

УДК 681.31.323

АНАЛИЗ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ОДНОРОДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.В. Корнеев

Рассматриваются различные путевые процедуры на сетях связи однородных вычислительных систем (ОВС). Особое внимание уделено децентрализованным путевым процедурам, как перспективным для построения живучих ОВС. Приводятся результаты моделирования децентрализованных путевых процедур.

§ 1. Сети связи однородных вычислительных систем

1.1. Однородные вычислительные системы представляют собой совокупность элементарных машин (ЭМ), объединенных программно управляемой сетью передачи данных. Межмашинные взаимодействия — обобщенный условный переход и информационный обмен [1] — сводятся к обмену специфичными данными, причем их специфика задается как видом взаимодействия, так и способом его реализации. При аппаратной реализации обмена специфика данных зафиксирована структурой ЭМ. Аппаратно-программная реализация предусматривает задание специфики в самих данных и, следовательно, допускает множество интерпретаций данных, принятых в результате недифференцированного межмашинного обмена.

Основными характеристиками сетей связи являются топология и алгоритмы функционирования, включающие метод организации сети и алгоритм прокладки пути. Сети передачи данных ОВС имеют вполне определенную топологию: граф связи представляет оптимальную КАИС-структуру [2] для заданного числа ЭМ и заданной размерности ОВС; пропускные способности каналов связи между всеми ЭМ равны.

В настоящей статье будут рассмотрены вопросы, связанные с выбором алгоритмов прокладки путей на сетях передачи данных ОВС.

1.2. Режимы использования ОВС предполагают возможность организации нескольких одновременных системных взаимодействий, то есть выполнения в один и тот же момент времени несколькими ЭМ операций обмена и обобщенного условного перехода. Системное взаимодействие имеет вид $\alpha \langle \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k \rangle \gamma$, где α — вид взаимодействия, β_i — адреса* ЭМ, участвующих во взаимодействии, а γ — данные, которыми обмениваются между собой ЭМ. Множество взаимодействующих ЭМ разбивается на ведущую ЭМ β_0 — иницирующую взаимодействие, и ведомые ЭМ $\beta_1, \dots, \beta_k$ — участвующие во взаимодействии. Так как различные взаимодействия не могут одновременно осуществляться на одном и том же оборудовании, то необходимо определить [1] в каждой ЭМ ОВС матрицу соединений $C = \{c_{ij}\}$ так, чтобы обеспечить непересекаемость различных взаимодействий. Элемент матрицы $c_{ij} = 1$, если внутри ЭМ канала** i связан с каналом j , и $c_{ij} = 0$, если такая связь отсутствует. Реализация ОВС, а именно, структура коммутаторов, задает ограничения на вид матрицы соединений. Граф, связывающий взаимодействующие машины, будем называть коммутацией. В зависимости от ситуации в системе и ограничений, накладываемых на C , для одних и тех же подмножеств взаимодействующих машин возможны различные реализации коммутаций, отличающиеся друг от друга числом и расположением транзитных машин. Определение коммутаций является функцией путевого алгоритма.

В сетях с коммутацией каналов путевая процедура обеспечивает построение канала связи, позволяющего осуществлять обмен данными (может быть аппаратный) между ведущей и ведомыми ЭМ. В сетях с коммутацией сообщений путевая процедура задает маршруты передачи сообщений от ведущей ЭМ к ведомым. Как в том, так

* В дальнейшем будем считать, что каждая ЭМ имеет физический номер, присвоенный ей при включении в ОВС, и адрес, который можно программно изменять. Будем полагать, что адресация машин задается функцией перенумерации, которая имеет область определения множество номеров машин, а область значений адреса — идентификаторы машин.

** Каждому направлению передачи информации из ЭМ приписан некоторый номер $\rho \in \{0, n-1\}$, где n — число связей у ЭМ.

и в других случаях цель путевой процедуры — выбор на основании адресов машин направлений передачи информации в каждой из участвующих в взаимодействии ЭМ. Поэтому далее мы будем говорить лишь о выборе матрицы соединений посредством путевой процедуры, не различая методов организации сети.

Все многообразие путевых процедур можно свести к следующим трем типам: централизованному, децентрализованному и смешанному. При централизованной путевой процедуре на основании адресов, указанных во взаимодействии $\alpha < \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k > \Gamma$, производится расчет каким-либо методом требуемой коммутации. Таким образом, вид коммутации определяется до начала реализации. Если в процессе построения данной коммутации выяснится невозможность её осуществления, то производится перерасчет коммутации или же задержка её исполнения.

Децентрализованные путевые процедуры предполагают определение матрицы соединений в процессе построения требуемой коммутации. Элементарные машины ОВС на основании собственного состояния и состояния соседних ЭМ определяют свое участие в межмашинных взаимодействиях. Алгоритм поведения ЭМ должен быть таким, чтобы, во-первых, каждое межмашинное взаимодействие было реализуемо, во-вторых, получаемые коммутации были близки к оптимальным, например, рассчитанным методами математического программирования.

Смешанные путевые процедуры, как и централизованные, производят предварительный расчет коммутации, но в отличие от них, при невозможности осуществления требуемой коммутации, обнаружившая это ЭМ, производит перерасчет коммутации с учетом уже построенных путей, а также условий, препятствующих реализации рассчитанной ранее коммутации.

1.3. Централизованная путевая процедура предполагает решение следующей задачи. Даны граф (структура ОВС, существующая в данный момент времени) и некоторое множество $\mathcal{K} = \{\mathcal{T}_i / i = 1, e\}$ подмножеств его вершин: $\mathcal{T}_i \cap \mathcal{T}_j = \emptyset$, $\mathcal{T}_i \neq \emptyset$, $i \neq j \in 1, e$. Подмножество $\mathcal{T}_i$ порождает множество G_i минимальных компонент I-связности [3], включающих все вершины, входящие в $\mathcal{T}_i$. Удаление хотя бы одной вершины из компоненты связности G_i влечет образование компонент связности, ни одна из которых не принадлежит G_i . Нетрудно видеть, что элементы $\mathcal{T}_i$ есть адре-

са взаимодействующих ЭМ, а G_i является множеством различных коммутаций, реализующих указанное взаимодействие.

Рассмотрим множество всех возможных объединений $G_{i_1 j_1} \cup G_{i_2 j_2} \cup \dots \cup G_{i_r j_r}$, $i_1 + i_2 + \dots + i_r \in 1, e$; $G_{i_k j_k} \in G_{i_k}$. Назовем допустимыми те из них, которые удовлетворяют некоторому условию, вытекающему из ограничений на матрицу C . Объединение компонент связности будет максимальным, если оно допустимо, а попытка включить в него еще одну компоненту связности приводит к получению недопустимого объединения. Нашей задачей является выбор максимального объединения, доставляющего оптимум целевой функции, характеризующей эффективность ОВС. В качестве такой функции чаще всего выступают время осуществления всех взаимодействий либо функция штрафа за задержку. Точное решение поставленной задачи возможно методами математического программирования и является весьма трудоемким [4]. Поэтому рассмотрим некоторый эвристический алгоритм.

Будем включать в множество G_i минимальных компонент I-связности, только те I-компоненты связности, которые содержат наименьшее возможное число вершин. Данное число вершин будем называть рангом взаимодействия $\mathcal{T}_i$. Указанное эвристическое сокращение числа элементов G_i соответствует привлечению минимальных ресурсов для реализации взаимодействия $\mathcal{T}_i$. Для решения задачи могут быть использованы алгоритмы из [5] с той разницей, что при включении взаимодействия $\mathcal{T}_i$ в список реализуемых учитывается допустимость получающегося при этом объединения компонент связности.

Суть этих алгоритмов состоит в том, что на основании некоторых эвристик решается задача назначений. Например, множество коммутаций разбивается на непересекающиеся подмножества коммутаций, реализующихся за одно и то же время. Далее производится перестановка коммутаций из соседних подмножеств (с целью оптимизации загрузки ОВС). Характер указанных перестановок в общем и определяет алгоритм. Обычно применяется либо ограниченный каким-то образом перебор, либо случайный перебор с использованием цепей Монте-Карло.

Даже эвристический алгоритм выбора $C = \{c_{ij}\}$ требует для своей реализации существенного объема вычислений, поэтому в ОВС с централизованными путевыми процедурами разумно накладывать

ограничения на конфигурацию взаимодействий. Самым естественным из ограничений является требование компактности расположения взаимодействующих машин, то есть получение рангов взаимодействий, равных или близких числу взаимодействующих машин. Но это снижает эффективность функционирования ОВС, так как не дает возможности использовать свободные ЭМ, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга.

Другой путь уменьшения времени определения матриц соединений для взаимодействующих ЭМ состоит в задании этих матриц при написании программы. Но этот путь явно не эффективен для универсальных систем из-за того, что, во-первых, совокупность программ, реализующихся на ОВС, должна быть согласована, во-вторых, задача должна перепрограммироваться, если имеются отказы требуемых машин, в-третьих, программист должен знать структуру системы.

1.4. В процессе функционирования ОВС с децентрализованной путевой процедурой передача коммутационных сообщений осуществляется согласно принятой путевой процедуре и ситуации, имеющейся в ОВС. Мы ограничим наше рассмотрение локальными путевыми процедурами. Характерной их особенностью является то, что выбор направлений передачи коммутационных сообщений осуществляется на основании информации о состоянии соседних с передающей ЭМ. Все множество путевых процедур этого типа можно разбить на два класса: путевые процедуры с одновременным поиском путей и путевые процедуры с отдельным поиском путей.

1.4.1. Путевые процедуры с одновременным поиском путей ко всем ведомым ЭМ предполагают выделение у каждой ЭМ признака, по которому она адресуется и распознает данные, ей предназначенные. Важным достоинством путевых процедур с одновременным поиском путей ко всем взаимодействующим ЭМ является возможность адресации не только по адресу (номеру) ЭМ, но и по имени (идентификатору) процесса, под который занята данная ЭМ.

Суть рассматриваемой путевой процедуры состоит в том, что ведущая ЭМ передает данные с признаками принимающих машин по всем возможным направлениям. Каждая ЭМ, получив данные, определяет свое отношение к ним и либо принимает их и транслирует далее по всем возможным направлениям, либо только транслирует. Ведомые ЭМ, получив предназначенные им коммутационные сообщения, в случае организации сети передачи данных ОВС по методу

коммутации сообщений, формируют сообщение-квитанцию. Далее происходит передача этого служебного сообщения ведущей ЭМ с целью уведомления её о получении соответствующей ведомой ЭМ предназначенных ей данных. Межмашинное взаимодействие считается реализованным, если ведущая ЭМ получила сообщения-квитанции от всех ведомых ЭМ.

Если сеть передачи данных ОВС построена по методу коммутации каналов, то ведомая ЭМ, получив предназначенное ей коммутационное сообщение, переходит в состояние закрепления канала. Происходит последовательное закрепление за соответствующим взаимодействием каналов связи, по которым коммутационное сообщение пришло из ведущей ЭМ коммутации в ведомую. После прокладки каналов связи ко всем ведомым ЭМ происходит обмен данными между взаимодействующими машинами. Это завершает реализацию коммутации. Будем условно называть эту путевую процедуру "вспышка".

1.4.2. Рассмотрим такие путевые процедуры с отдельным поиском путей к ЭМ, которые обеспечивают построение кратчайшего пути заданного вида между взаимодействующими ЭМ. Каждому направлению передачи данных из ЭМ в соседние припишем приоритет тем больший, чем короче путь из данной ЭМ в одну из ЭМ-адресатов при использовании данного направления. Выбрав приоритетную соседнюю ЭМ, пересылаем в нее коммутационное сообщение. Если выбранная ЭМ не является ведомой, то она начинает поиск соседней с ней ЭМ, лежащей на кратчайшем пути в одну из ведомых ЭМ коммутации. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнута ведомая ЭМ. Возможны две версии её дальнейшего поведения. В первой - ведомая ЭМ начинает закрепление канала, по которому в нее пришло сообщение из ведущей, или же, в случае сети с коммутацией сообщений, формирует сообщение-квитанцию. Ведущая ЭМ, получив это сообщение или уведомление о построении канала, посылает коммутационное сообщение, содержащее адреса ведомых, к которым не построены каналы связи или от которых не получены сообщения-квитанции. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет установлена связь со всеми ведомыми. Указанную путевую процедуру в дальнейшем будем называть "звезда".

Во второй версии алгоритма, после достижения коммутационным сообщением ведомой ЭМ, начинается поиск пути к следующей ведомой ЭМ и так далее. Когда найдена последняя ведомая ЭМ, в случае ОВС с коммутацией каналов, происходит инициация закрепления канала, начинающегося в ведущей ЭМ и последовательно связывающего все ведомые ЭМ. При коммутации сообщений по достижении последней ведомой ЭМ вырабатывается сообщение-квитанция. Эта путевая процедура в дальнейшем будет называться "линейка". Децентрализованные путевые процедуры представляют большой интерес в связи с тем, что они нечувствительны к отказам оборудования, обеспечивают локальное функционирование подсистем, не требуют трудоемких расчетов, легко могут быть реализованы аппаратно. Ниже будут приведены результаты исследования эффективности указанных децентрализованных процедур на сетях связи ОВС.

§ 2. Моделирование однородных вычислительных систем с децентрализованными путевыми процедурами

2.1. В общем случае на ОВС реализуется несколько различных заданий, делящих между собой ресурсы системы. Каждое задание представляет собой параллельную программу, характеризующуюся такими параметрами, как число ЭМ, занятых её выполнением, количество сегментов^{*)} программы у каждой ЭМ, распределение времен выполнения этих сегментов, распределение длин передаваемых между процессорами сообщений. При таком представлении функционирования ОВС каждая элементарная машина находится в следующих состояниях:

- 1) ЭМ не занята выполнением задания;
- 2) ЭМ устанавливает связь с целью передачи данных некоторой совокупности ЭМ;
- 3) ЭМ ожидает возможности передачи данных;
- 4) ЭМ ожидает данные;
- 5) ЭМ занята реализацией программного сегмента;
- 6) ЭМ передает данные;
- 7) ЭМ принимает данные.

^{*)} Под сегментом программы понимается совокупность её команд, заключенная между двумя последовательными (по времени выполнения) командами системных взаимодействий.

Так как нас интересуют характеристики сети передачи данных ОВС, мы не будем различать между собой состояния 1), 3), 4), 5). Признаком, по которому они объединяются, является неучастие ЭМ в реализации коммутаций. Указанное укрупненное состояние будем называть свободным. Такой выбор состояний ЭМ позволяет при моделировании характеризовать совокупность параллельных программ, реализующихся на ОВС, распределением интенсивности выхода ЭМ на системные взаимодействия и распределением длин передаваемых сообщений.

Это приводит к следующей модели ОВС. Дана сеть передачи данных ОВС с присущей ей путевой процедурой и методом построения. Задана интенсивность выхода ЭМ на системные взаимодействия, которые характеризуются, во-первых, адресом ведущей ЭМ, во-вторых, равновероятным выбором адресов ведомых ЭМ, в-третьих, длиной сообщения, которое передается из ведущей ЭМ в ведомые. Требуется получить количественные характеристики сетей передачи данных ОВС, сравнить между собой различные путевые процедуры, а также методы организации сетей передачи данных (коммутация каналов и коммутация сообщений).

Прежде чем переходить к описанию результатов моделирования, сделаем замечание. В качестве единицы времени в модели ОВС принято время осуществления одной из функций, реализующих системные взаимодействия (передача, закрепление канала, снятие канала при коммутации каналов или передача сообщения единичной длины при коммутации сообщений). При этом делается допущение о равенстве времен выполнения соответствующих функций.

2.2. Полученные при моделировании данные, описывающие функционирование ОВС в зависимости от метода построения сети связи, путевой процедуры, числа ЭМ, размерности ОВС, распределения длин передаваемых сообщений, интенсивности поступления требований на коммутации, можно условно разбить на две группы. К первой из них относятся результаты, характеризующие функционирование подсистем разных рангов. Эти данные в основном применимы к сетям связи, построенным по методу коммутации каналов. Но в силу того, что они отражают методику поиска путей между взаимодействующими ЭМ, их можно легко перенести на ОВС с коммутацией сообщений. Это позволяет понять процессы циркуляции сообщений в сетях передачи данных, реализованных по методу коммутации сообщений.

Ко второй группе относятся результаты экспериментов, характеризующие поведение всей ОВС в зависимости от вышеперечисленных параметров.

Хотя программы моделирования позволяют изучать системы различной размерности (например, до 512 ЭМ), однако из-за больших затрат времени, необходимых для получения представительной статистики, зависимости характеристик путевых процедур от числа ЭМ и размерности ОВС не исследовались. Все приведенные результаты в основном относятся к двумерной ОВС из 20 ЭМ.

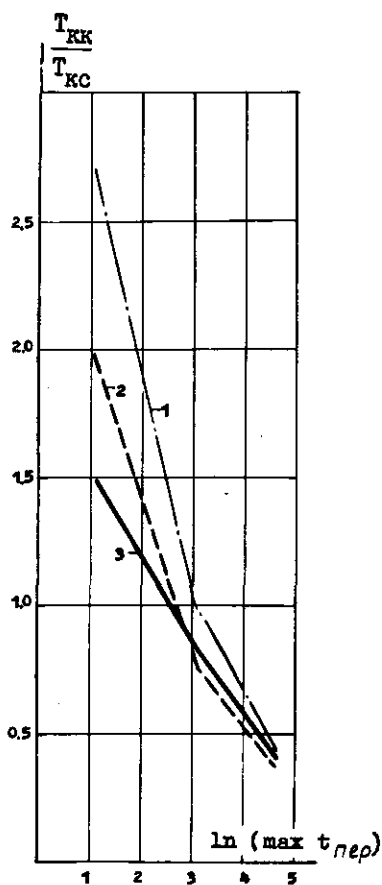


Рис. 1

2.2. Для сравнения методов коммутации каналов и коммутации сообщений реализовалась одна и та же случайная последовательность подсистем в ОВС. В качестве меры эффективности использовалось время реализации заданного числа подсистем, обозначаемое для сетей с коммутацией каналов через T_{KK} , а для сетей с коммутацией сообщений через T_{KC} . На рис. 1 приведен график зависимости отношения $\frac{T_{KK}}{T_{KC}}$ от длины передаваемых сообщений ($t_{пер}$) для двумерной ОВС из 20 ЭМ при различных путевых процедурах. Длина сообщений выбиралась равновероятно в интервале $[0 \div \max t_{пер}]$. Линии 1, 2, 3 соответствуют путевым процедурам "звезда", "линейка" и "вспышка", соответственно. Из графика видно, что метод коммутации сообщений более эффективен при $\max t_{пер} < 2.0$. Аналогичный результат получен для двумерной ОВС из 10 ЭМ, при $\max t_{пер} < 7$. Результаты экспериментов показывают, что для каждой сети связи

ОВС существует некоторое пороговое значение длины передаваемых сообщений, определяющее, по какому методу эффективнее построить данную сеть.

Естественно, что возможна сеть связи, которая организует передачу коротких сообщений по методу коммутации сообщений, а длинных — по методу коммутации каналов. Наиболее эффективными путевыми процедурами в предлагаемой комбинированной сети при работе в режиме коммутации сообщений следует признать "звезду" и "линейку", так как они обеспечивают максимальное значение $\frac{T_{KK}}{T_{KC}}$.

2.2.2. В процессе функционирования ОВС с коммутацией каналов каждая ЭМ может находиться в одном из трех состояний: передачи данных, установлении связи с целью передачи данных некоторой совокупности ЭМ и быть свободной.

Предметом экспериментов являлось измерение доли времени проводимой элементарной машиной ОВС в каждом из вышеперечисленных состояний в зависимости от интенсивности выхода ЭМ на системные взаимодействия (ρ), длин передаваемых сообщений, приоритета ЭМ в межмашинных взаимодействиях и путевых процедур. В дальнейшем будем обозначать через K_H , K_C доли времени, проведенные ЭМ соответственно в первом, во втором, и в третьем состояниях. Коэффициент K_H указывает на долю накладных расходов, связанную с поиском путей между взаимодействующими ЭМ и, таким образом, является существенным показателем эффективности путевой процедуры. Накладные расходы характеризуются также и K_H , так как он отражает неоптимальность строящихся путей. Наиболее эффективной будет путевая процедура, минимизирующая указанные коэффициенты и максимизирующая K_C .

Моделирование показало, что при всех путевых процедурах независимо от приоритетов ЭМ время, проведенное ЭМ в вышеуказанных состояниях, одинаково для соответствующих состояний. Это дает основание полагать, что функционирование каждой ЭМ описывается одним и тем же марковским процессом, в котором K_H , K_C и K_C являются финальными вероятностями состояний.

На рис. 2 и 3 приведены графики зависимостей K_H , K_C и K_C от интенсивности возникновения требований на коммутацию (ρ), длины передаваемых по сети связи сообщений и путевой процедуры для двумерной ОВС из 20 ЭМ. (Здесь и в дальнейшем линия — — —

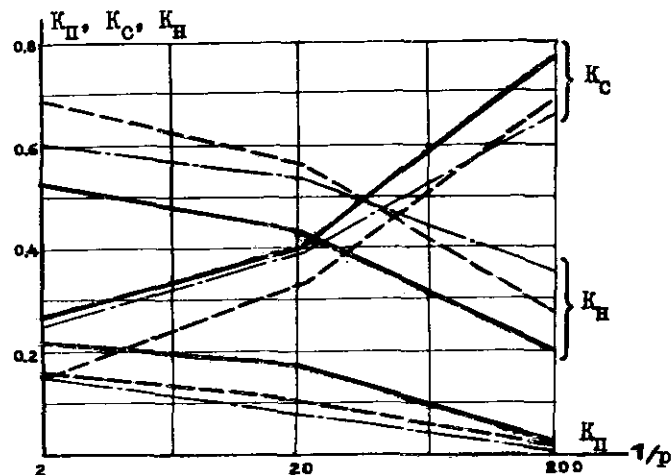


Рис. 2

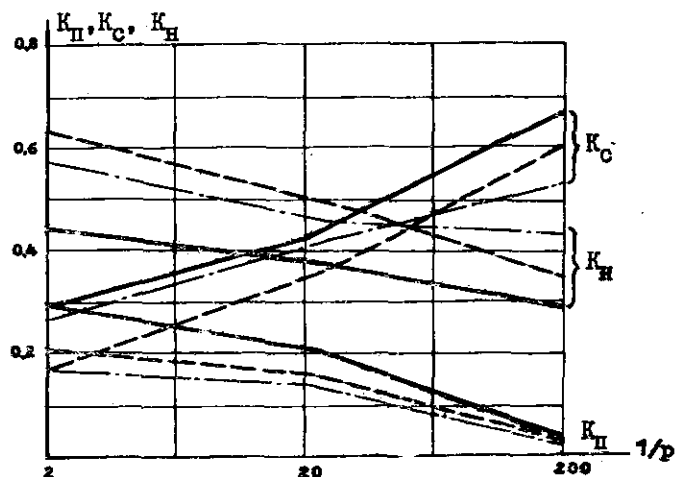


Рис. 3

соответствует путевой процедуре "звезда", — — — — "вспышка" и — — — — "линейка". На рис.2 изображены графики при длине сообщений, равновероятно выбираемой из промежутка $[1 + \max t_{пер}]$ при $\max t_{пер} = 3$; на рис.3 — при $\max t_{пер} = 24$. Путевая процедура "линейка" имеет наибольшее значение $K_П$, а "вспышка" — наименьшее для всех одинаковых значений интенсивностей требований на коммутации и длины сообщений. Минимум $K_Н$ обеспечивается путевой процедурой "линейка". Указанная зависимость $K_П$ и $K_Н$ от путевых процедур объясняется следующим образом.

Рассмотрим вид строящейся по каждой из путевых процедур системы маршрутов передачи сообщений между взаимодействующими ЭМ на одном частном примере. Соответствующие графики, показывающие распределение вероятностей P_z числа транзитных машин z в зависимости от ранга реализуемого взаимодействия приведены на рис.4,5,6 для путевых процедур соответственно "линейка", "звезда", "вспышка". Хотя они получены при фиксированных параметрах, суть явлений та же самая и при других значениях указанных параметров. А именно, путевые процедуры "вспышка" и "звезда" обеспечивают построение почти эквивалентных по числу транзитных ЭМ систем путей для каждого ранга взаимодействий. Коммутации, реализованные путевой процедурой "линейка", требуют большого числа транзитных ЭМ, чем подсистемы соответствующих рангов, построенные путевыми процедурами "вспышка" и "звезда". Так, для ОВС из 20 ЭМ наиболее вероятным является число транзитных ЭМ в пределах от двух до четырех. Отсюда очевидно, что $K_П$ при прочих равных условиях у "линейки" должен быть больше. Но эффективность путевых процедур определяется не только $K_П$, а также $K_Н$.

В этой связи рассмотрим графики зависимости вероятности нереализации за определенное время подсистемы заданного ранга от путевой процедуры при фиксированных значениях других параметров (тех же самых, что и на рис.4,5,6). Как видно из приведенных на рис.7 графиков, наилучшей путевой процедурой в смысле вероятности реализации подсистемы за заданное время является "линейка", а наихудшей — "вспышка". Это объясняется тем, что путевая процедура "вспышка" захватывает при реализации коммутации большее число ЭМ, тем самым препятствуя осуществлению нескольких одновременных подсистем.

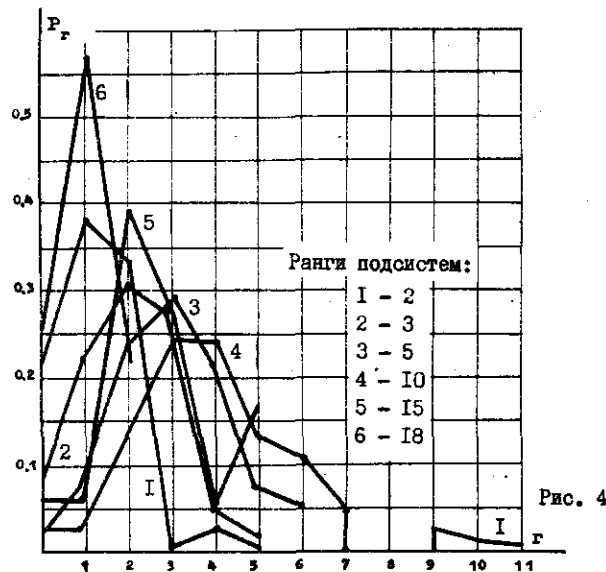


Рис. 4

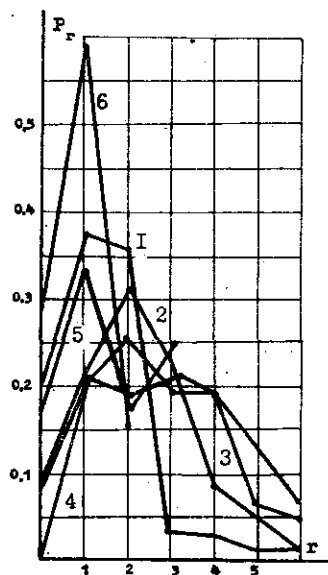


Рис. 5

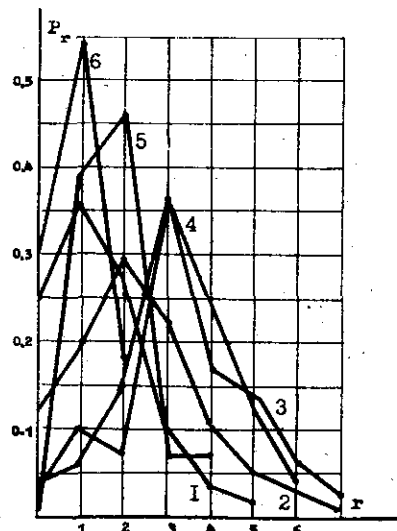


Рис. 6

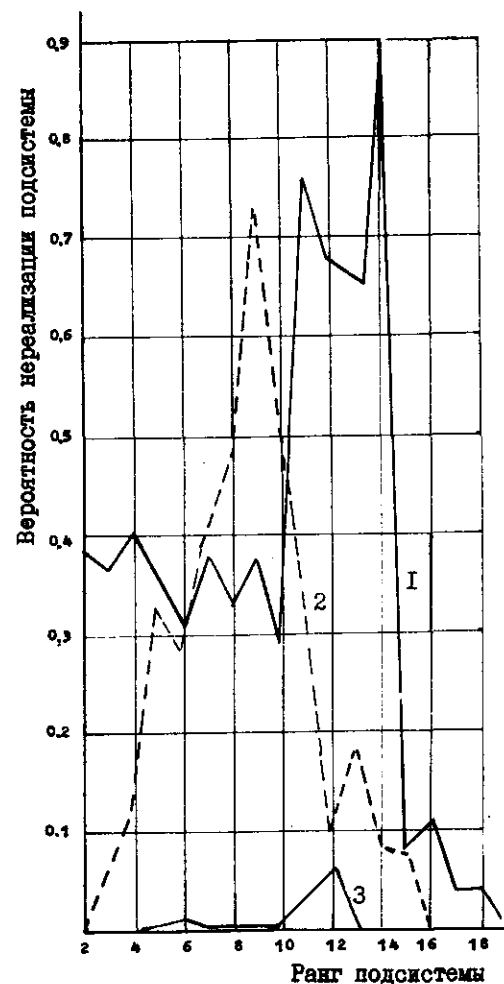


Рис. 7

путей, строящихся по процедуре "линейка", наименьшим образом влияют на другие одновременно существующие взаимодействия, предоставляя максимальные возможности друг другу. Не следует забывать, что графики рис. 7 получены при условии существования в ОВС нескольких одновременных коммутаций.

Таким образом, в рассматриваемой ОВС путевая процедура "линейка" является наилучшей в смысле доли времени, проводимой в состоянии настройки. Такой результат объясняется тем, что диаметр [2] структуры ОВС, для которой приведены графики, мал. Вследствие этого, по сравнению с путевой процедурой "звезда", получается выигрыш за счет уменьшения времени прохождения коммутационного сообщения по уже настроенным путям. При этом из-за малости диаметра неоптимальность строящегося пути менее заметна. Следует ожидать, что при увеличении диаметра структуры

ОВС произойдет увеличение доли состояния "установление связи" (K_H) при путевой процедуре "линейка" по сравнению со "звездой".

Отдельные эксперименты показывают, что качественно соотношения между путевыми процедурами меняются лишь, если число одновременно существующих коммутаций равно единице. В этом случае минимальное значение K_H обеспечивается путевой процедурой "вспышка".

Эксперименты показывают далее, что наиболее эффективной будет путевая процедура, совмещающая "вспышку" (для реализации коммутаций рангов, больших некоторого предельного) и "линейку" (для остальных). При этом необходимо, чтобы "вспышка" работала в условиях малого числа одновременных коммутаций, а "линейка" — при большом их числе. Ранг коммутации, определяющий выбор путевой процедуры, может быть подобран экспериментально.

2.2.3. В сетях связи ОВС, реализованных по методу коммутации сообщений, ЭМ может находиться в двух состояниях: ЭМ передает данные, ЭМ свободна. В связи с этим будем характеризовать функционирование каждой ЭМ долями K_H , K_C времени, проводимыми ею соответственно в первом и втором состояниях. Коэффициент K_H характеризует эффективность рассматриваемой процедуры. Чем меньше трансляций претерпевает сообщение (выданное ведущей ЭМ) до достижения всех ведомых ЭМ, тем меньше значение K_H . Следовательно, путевая процедура, доставляющая минимум K_H , является наиболее эффективной.

Эксперименты показали, что распределение приоритетов ЭМ не влияет на долю времени пребывания их в вышеуказанных состояниях. Это позволяет, как и в случае с коммутацией каналов, говорить о том, что функционирование всех ЭМ описывается одним и тем же марковским процессом с финальными вероятностями состояний K_H и K_C .

На рис. 8 и 9 приведены графики, отражающие зависимость K_H и K_C от путевых процедур и длин передаваемых сообщений. Они получены при тех же условиях, что и графики в 2.2.2. Характерно, что коммутация сообщений выявляет неоптимальность маршрутов передачи сообщений при путевой процедуре "линейка". Большое число транзитов делает ее менее эффективной по сравнению со "звездой". Существенное увеличение значения K_H при путевой процедуре "вспышка" по сравнению с предыдущими путевыми проце-

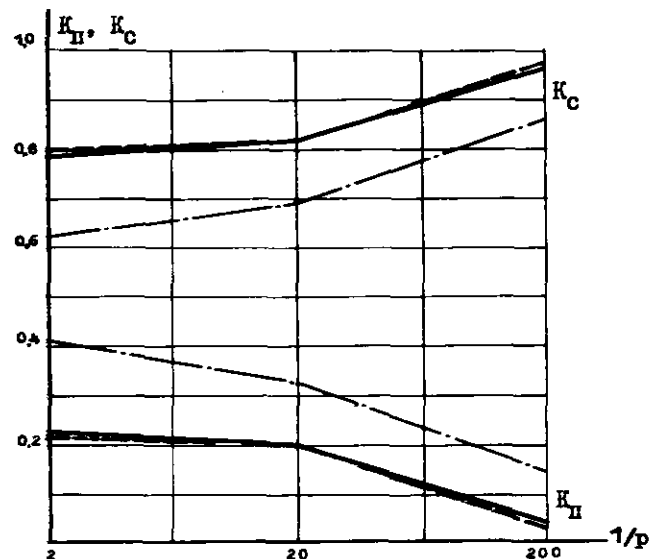


Рис. 8

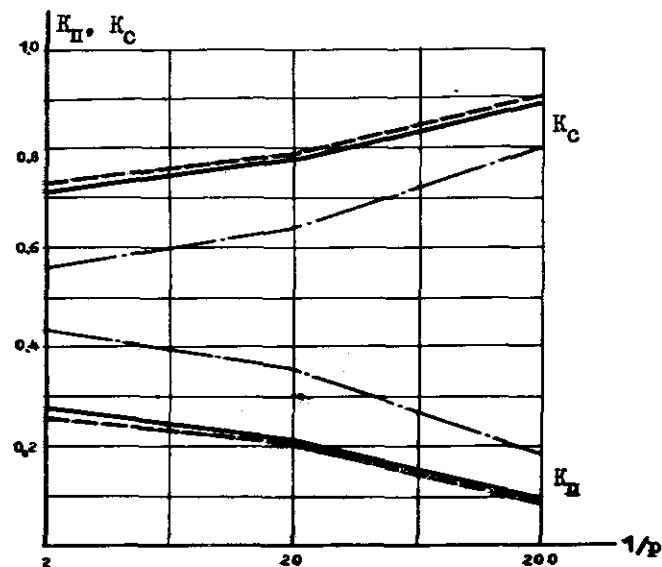


Рис. 9

рами говорит о том, что число трансляций сообщений много больше необходимого для реализации коммутации.

Для достижения максимальной эффективности сеть передачи данных ОВС должна быть перестраиваемой в зависимости от параметров коммутации. Если длина передаваемого сообщения меньше некоторой предельной, то его передача организуется методом коммутации сообщений по путевой процедуре с разделным поиском путей к ведомым ЭМ. При длине сообщения, большей указанной предельной, сеть связи ОВС функционирует, как сеть с коммутацией каналов. Подсистемы, имеющие ранг выше некоторого предельного, реализуются путевой процедурой с одновременным поиском путей к ведомым ЭМ, а все остальные по путевым процедурам с разделным поиском путей.

Л и т е р а т у р а

1. ЕВРЕИНОВ Э.В., КОСАРЕВ Ю.Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука", 1966.
2. КОРНЕЕВ В.В. О макроструктурах однородных вычислительных систем. - В кн.: Вычислительные системы. Вып. 60. Новосибирск, 1974, с.17-34.
3. ЗЫКОВ А.А. Теория конечных графов I. Новосибирск, "Наука", 1969.
4. CHOU W., FRANK H. Routing strategies for computer network desing.-Computer communications networks and telettraffio, N.Y., april 4-6, 1972. Polytechnic Institute of Brooklyn.
5. ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. Исследование функционирования однородных вычислительных систем. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Новосибирск, ИМ СО АН СССР, 1972.

Поступила в ред.-изд.отд.

16 января 1975 года