

УДК 681.323

СИСТЕМА СВЯЗИ МНОГОМАШИННОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

А.Ф. Григорович

Рассмотрены вопросы организации межмашинных связей восьмимашинного комплекса. Описан выбранный вариант графа и приведена блок-схема массовых цепей коммутатора. Особое внимание уделено обеспечению транзитных передач путем ориентации исходного графа сети связи. Приведенная оценка выбранного варианта дает некоторое представление о трудностях создания такого рода систем связи в целом.

Экспериментальный многомашинный вычислительный комплекс (ЭМК) [1,2] предназначен для работы в двух основных режимах:

- а) множественного потока команд - множественного потока данных (МКМД) [3];
- б) одиночного потока команд - множественного потока данных (ОКМД).

Для обеспечения режима МКМД служит система связи в виде модифицированного P_n -графа, в котором, в отличие от P_n -графа [4], кроме связей между вершинами куба по ребрам добавляются связи по четырем диагоналям. Диагональные связи позволяют свести число транзитных вершин до единицы при любом транзитном обмене в восьмимашинной системе.

Система связи комплекса для режима МКМД (рис.1) представляет граф $L=(X,U;P)$, где $|X|=n(L)=8$ - число вершин графа и $|U|=m(L)=16$ - число звеньев графа [5].

Степень вершины $\tilde{S}(x_i)$ графа L есть количество звеньев, инцидентных x_i ; для нашего графа $|\tilde{S}(x_i)|=4$, $i=0, 1, \dots, 7$. Поскольку $|\tilde{S}(x_i)|$ не зависит от i , то граф является однородным.

Для графа рис. 1:

$$\forall u, v \forall x, y [P(x, u, y) \& P(x, v, y) \implies u = v],$$

следовательно, данный неориентированный униграф без петель будет обыкновенным.

Матрица смежности графа L будет выглядеть следующим образом:

$$P = [z_{ij}] = \begin{pmatrix} 0 & \tilde{S}(x_0, x_1) & \tilde{S}(x_0, x_2) & \dots & \tilde{S}(x_0, x_7) \\ \tilde{S}(x_1, x_0) & 0 & \tilde{S}(x_1, x_2) & \dots & \tilde{S}(x_1, x_7) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{S}(x_7, x_0) & \tilde{S}(x_7, x_1) & \tilde{S}(x_7, x_2) & \dots & 0 \end{pmatrix} =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
1	1	0	0	1	0	1	1	0	1
2	1	0	0	1	0	1	1	0	2
3	0	1	1	0	1	0	0	1	3
4	1	0	0	1	0	1	1	0	4
5	0	1	1	0	1	0	0	1	5
6	0	1	1	0	1	0	0	1	6
7	1	0	0	1	0	1	1	0	7

где $\tilde{S}(x_i, x_j)$ - количество звеньев, соединяющих x_i и x_j

$$(i, j = 0, 1, \dots, 7) \text{ и } \tilde{S}(x_i) = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n(L)-1} \tilde{S}(x_i, x_j),$$

$$i \neq j \implies \tilde{S}(x_i, x_j) - \tilde{S}(x_j, x_i) = \begin{cases} 1, & \text{если вершины } x_i \text{ и } x_j \text{ смежны,} \\ 0 - & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

По характеру пространственного размещения вычислительных машин система межмашинных связей ЭМВК принадлежит к трехмерным системам [4], выполненным в виде куба. В каждой вершине куба размещается элементарное вычислительное устройство (ЭВУ) с собственной оперативной памятью. Связи между произвольными парами ЭВУ-память и ЭВУ-ЭВУ осуществляются через коммутатор, выполненный как мультиплексор. Каждый блок оперативной памяти размещается только при одном ЭВУ, но он доступен и любому другому ЭВУ. Таким образом, рассматриваемый ЭМВК относится к классу вычислительных систем с общедоступной распределенной оперативной памятью.

Направления транзитных передач были приняты детерминированными из-за технических трудностей выбора одного из 4-х возможных транзитных направлений. В связи с этим возникает задача обзора ориентированных графов, получаемых из исходного графа (рис. 1), при всевозможных способах ориентации ребер, удовлетворяющих заданным условиям. Для этого вводится система из $\frac{n(n-1)}{2}$ переменных ε_{ij} ($0 \leq i < j \leq n-1$), и полагаются [5]

$$R(\{\varepsilon_{ij}\}) = (z_{ij} \{\varepsilon_{ij}\}),$$

где

$$z_{ii} \{\varepsilon_{ij}\} = 0,$$

$$i < j \Rightarrow z_{ij} \{\varepsilon_{ij}\} = z_{ij} \cdot \varepsilon_{ij},$$

$$i > j \Rightarrow z_{ij} \{\varepsilon_{ij}\} = z_{ij} \cdot \varepsilon'_{ji},$$

$$(i, j = 0, 1, \dots, n-1)$$

$$\varepsilon' = \begin{cases} 0 & \text{при } \varepsilon = 1, \\ 1 & \text{при } \varepsilon = 0. \end{cases}$$

Каждому определенному способу ориентации отвечает определенный набор $\{\varepsilon_{ij}\}$. Рассматривая только $|U| = n(n-1) = 16$ переменных, для которых $z_{ij} = \tilde{S}(x_i, x_j) = 1$, можно добиться того, чтобы соответствие между способами ориентации ребер и всевозможными значениями $\{\varepsilon_{ij}\}$ было взаимно-однозначным.

Преобразованная матрица смежности R графа L выглядит следующим образом:

$$R(\{\varepsilon_{ij}\}) = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ \varepsilon'_{10} \\ \varepsilon'_{20} \\ 0 \\ \varepsilon'_{40} \\ 0 \\ 0 \\ \varepsilon'_{70} \end{matrix} & \begin{matrix} \varepsilon_{01} & \varepsilon_{02} & 0 & \varepsilon_{04} & 0 & 0 & \varepsilon_{07} \\ 0 & 0 & \varepsilon_{13} & 0 & \varepsilon_{15} & \varepsilon_{16} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{23} & 0 & \varepsilon_{25} & \varepsilon_{26} & 0 \\ \varepsilon'_{31} & \varepsilon'_{32} & 0 & \varepsilon_{34} & 0 & 0 & \varepsilon_{37} \\ 0 & 0 & \varepsilon'_{43} & 0 & \varepsilon_{45} & \varepsilon_{46} & 0 \\ \varepsilon'_{51} & \varepsilon'_{52} & 0 & \varepsilon'_{54} & 0 & 0 & \varepsilon_{57} \\ \varepsilon'_{61} & \varepsilon'_{62} & 0 & \varepsilon'_{64} & 0 & 0 & \varepsilon_{67} \\ 0 & 0 & \varepsilon'_{73} & 0 & \varepsilon'_{75} & \varepsilon'_{76} & 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} \end{matrix},$$

$$\text{и поскольку } |\{\varepsilon_{ij}\}| = |\{\varepsilon_{01}, \varepsilon_{02}, \varepsilon_{04}, \varepsilon_{07}, \varepsilon_{13}, \varepsilon_{15}, \varepsilon_{16}, \varepsilon_{23}, \varepsilon_{25}, \varepsilon_{26}, \varepsilon_{34}, \varepsilon_{37}, \varepsilon_{45}, \varepsilon_{46}, \varepsilon_{57}, \varepsilon_{67}\}| = 16,$$

то имеется некоторое количество вариантов ориентации ребер данного графа. Так как из каждой вершины графа исходит хотя бы одна дуга, то ни одна из строк матрицы $R(\{\varepsilon_{ij}\})$ не должна состоять сплошь из нулей.

Если каждой вершине $x \in X$ в ориентированном графе $L = (X, U; P)$ отнести четырехмерный вектор - упорядоченную четверку чисел:

$$I(x) = \{S^+(x), S^-(x), S^0(x), \tilde{S}(x)\}$$

и если этот вектор не зависит от x , где

$$S(x_i) = S^+(x_i) + S^-(x_i) + S^0(x_i) + \tilde{S}(x_i),$$

$S^+(x_i)$ - количество дуг, исходящих из вершины x_i ,

$S^-(x_i)$ - количество дуг, заходящих в вершину x_i ,

$\tilde{S}(x_i)$ - количество звеньев, инцидентных x_i ,

$S^0(x_i)$ - количество петель при x_i .

то граф будет однородным. Для однородного орграфа транзитных передач потребуем:

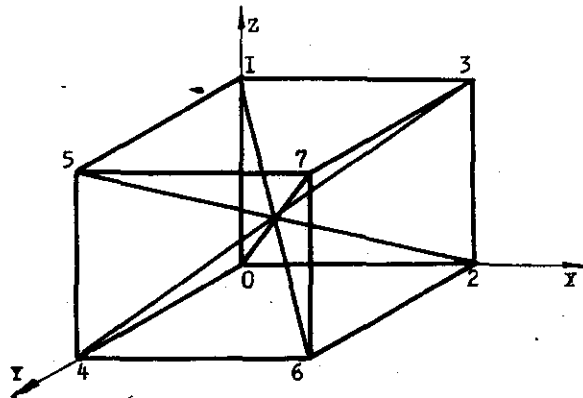


Рис. 1

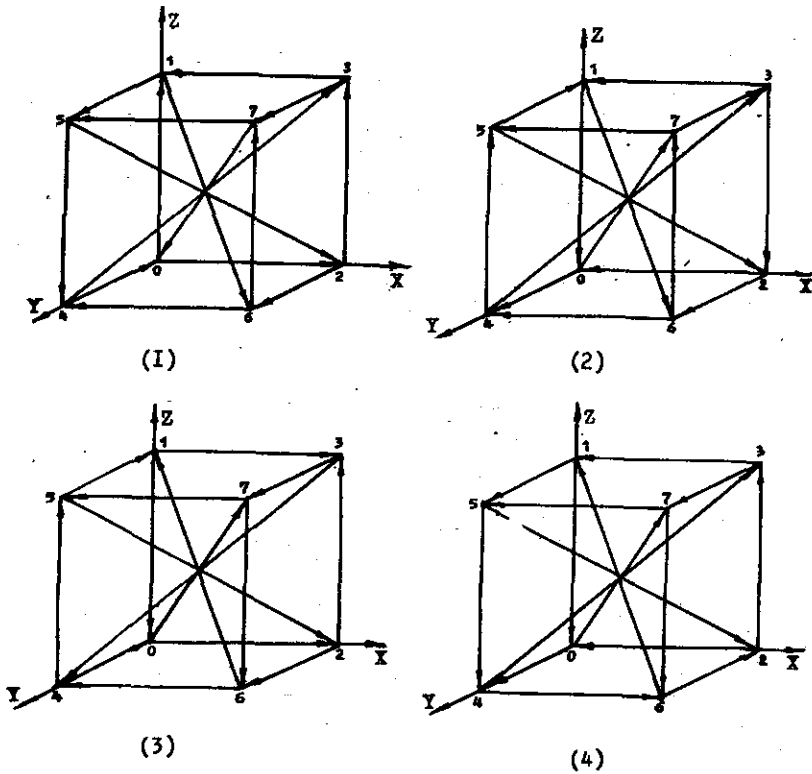


Рис. 2

$$\bar{S}(x_i) = S^0(x_i) = 0,$$

$$S(x_i) = S^+(x_i) + S^-(x_i) = 4,$$

$$S^+(x_i) = S^-(x_i) = 2 \quad (i=0,1,\dots,7).$$

Последнее требование обусловлено количеством вершин графа ($i = 0, 1, \dots, 7$) и типом связи между вершинами.

Всевозможные варианты ориентации ребер графа при заданных выше условиях запишутся:

$$x_0 : (\epsilon_{01} \cdot \epsilon_{02} + \epsilon_{01} \cdot \epsilon_{04} + \epsilon_{01} \cdot \epsilon_{07} + \epsilon_{02} \cdot \epsilon_{04} + \epsilon_{02} \cdot \epsilon_{07} + \epsilon_{04} \cdot \epsilon_{07}) = 1,$$

$$x_1 : (\epsilon_{10} \cdot \epsilon_{13} + \epsilon_{10} \cdot \epsilon_{15} + \epsilon_{10} \cdot \epsilon_{16} + \epsilon_{13} \cdot \epsilon_{15} + \epsilon_{13} \cdot \epsilon_{16} + \epsilon_{15} \cdot \epsilon_{16}) = 1,$$

$$x_2 : (\epsilon_{20} \cdot \epsilon_{23} + \epsilon_{20} \cdot \epsilon_{25} + \epsilon_{20} \cdot \epsilon_{26} + \epsilon_{23} \cdot \epsilon_{25} + \epsilon_{23} \cdot \epsilon_{26} + \epsilon_{25} \cdot \epsilon_{26}) = 1,$$

$$x_3 : (\epsilon_{31} \cdot \epsilon_{32} + \epsilon_{31} \cdot \epsilon_{34} + \epsilon_{31} \cdot \epsilon_{37} + \epsilon_{32} \cdot \epsilon_{34} + \epsilon_{32} \cdot \epsilon_{37} + \epsilon_{34} \cdot \epsilon_{37}) = 1,$$

$$x_4 : (\epsilon_{40} \cdot \epsilon_{43} + \epsilon_{40} \cdot \epsilon_{45} + \epsilon_{40} \cdot \epsilon_{46} + \epsilon_{43} \cdot \epsilon_{45} + \epsilon_{43} \cdot \epsilon_{46} + \epsilon_{45} \cdot \epsilon_{46}) = 1,$$

$$x_5 : (\epsilon_{51} \cdot \epsilon_{52} + \epsilon_{51} \cdot \epsilon_{54} + \epsilon_{51} \cdot \epsilon_{57} + \epsilon_{52} \cdot \epsilon_{54} + \epsilon_{52} \cdot \epsilon_{57} + \epsilon_{54} \cdot \epsilon_{57}) = 1,$$

$$x_6 : (\epsilon_{61} \cdot \epsilon_{62} + \epsilon_{61} \cdot \epsilon_{64} + \epsilon_{61} \cdot \epsilon_{67} + \epsilon_{62} \cdot \epsilon_{64} + \epsilon_{62} \cdot \epsilon_{67} + \epsilon_{64} \cdot \epsilon_{67}) = 1,$$

$$x_7 : (\epsilon_{70} \cdot \epsilon_{73} + \epsilon_{70} \cdot \epsilon_{75} + \epsilon_{70} \cdot \epsilon_{76} + \epsilon_{73} \cdot \epsilon_{75} + \epsilon_{73} \cdot \epsilon_{76} + \epsilon_{75} \cdot \epsilon_{76}) = 1.$$

После умножения друг на друга приведенных выше сум со множителей, взятых в скобки, получим искомые варианты, каждый из которых представляет произведение 16-ти переменных

$$\epsilon_{ij} \quad (i, j = 0, 1, \dots, n(L) - 1)$$

при условии, что $\epsilon_{ij} \cdot \epsilon_{ji} = 0$.

При достаточно больших $n(L)$ и $m(L)$ определение всех возможных вариантов ориентации, удовлетворяющих заданным условиям, провести вручную довольно трудно. В нашем случае вручную было определено 84 варианта ориентации. Приведем графи некоторых из них и соответствующие произведения (рис. 2):

$$\epsilon_{64} \cdot \epsilon_{67} \cdot \epsilon_{70} \cdot \epsilon_{75} \cdot \epsilon_{40} \cdot \epsilon_{43} \cdot \epsilon_{54} \cdot \epsilon_{52} \cdot \epsilon_{23} \cdot \epsilon_{26} \cdot \epsilon_{31} \cdot \epsilon_{37} \cdot \epsilon_{01} \cdot \epsilon_{02} \cdot \epsilon_{15} \cdot \epsilon_{16}; \quad (1)$$

$$\epsilon_{64} \cdot \epsilon_{67} \cdot \epsilon_{73} \cdot \epsilon_{75} \cdot \epsilon_{43} \cdot \epsilon_{45} \cdot \epsilon_{51} \cdot \epsilon_{52} \cdot \epsilon_{20} \cdot \epsilon_{26} \cdot \epsilon_{31} \cdot \epsilon_{32} \cdot \epsilon_{04} \cdot \epsilon_{07} \cdot \epsilon_{10} \cdot \epsilon_{16}; \quad (2)$$

$$\epsilon_{64} \cdot \epsilon_{61} \cdot \epsilon_{76} \cdot \epsilon_{75} \cdot \epsilon_{40} \cdot \epsilon_{45} \cdot \epsilon_{51} \cdot \epsilon_{52} \cdot \epsilon_{23} \cdot \epsilon_{26} \cdot \epsilon_{34} \cdot \epsilon_{37} \cdot \epsilon_{02} \cdot \epsilon_{07} \cdot \epsilon_{13} \cdot \epsilon_{10}; \quad (3)$$

$$\epsilon_{61} \cdot \epsilon_{62} \cdot \epsilon_{76} \cdot \epsilon_{75} \cdot \epsilon_{43} \cdot \epsilon_{46} \cdot \epsilon_{52} \cdot \epsilon_{54} \cdot \epsilon_{20} \cdot \epsilon_{23} \cdot \epsilon_{31} \cdot \epsilon_{37} \cdot \epsilon_{04} \cdot \epsilon_{07} \cdot \epsilon_{10} \cdot \epsilon_{15} \quad (4)$$

и т.д.

Для построения экспериментального многомашиного вычислительного комплекса был выбран один из однородных орграфов, а именно (3).

Все каналы обмена являются дуплексными и работают с разделением во времени, то есть в каждый данный момент по каналу возможен только один обмен в одном из противоположных направлений.

Матрица связи вычислителей с собственной памятью изображается в виде диагональной матрицы A_g . Матрица связей вершин с соседними вершинами есть матрица смежности R . Матрица приоритетных направлений для реализации транзитов A_T , которые указываются на графе стрелками, выглядит для орграфа (3) следующим образом:

$$A_T = \begin{array}{cccccccc|c} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 3 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 7 \end{array}$$

Транзитные передачи с длиной пути в две дуги обеспечиваются матрицей A_T^2 . Полнодоступная матрица $A_\Sigma = \{1\}$ будет изображаться суммой матриц $A_\Sigma = A_g + R + A_T^2$, где все элементы матрицы A_Σ ненулевые.

$$A_T^2 = \begin{array}{cccccccc|c} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 5 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 7 \end{array}$$

При различных деформациях системы связи возможно нарушение полнодоступности. Поэтому встает вопрос о необходимой длине транзитного пути при отказе каналов в каких-либо направлениях передачи информации.

Одним из случаев аварийной ситуации является отказ какого-либо канала связи между вершинами графа в направлении против стрелки. В этом случае (пусть, например, вышла из строя связь из 3-й вершины во 2-ю) матрица транзитных связей остается без изменения $A_{T1} = A_T$, а матрица R деформируется в матрицу

R_1 (у нее $\bar{S}(x_3, x_2) = 0$). Полнодоступность будет обеспечена матрицей $A_{\Sigma 1} = A_g + R_1 + A_T^2 + A_T^3$, причем A_T^3 служит только для формирования связи $x_3 \rightarrow x_2$. Гораздо большие последствия будет иметь нарушение канала связи по направлению стрелки, когда деформируется также и матрица A_T . Для восстановления полнодоступности в сумму матриц вносится новый член

$$A_{\Sigma 2} = A_g + R_2 + A_T^2 + A_{T2}^3 + A_T^4$$

В случае отказа одной вершины мы имеем

$$A_{\Sigma 3} = A_g + R_3 + A_T^2 + A_{T3}^4$$

Стрелки на графе межмашинных связей указывают одно или два возможных направления при транзитных передачах (см. матрицу A_T^2). Выбор направления зависит от поразрядной разности номеров двух вершин, участвующих в обмене. При нечетной разности номеров вершин возможно только одно направление обмена, при четной разности предоставляется два направления одинаковой длины с возможностью переключения с одного занятого на другой. Основание стрелки указывает также на наличие защитного механизма для следующей конфликтной ситуации. Если один и тот же канал связи запрашивается с двух противоположных направлений, то требование, которое находится в конце стрелки, имеет больший приоритет.

Установление транзитного пути осуществляется последовательно по трем вершинам. Передача информации осуществляется только после настройки всего пути, так как в массовых цепях выбран коммутатор комбинационного типа. Начало передачи фиксируется обратным сигналом-ответом.

Коммутатор состоит из 8-ми одинаковых блоков, помещенных в вершинах графа связей. Упрощенная схема одного из таких блоков

имеет следующие части: 1) регистр очереди, 2) преобразователь координат, 3) конфликтный механизм, 4) блок массовых цепей коммутатора связи, 5) транслятор запросов, 6) блок ответов, 7) коммутаторы памяти данной вершины.

Массовые цепи каждого разряда адреса и информации представляют собой схемы "И", работающие на схему "ИЛИ". Четыре схемы "И" предназначены для приема информации из 4-х соседних вершин (рис. 3), одна - для выдачи информации ЭВУ, расположенного в данной вершине. Существует также аппаратура, позволяющая обращаться каждому ЭВУ в собственную память, минуя систему связи, то есть возможно совмещение работы коммутатора связи в режиме транзитной передачи с обращением ЭВУ, принадлежащего данной вершине, в собственную память.

Восстановление уровня сигналов при соседних и транзитных передачах осуществляется инверторами на выходе одной из вершин, а при приеме - в регистре памяти соседней вершины.

Время обращения ЭВУ к памяти и время передачи информации между парой вершин соизмеримы друг с другом, поэтому при выполнении двусторонних операций на ЭВУ трассы чтения второго операнда не обрываются, а переключаются в обратном направлении, а регистр памяти становится регистром второго операнда.

Цепи управления построены также по принципу модифицированного P_n - графа (рис. 1). Адресация требования в многоэтажном обслуживании осуществляется сопроводительной информацией для конечного обслуживаемого прибора. Затраты на сопроводительную информацию небольшие; ее обработка, формирование разрешения на непосредственное обслуживание сравнимы со временем обработки соседней связи.

Вышеуказанным способом были объединены в экспериментальный комплекс относительно небольшие ЭВУ. Оборудование на систему связи совместно с оборудованием для режима ОКМД занимает примерно 1/4 оборудования ЭВУ и увеличивается только за счет затрат на массовые цепи при комплексовании более крупных машин. Таким образом, соотношение затрат зависит только от величины элементарной машины, так как система связи консервативна по управлению и линейно возрастает по массовым цепям.

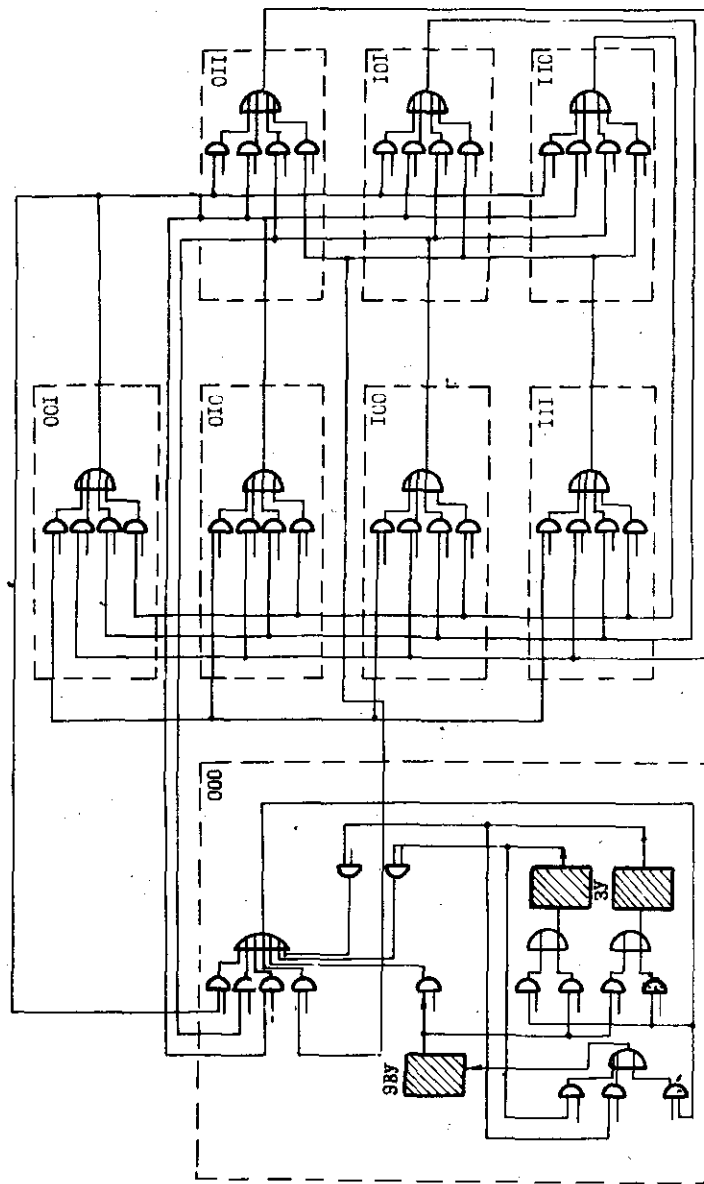


Рис. 3. Структура связи между ЭВУ.

Выводы

1. Для экспериментального многомашиного вычислительного комплекса разработана система связи в виде модифицированного P_n - графа, обеспечивающая связность графа и минимальную длину транзитных связей. Последнее условие существенно, так как длина транзитных связей значительно влияет на объем аппаратурных затрат на систему связи.

2. Рассмотрены некоторые вопросы ориентации ребер графа системы связи с целью обеспечения децентрализованного управления кратчайшими путями передачи информации.

3. Приведена блок-схема выбранного варианта децентрализованного управления кратчайшими путями связи между парой вершин графа i и j , где i - начальная вершина пути ($i = 0, 1, \dots, n(l)-1$), а j - конечная вершина пути ($j \neq i, j = 0, 1, \dots, n(l)-1$).

Л и т е р а т у р а

1. РАДУНСКИЙ В.М. Экспериментальный многомашиный вычислительный комплекс. - Данный сборник, стр. 97-107.
2. ПОПОВ А.А. Элементарное вычислительное устройство экспериментального многомашиного вычислительного комплекса. - Данный сборник, стр. 108-115.
3. ФЛИНН М. Сверхбыстродействующие вычислительные системы, Угос. ИКББ, 1966, vol.54, № 12.
4. БЕРЕМНОВ Э.В., КОСАРЕВ В.Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука" СО, 1966.
5. ЗЕНКОВ А.А. Теория конечных графов, Новосибирск, "Наука", 1969, ч. I.

Поступила в ред.-изд.отд
15.II.1972 г.