(X, Y)$ до значения f_{k_1} . Перераспределение пересылок позволяет обеспечить бесконфликтный обмен по f_{k_1} шинам при назначении на одну шину целых строк диаграммы *SIOS*. На данном этапе решаются задачи поиска максимальной клики и снижения ее мощности, поиска и замыкания нечетных циклов в графе $G(X, Y)$

с использованием соответствующих формальных методов в сочетании с содержательными методами. Разработаны алгоритмы решения указанных задач.

На третьем этапе производится минимизация числа точек подключения входов БО МПМ.к ОШ путем такого назначения строк диаграммы SIOS на шины, при котором суммарное число ОШ, по которым осуществляются передачи сообщений для каждого процессора, минимально. Формально данная задача сводится к задаче линейного программирования с двоичными переменными, учитывающими несовместимость различных строк диаграммы SIOS на одной шине, и решается методом синхронной раскраски графа $G(x, y)$ и графа взаимосвязи процессоров. Разработан алгоритм последовательной раскраски данных графов. Результатом раскраски является оптимизированная схема коммутации процессоров.

С целью предотвращения искажения диаграммы обмена при непериодическом входном потоке сообщений разработан способ синхронного запуска конвейера в фиксированные моменты времени. Такой способ основан на определении максимальной длительности цикла процессоров $\mathcal{U}$ с учетом директивного срока обработки сообщений и преобразовании входного потока в эквивалентный поток с интервалами времени между соседними сообщениями, кратными значению $\mathcal{U}$. При синхронном запуске конвейера из диаграммы SIOS могут выпадать некоторые фрагменты, соответствующие обработке одного или нескольких сообщений, однако искажения диаграммы при этом не происходит, что позволяет использовать аппарат оптимизации обмена, разработанный для случая периодического потока.

В четвертой главе проводится исследование предложенных способов организации ПКС, а также разработанных алгоритмов планирования вычислений и синтеза структуры. Указанные алгоритмы доведены до программной реализации и апробированы на множестве сгенерированных случайным образом графов задач. При этом случайные характеристики графов варьировались в заданных пределах.

Исследованы вопросы точности и трудоемкости алгоритмов, а также зависимость времени обработки сообщений в ПКС от отношения $\bar{\tau}_i / \bar{\tau}_z$; где $\bar{\tau}_i$ - средний вес одной вершины графа $H(A, B)$;

$\bar{\tau}_z$ - среднее время передачи сообщения. Установлено, что разработанные правила объединения БО и коррекции СРП обеспечивают конечное значение ε в 100% случаев. При игнорировании данных правил в подавляющем большинстве случаев $\varepsilon \rightarrow \infty$. Алгоритм коррекции

расписания позволяет за 2-3 итерации снизить время обработки сообщений в среднем на 5%.

Показана целесообразность комплексного использования различных критериев выбора перестановок в процессе поиска СРП /критерии 1...4/, так как такой подход позволяет эффективно находить близкие к оптимальным решения в широком диапазоне изменения входных параметров задачи. В частности, при небольшом числе вершин в графе $H(A,B)$ и небольшой их связности эффективнее критерий 1; при большой связности вершин эффективнее критерии 2,3,4. При этом критерий 2 позволяет улучшить решение по числу поглощаемых всеми перестановками СРП дуг графа. Использование критериев 3 и 4 наиболее целесообразно при большом числе вершин в графе и более жестких ограничениях на время обработки сообщений. Критерий 4 в среднем обеспечивает наименьшее время обработки сообщений при наибольшем числе процессоров.

Установлено, что существует соотношение между числом вершин и дуг в графе $H(A,B)$, средними значениями периода поступления входных сообщений, веса одной вершины и времени передачи сообщения, при котором целесообразно применение параллельно-конвейерной организации ВС /т.е. число процессоров в ВС меньше, чем при многоканальной организации/. Получено выражение, позволяющее определить значение численного критерия эффективности ПКС K_3 . Показано, что параллельно-конвейерная организация эффективна при $K_3 > 12$.

Многократная проверка алгоритмов показала:

- параллельно-конвейерная организация ВС по сравнению с многоканальной организацией позволяет снизить необходимое число процессоров в среднем на 10%;
- разработанный алгоритм синтеза многошинной структуры ПКС позволяет снизить число точек подключения БО МПМ к ОШ по сравнению с полностью связанной коммутацией процессоров в среднем на 53%.

Разработана параметрически настраиваемая имитационная модель ПКС, основными чертами которой являются универсальность, управляемость, модульность, наращиваемость. С помощью данной модели, в частности, установлено, что синтез структуры ПКС, основанный на назначении отдельных пересылок информации на ОШ с учетом диаграммы обмена целесообразен не только при постоянных значениях весов вершин τ_i и времен обмена τ_z , но и при отклонениях указанных величин от средних значений в пределах, соответственно, $\Delta \tau$ и Δz

/исследовано равномерное распределение величин τ_i и τ_z /. При этом значения ΔT и ΔZ , зависящие от величины загрузки ОШ, могут достигать $\pm 40\%$. Применение способа синхронного запуска конвейера при детерминированных и недетерминированных значениях τ_i и τ_z позволяет уменьшить длину очереди сообщений на входе ПКС, число конфликтов на ОШ и величину среднеквадратического отклонения времени пребывания сообщений в системе при незначительном увеличении объема оборудования.

Разработана методика системного этапа проектирования ПКС, определяющая способ использования разработанных программных средств при проектировании реальных систем. Методика включает:

- проверку целесообразности применения параллельно-конвейерной организации ВС;
- определение максимально допустимой длительности цикла процессоров ν и выбор способа запуска конвейера;
- распределение и планирование вычислений;
- определение минимально необходимого числа ОШ N_b ;
- синтез схемы межпроцессорных соединений;
- уточнение значений ν и N_b ;
- определение необходимых размеров входных буферов.

В заключении изложены основные научные и практические результаты диссертационной работы.

В приложении представлен пример распечатки результатов выполнения программы **GRAF2**, реализующей алгоритмы планирования вычислений с учетом времени МПО и синтеза структуры ПКС, приведены акты о внедрении результатов диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Исследована динамика работы ПКС, на основании чего разработаны принципы распределения функциональных операторов по процессорам и построения расписания их выполнения.

2. Разработаны алгоритмы планирования вычислений в ПКС при периодическом входном потоке сообщений без учета и с учетом времени межпроцессорного обмена по критерию минимума числа процессоров и межпроцессорных обменных взаимодействий при условии, что время вычислений не превышает заданный директивный срок и не происходит потерь сообщений.

3. Разработан алгоритм планирования вычислений в ПКС при

непериодическом входном потоке сообщений по критерию минимума числа процессоров и межпроцессорных обменов при условии, что среднее время вычислений не превышает директивный срок и обеспечивается заданная вероятность потери сообщений.

4. Разработан способ минимизации числа конфликтов, возникающих при межпроцессорном обмене в ПКС при периодическом входном потоке сообщений, основанный на преобразовании временной диаграммы обмена.

5. Разработан способ синхронного запуска конвейера, позволяющий минимизировать число конфликтов при непериодическом входном потоке и уменьшить величину среднеквадратического отклонения времени пребывания сообщений в системе.

6. Разработан алгоритм синтеза адекватной решаемой задаче структуры ПКС, минимизирующий число межпроцессорных связей при заданных ограничениях на время обработки сообщений.

7. Разработанные алгоритмы запрограммированы на алгоритмическом языке и всесторонне исследованы на множестве сгенерированных случайным образом графов задач, что доказывает их корректность и пригодность для практического применения. Экспериментально получены количественные оценки эффективности предложенных методов планирования вычислений и синтеза структуры.

8. Разработана методика системного этапа проектирования ПКС, позволяющая спроектировать ПКС с заданными характеристиками и минимальной стоимостью и снизить общее время проектирования.

9. Получено выражение, позволяющее по соотношению между числовыми характеристиками входного потока и графа предназначенной для решения задачи оценить эффективность применения параллельно-конвейерной организации СВС.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Валькевич Н.П., Никишин А.В., Шашков Б.Д. Составление расписания межпроцессорного обмена в системах с общей шиной // Вычислительная техника в автоматизированных системах контроля и управления: Межвуз. сб. науч. тр. - Пенза, 1987. - Вып. I7. - С.4-9.

2. Никишин А.В. Расчет динамических характеристик мультипроцессорных систем реального времени // Вычислительная техника в автоматизированных системах контроля и управления: Межвуз. сб. науч. тр. - Пенза, 1986. - Вып. I6. - С.6-II.

3. Никишин А.В. Вопросы проектирования специализированных параллельно-конвейерных мультимикропроцессорных систем / Пенз. политехн.ин-т. - Пенза, 1987. - 51 с. - Деп. в ВИНТИ 17.06.87, № 4371-В87.

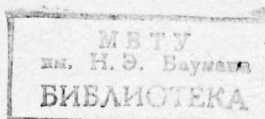
4. Никишин А.В. Оптимизация системы межпроцессорного обмена в специализированных параллельно-конвейерных мультимикропроцессорных системах / Пенз.политехн.ин-т. - Пенза, 1987. - 49 с. - Деп. в ВИНТИ 17.06.87, № 4372-В87.

5. Никишин А.В. Методика проектирования мультимикропроцессорных систем для АСУ ТП // Перспективы и опыт внедрения статистических методов в АСУ ТП: Тез.докл. III Всесоюз.конф. /Тула, 2-4 июня 1987г./ - Тула, 1987. - Ч.2. - С.110-111.

6. Никишин А.В., Шапков Б.Д. Организация межпроцессорного обмена в мультимикропроцессорных системах реального времени// Микропроцессоры в системах контроля и управления: Тез.докл.зональн.семинара /Пенза, 15-16 сент.,1986г./ - Пенза, 1986. - С.62-63.

7. Шапков Б.Д.,Никишин А.В. Управляемая модель мультимикропроцессорной вычислительной системы // Микропроцессоры в системах контроля и управления: Тез.докл.зональн.семинара /Пенза, 17-18 сент., 1987г./ - Пенза, 1987. - С.66-67.

Никишин



Никишин Александр Васильевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ
ВЫЧИСЛЕНИЙ И СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ПАРАЛЛЕЛЬНО-КОНВЕЙЕРНЫХ СИСТЕМ
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Специальность 05.13.13 — Вычислительные машины,
комплексы, системы и сети

Технический редактор *В. Н. Спирочкина*

Корректор *Н. А. Вьялкова*

Ф.152011. Подписано в печать 25.10.88. Сдано в производство 26.10.88.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная № 2. Печать офсетная.

Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100. Заказ № 589. Бесплатно.

Редакционно-издательский отдел ППИ. Пенза, Красная, 40.

