

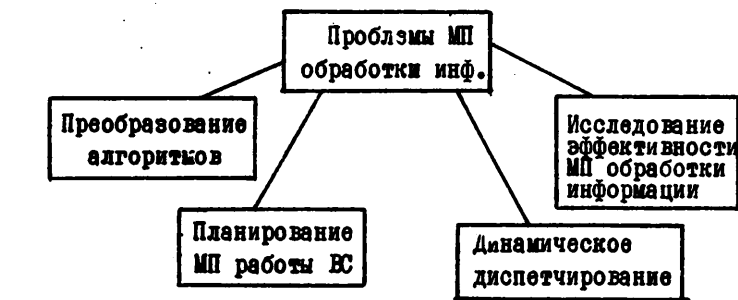
ПЛАНИРОВАНИЕ МУЛЬТИПРОГРАМНОЙ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Р. И. Минязов
(Москва)

Проблема оптимального планирования мультипрограммной (МП) работы вычислительных систем (ВС) является составной частью общей проблемы МП обработки информации (рис.1) и тесно связана с проблемами МП преобразования алгоритмов, динамического диспетчирования и исследования эффективности МП обработки информации.

Настоящая работа посвящена разработке машинных алгоритмов оптимального, в смысле сформулированных критериев, планирования МП работы однородной специализированной ВС для различных способов организации её работы.

1. Планирование МП работы ВС с общей памятью. Пусть в результате МП преобразований составлены алгоритмы, состоящие из упорядоченного набора функциональных операторов (ФО). Совокупность и отношения таких алгоритмов могут быть представлены в виде граф-схемы (рис.2). Вершины графа представляют собой некоторые функциональные операторы, перерабатывающие множество аргументов в множество результатов. Дуги графа, соединяющие два ФО, показывают, что результат работы первого является аргументом для второго. С другой стороны дуги определяют упорядоченность графа, т.е. указывают, что последующий ФО может быть реализован только после выполнения предыдущего ФО. Вершины графа нагружены "к"-компонентной характеристикой ФО - весом. В качестве таких компонентов могут быть



М	1	2	3	...	5
п	11	11	11	...	100
T(сек)	0,5	1,0	7,5	...	250

Рис. 1.

выбрана: i - номер ФО, τ_{ij} - время выполнения i -го ФО на j устройстве ВС, P_i - приоритетности задач, X_i - характеристики связности функциональных операторов и др.

По граф-схеме алгоритмов решаемых на ВС задач может быть составлена таблица значений i, τ_{ij}, P_i, X_i являющихся исходными данными для работы алгоритма планирования МОП работы ВС.

Ставится задача разработать такой машинный алгоритм, который на основании исходных данных (рис.2) и выбранного критерия качества планирования Q позволил решить следующие три задачи.

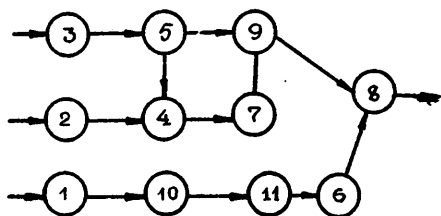
Задача 1. Составление оптимального плана МОП работы ВС, состоящей из известного числа "М" ВУ и предназначенной для решения заданного набора задач "м".

Задача 2. Составление аварийного плана МОП работы ВС, при отказе одного или нескольких ВУ.

Задача 3. Определение оптимального числа "М*" ВУ для реализации заданного числа задач с учетом ограничений на общее число ВУ "М" (обратная задача [2]).

В работе [1] разработан метод оптимального планирования работы ВС, основанный на применении возвратного динамического программирования. Показано, что при поэтапном решении рекуррентной формулы

$$f(N-\xi)_{(u^{(N-\xi-\nu)})} = \min_{u^{(N-\xi-\nu)} \in U} [Q(N-\xi)_{(u^{(N-\xi-\nu)})}, u^{(N-\xi)}] + f(N-\xi+\nu)_{(u^{(N-\xi)})} + \sum_k \pi_k, \quad (I)$$



i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
τ_{ij}	10	11	4	15	7	15	10	17	20	12	8
P_i	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X_i	1000	0010	0020	0100	0410	0200	0400	0000	0200	2000	0040

Рис. 2.

где ξ - инверсное время, Q - функция критерия оптимизации,

$u^{(N-\xi)}$ - управление на $N - \xi$ этапе, H_k - неаддитивные логические ограничения. Попутно определяется оптимальное управление $u_*^{(N-\xi)} = u_*^{(N-\xi)}(u^{(N-\xi-1)})$, т.е. на каждом этапе решается одномерная задача распределения не всего множества задач, а только одной, удовлетворяющей выработанному для данной задачи критерию оптимизации

$$Q' = \lambda_1 Q_1 + \lambda_2 Q_2 + H_1 + H_2 + H_3. \quad (2)$$

Общий критерий оптимального планирования состоит из частных критериев Q_1 и Q_2 и неаддитивных логических ограничений H_1 , H_2 и H_3 , причем, $Q_2 = \tau_{ijnp}$.

$$Q_1 = \max_j T_j^{(N-\xi)}, H_1 = \max_i P_i, H_2 = \max_i C_i, H_3 = \max_i \tau_{ij}, \quad (3)$$

где: $T_j^{(N-\xi)}$ - время занятости устройства j на этапе $N-\xi$;
 τ_{ijnp} - время простоя устройства j в результате распределения задачи i ;
 P_i - приоритетность задачи i ;
 C_i - число связей задачи i ;
 τ_{ij} - время реализации задачи i на устройстве j .

Время занятости устройства j к концу этапа распределения

$$T_j^{(N-\xi)} = T_j^{(N-\xi+1)} + \tau_{1j} + \tau_{1jпр} \quad (4)$$

Время простоя устройства j

$$\tau_{1jпр} = \begin{cases} T_j^{(N-\xi+k)} - T_j^{(N-\xi+1)}, & \text{если } (T_j^{(N-\xi+k)} - T_j^{(N-\xi+1)}) > 0 \\ 0, & \text{если } (T_j^{(N-\xi+k)} - T_j^{(N-\xi+1)}) \leq 0, \end{cases} \quad (5)$$

где: $T_j^{(N-\xi+k)}$ - время занятости устройства j , которому была распределена задача на $N-\xi+k$ этапе, связанная с рассматриваемой задачей i на данном этапе $N-\xi$,

$T_j^{(N-\xi+1)}$ - время занятости устройства j на $N-\xi+1$ этапе, которому будет распределена задача i на данном этапе $N-\xi$.

Алгоритм решения задачи I (рис.3) выделяет задачу, удовлетворяющую критерию оптимизации (3). Каждый последующий этап распределения отличается лишь меньшим числом нераспределенных задач. Результаты реализации алгоритма фиксируются в виде матрицы соответствия ij и временных характеристик работы ВС.

Последовательность этапов вычислений по алгоритму решения задач 2 и 3 (рис.4) следующая. Решается задача I. Вычисляется функция критерия оптимизации числа ВУ $Q(M)$. Далее решается задача оптимального планирования для $(M-1)$ машин и снова вычисляется функция $Q(M-1)$. Если Q уменьшилось, то поиск продолжается до тех пор, пока не найдется оптимальное число ВУ " M ", соответствующее $\min Q(M)$. План работы ВС для оптимального числа ВУ " M " фиксируется. При $M^* < M$, освободившиеся ВУ могут использоваться либо в качестве резерва, либо для дублирования решения наиболее ответственных задач, либо для автономной работы.

Критерием для оптимизации числа ВУ " M " может служить функция

$$Q^2(M) = \lambda_1 \max_j T_j + \lambda_2 \sum_j \tau_{1jпр}, \quad (6)$$

где: λ_1 и λ_2 - весовые коэффициенты;

T_j - общее время занятости устройства j ;

$\sum_j \tau_{1jпр}$ - суммарное время простоя всех ВУ ВС.

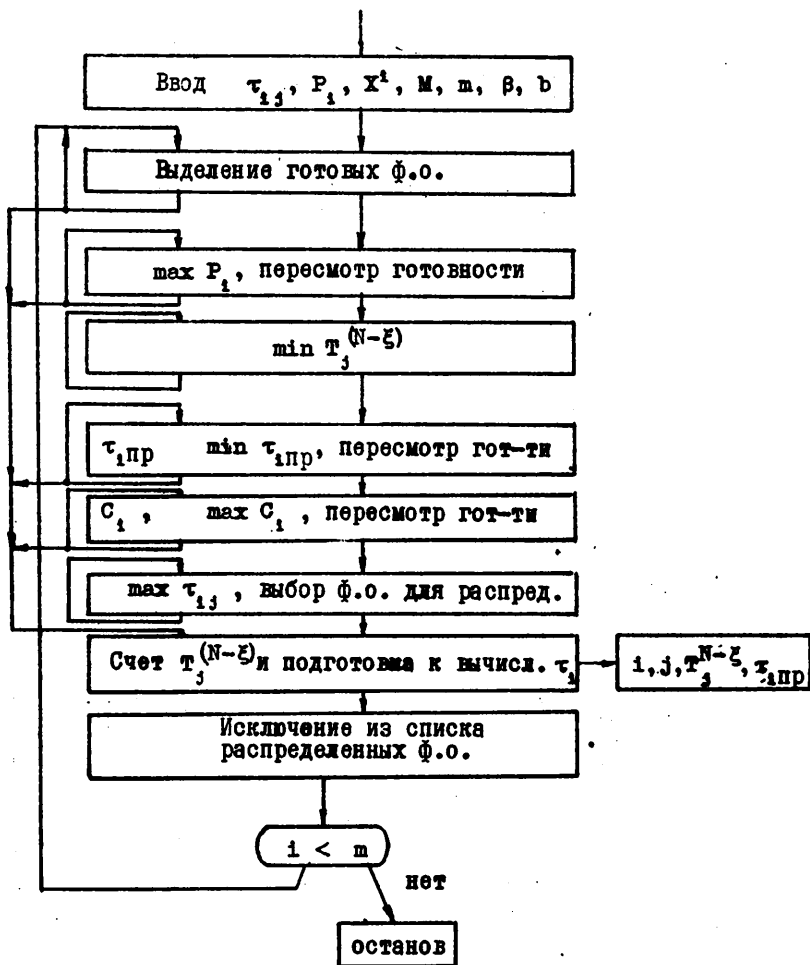


Рис. 3.

Кроме оптимального плана МП работы ВС, алгоритм (рис.4) позволяет составить аварийный план МП работы ВС на случай отказа во время работы ВС одного или нескольких ВУ.

В качестве меры по автоматизации планирования введен оператор самонастройки алгоритма для решения задачи планирования МП работы ВС, состоящей из различного числа ВУ "М", и предназначенного для решения переменного множества задач "m". Таким образом, программа планирования может быть стандартной и

настраиваться по кодовой характеристике исходной информации. Применительно к ЭВМ "М-20" кодовая характеристика имеет вид

$$\beta \quad m \quad M \quad b \quad (7)$$

где m - число задач, M - число ВУ, β - max ширина графа планируемых задач, b - начальный адрес массива исходных данных для планирования.

На рис.5 представлены результаты планирования МП работы ВС, состоящей из трех ВУ, при реализации задачи, представленной на рис.2. Приведены планы работы ВС, состоящей из $M=1$, 2 и 3 ВУ.

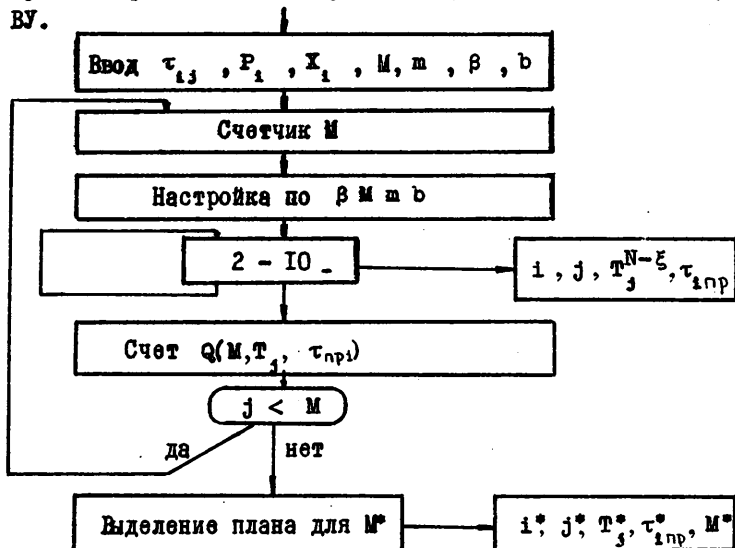


Рис. 4.

Оптимальное число ВУ согласно критерия (6) для выполнения данной задачи $M^* = 2$. Третье освободившееся ВУ может быть использовано, например, для дублирования реализации некоторых ФО с целью повышения надежности результата или как резерв на случай выхода из строя одного из задействованных ВУ. План работы для одной машины в данном примере можно рассматривать как аварийный на случай отказа двух ВУ.

Одним из главных требований к алгоритмам планирования МП работы ВС является уменьшение времени работы этого алгоритма.

Время работы алгоритма T планир. при реализации его на ЭВМ "М-20" может быть оценено сверху при $\beta=m$ по следующей фор-

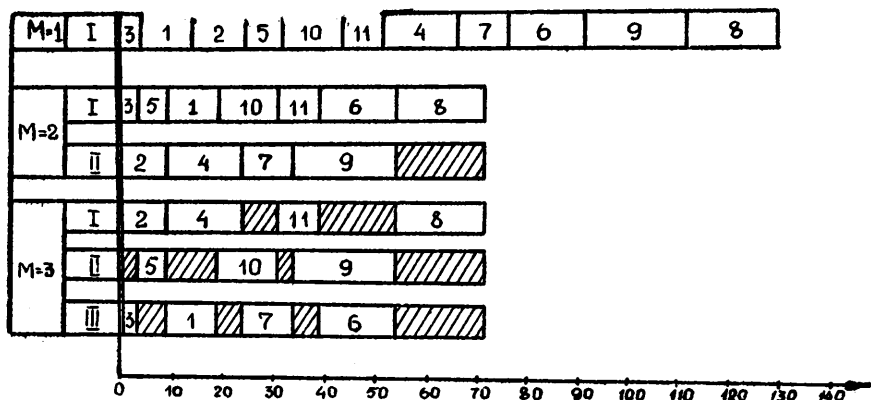
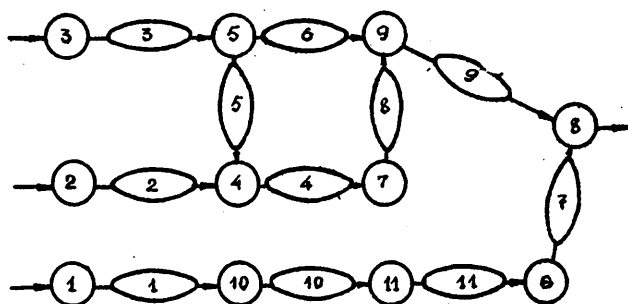


Рис. 5.



i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
τ_{ij}	τ_{1j}	τ_{2j}	τ_{3j}	τ_{4j}	τ_{5j}	τ_{6j}	τ_{7j}	τ_{8j}	τ_{9j}	τ_{10j}	τ_{11j}
P_i	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}
X_i	1000	0010	0020	0100	0410	0200	0400	0000	0200	2000	0040
τ_{oil}	$\tau_{01,0}$	$\tau_{02,1}$	$\tau_{03,5}$	$\tau_{04,7}$	$\tau_{05,4}$	$\tau_{06,6}$	$\tau_{07,9}$	—	$\tau_{09,5}$	$\tau_{010,11}$	$\tau_{011,8}$
	—	—	—	—	$\tau_{05,9}$	—	—	—	—	—	—

Рис. 6.

муде:

$$T_{\text{планир}} = M[510 + M(5 + 7m + 3m^2) + m(40 + 72m + 8m^2)]\tau, \quad (8)$$

где τ - время выполнения типовой операции.

На таблице приведены времена выполнения алгоритма планирования на М-20 для различных значений M и m .

К достоинствам приведенных алгоритмов оптимального планирования МП работы ВС можно отнести:

- возможность получения оптимального решения;
- универсальность алгоритма ввиду возможности его настройки по составу ВС и количеству задач и независимость от применяемого критерия оптимизации Q .

Планирование МП работы ВС с автономной памятью ВУ. В [3] отмечается, что одной из довольно трудных задач является распределение задач по машинам ВС с учетом обмена информацией между ВУ ВС. Эта задача, которая может быть названа задачей распределения с учетом коммутации, в настоящее время не получила хорошего решения. В то же время решение задачи распределения без учета времени последующего обмена информацией дает в случае систем с автономной памятью далеко не оптимальные результаты, т.к. время обмена информацией заметно больше времени счета ФО на ВУ.

Для рассмотренного в п. I примера граф-схема алгоритмов задач с учетом времени на передачу информации может быть представлена в виде, показанном на рис. 6.

Таблица исходных данных при этом включает кроме величин i , τ_{ij} , P_i , X_i также времена τ_{0i1} обмена информацией между ВУ, реализующими связанные функциональные операторы. Последняя строка таблицы представляет собой сжатую запись матрицы времен обмена τ_{0i1} размером $i \times i$. Номер элемента матрицы определяется путем расшифровки соответствующих характеристик связности X_i .

Задача планирования с учетом времени обмена может быть решена по алгоритму (рис. 4), если изменить критерий

$$Q^3 = \lambda_1 Q_1 + \lambda_2 Q_2 + \lambda_3 Q_3 + H_1 + H_2 + H_3, \quad (9)$$

где $Q_j = \tau_{011'}$,

и формулу вычисления времени занятости устройств

$$T_j^{(N-\xi)} = T_j^{(N-\xi+1)} + \tau_{1j} + \tau_{1jnp} + \tau_{011'}; \quad (10)$$

Причем,

$$\tau_{011'} = \begin{cases} \tau_{011'}, & \text{если } j_1 \neq j_1', \\ 0, & \text{если } j_1 = j_1'. \end{cases} \quad (11)$$

При этом критерий оптимальности (6) числа ВУ в ВС примет вид

$$Q^*(M) = \lambda_3 \max_j T_j + \lambda_4 \sum_j \tau_{1jnp} + \lambda_5 \sum_j \tau_{011'}, \quad (12)$$

где $\sum_j \tau_{011'}$ - суммарное время занятости ВУ, необходимое для обмена информацией.

Планирование МП работы ВС, допускающей совмещение во времени счета с вводом-выводом. Эта задача возникает при организации работы ВС в способе [1], когда производится распределение заданного набора задач по ВУ ВС с учетом возможности совмещения операций счета с операциями ввода и вывода.

Для её решения можно воспользоваться предложенной выше методикой и алгоритмом планирования; для чего необходимо только в таблице исходных данных указать вид устройства v , на котором должен обрабатываться данный ФФ, а в блок-схеме алгоритма (рис.3) внести следующие изменения.

1) оператор (4) - выделение устройств j_v с наименьшим временем занятости T_{j_v} , где v - номер вида устройств;

2) оператор (7) - счет $T_j^{(N-\xi)}$ и подготовка к вычислению τ_{1jnp} .

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Д. Пашкеев. Об одном методе нахождения оптимального плана при мультипрограммировании для ВС.-Известия ВИА имени Можайского.

2. Д.А. Поспелов. Об одном способе построения ВС. КДНТП, Киев, 1964.
3. Д.А. Поспелов. О некоторых математических проблемах, возникающих при совместной работе нескольких вычислительных машин. Труды МЭИ, выпуск I, II, 1964, Москва.