

Сравнение среднего квадратичного отклонения потенциала поля, полученного с помощью геофизических измерений, со средним квадратичным отклонением φ -потенциала $u(P)$ в тех же самых точках на земной поверхности дает величину постоянной $W(F)$.

7. Предлагаемая здесь схема оценки экономической эффективности разведки рудных месторождений и подсчета запасов при несовпадении геолого-геофизических границ месторождения с границами кондиционности руды позволяет выдвинуть определенные прогнозы и внести рекомендации по организации геологоразведочных работ, связанные с размещением сети разведочных скважин и горных выработок, которые должны быть учтены при детальной разведке и на стадии составления проекта разработки месторождения. Учет этих прогнозов и рекомендаций в случае несовпадения указанных границ должен способствовать уменьшению общей стоимости геолого-геофизических работ и увеличению экономической эффективности разведки месторождения и подсчета запасов.

Настоящее рассмотрение строится без учета гидрогеологических и горно-технических условий разведки рудных месторождений, о которых геофизические методы разведки не дают какой-либо информации. Включение этих факторов в предлагаемую схему оценки экономической эффективности геологоразведочных работ и подсчета запасов рудных месторождений требует проведения дополнительного анализа затронутой здесь проблемы.

Выражаем благодарность П. П. Макагонову за участие в обсуждении настоящей работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960.
2. В. М. Крейтер. Поиски и разведки полезных ископаемых. М.—Л., Госгеоллиздат, 1940.
3. К. В. Темко, С. В. Темко. О потенциале равновесия. Докл. АН СССР, 1966, т. 166, № 3.
4. А. А. Никитин. Статистическое обнаружение слабых геофизических аномалий на фоне случайных помех (дис. МГРИ). М., 1967.
5. А. Н. Тихонов, В. Б. Гласко. О приближенном решении интегральных уравнений Фредгольма. Ж. вычисл. матем. и матем. физики, 1964, т. 4, № 2.
6. А. Н. Тихонов. О решении некорректно поставленных задач и методе регуляризации. Докл. АН СССР, 1963, т. 51, № 3.
7. А. Н. Тихонов. О регуляризации некорректно поставленных задач. Докл. АН СССР, 1963, т. 153, № 1.
8. А. Н. Тихонов. О нелинейных уравнениях первого рода. Докл. АН СССР, 1965, т. 161, № 5.
9. С. Бохнер. Лекции об интегралах Фурье. М., Физматгиз, 1962.
10. В. И. Крылов. Приближенное вычисление интегралов. М., «Наука», 1967.
11. М. Л. Антокольский. Теория информации и ее применение в геофизической разведке. М., 1965.
12. Л. Яноши. Теория и практика обработки результатов измерений. М., «Мир», 1968.
13. З. Павловский. Введение в математическую статистику. М., «Статистика», 1967.
14. А. Р. Зайдель, Г. И. Лохматов, Н. Н. Таусон. Математические методы при построении карт в практике геологических работ. М., 1967.
15. А. Р. Зайдель, А. С. Петухов. Электронно-вычислительные машины и их применение для обработки промыслово-геофизических данных. М., 1964.

Поступила в редакцию
10 IV 1968

СТРУКТУРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

В. Д. ТРУХНИЙ

(Москва)

Структурой S цифровой вычислительной машины (ЦВМ) будем называть конечный граф

$$(X, \Gamma),$$

где X — конечное множество устройств ЦВМ, Γ — функция, определяющая связи между ними. Две структуры — S_1 и S_2 являются различными, если $S_1 \neq S_2$ или $\Gamma_1 \neq \Gamma_2$.

Конкретные способы решения некоторой задачи на ЦВМ будем называть *машинными алгоритмами*.

Пусть заданы различные структуры ЦВМ $S_1, S_2, \dots, S_n$ и различные машинные алгоритмы $A_1, A_2, \dots, A_m$. Возникает вопрос, какую из заданных структур ЦВМ выбрать для реализации того или иного конкретного машинного алгоритма, или, наоборот, какой из имеющихся машинных алгоритмов более всего подходит для реализации на некоторой вполне определенной структуре ЦВМ? Очевидно, что ответ на эти вопросы возможен при наличии формального определения качества реализации машинного алгоритма A на структуре S .

В данной статье рассматриваются некоторые критерии, характеризующие качество реализации машинного алгоритма на ЦВМ, а также формулируются задачи анализа и синтеза пары: структура — машинный алгоритм. Изложение сопровождается конкретными расчетными примерами.

1. КРАТКИЙ ОБЗОР РАННИХ РАБОТ

Качество ЦВМ и машинных алгоритмов оценивалось стоимостью ЦВМ, ее быстродействием, требуемыми объемами памяти, количеством операций различной длительности и т. д. Эти довольно важные показатели не позволяют, однако, провести оценку качества реализации машинного алгоритма на ЦВМ.

В дальнейшем [1—7] стали рассматривать такие характеристики пары: алгоритм — ЦВМ, как полное время решения задачи, стоимости отдельных устройств и степени их используемости в процессе реализации алгоритма, а также некоторые их усредненные показатели. В [3—6] была указана необходимость точного определения критериев, характеризующих качество выполнения алгоритма на машине.

Такие формальные критерии были предложены в [8—11]. В них качество ЦВМ при решении заданного набора задач оценивалось по формуле

$$\xi = N / CT,$$

где ξ — эффективность ЦВМ; N — число решенных одинаковых задач за время T ; C — стоимость структуры.

В данной работе формулируются критерии, характеризующие качество реализации машинного алгоритма на ЦВМ и удовлетворяющие, на наш взгляд, следующим требованиям.

1. Критерии имеют формальное описание и допускают сравнительно простую процедуру вычисления их значений.

2. В критериях учитываются все существенные изменения, вносимые в структуру ЦВМ и машинный алгоритм.

3. При оценке качества выполнения машинных алгоритмов на ЦВМ критерии выявляют такие границы, как неиспользуемое оборудование и нереализуемость алгоритма.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗУЕМОСТИ УСТРОЙСТВ ЦВМ

Каждое устройство X_i структуры C при реализации на ней машинного алгоритма A «работает» в разной степени, для характеристики которой введем понятие *используемости* устройства X_i машинным алгоритмом A .

Выражения для вычисления численных значений используемости зависят как от вида устройства, так и от выполняемой на нем операции. Все устройства ЦВМ разделяются на два типа: 1) устройства типа устройства управления (УУ); 2) устройства типа накопителя.

К устройствам типа УУ будем относить устройства, способные вырабатывать и исполнять команды, например УУ буфера, УУ оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), УУ магнитного барабана (МБ), УУ перфоленты (ПЛ) вместе с лентопротяжным механизмом и т. д. К этой группе мы относим и центральное вычислительное устройство (ЦВУ), состоящее из арифметического устройства (АУ), УУ, а также блоков, исполняющих операции над адресами.

К устройствам типа накопителя относятся устройства ЦВМ, которые способны хранить информацию. Это, например, магнитные ленты (МЛ), МБ, ОЗУ, буфера, перфокарты (ПК), ПЛ.

Введем следующие обозначения:

$\tau(U; u_k)$ $k = 1, 2, \dots, K$, — время исполнения операции u_k на УУ U ; $p(U, u_k; A)$ — число исполнений операции u_k на U при реализации машинного алгоритма A ; $M(H)$ — объем памяти накопителя H ; $m(H; a_j; A)$; $t(H; a_j, A)$; $n(H; a_j, A)$, $j = 1, 2, \dots, J$, — соответственно длина данных с наименованием a_j , время их непрерывного хранения в накопителе H и число раз обращения к ним в течение $t(H; a_j, A)$ при реализации A ; T — полное время реализации машинного алгоритма A на структуре C .

Считая, что все a_j , $j = 1, 2, \dots, J$, принадлежат машинному алгоритму A , будем подсчитывать используемость УУ по формуле

$$v(U; A) = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^K \tau(U, u_k) p(U, u_k; A), \quad (1)$$

а используемость накопителя H по формуле

$$v(H; A) = \frac{1}{TM(H)} \sum_{j=1}^J m(H; a_j, A) t(H; a_j, A) e^{-\frac{m(H; a_j, A) t(H; a_j, A)}{\tau_H n(H; a_j, A)}}, \quad (2)$$

где τ_H — постоянная времени накопителя H .

Формула (2) показывает, что накопитель тем больше используется в «пространстве», чем больше длина массива, и тем больше «во времени», чем больше время пребывания массива в накопителе. Однако держать данные в накопителе «просто так» убыточно, и, чем чаще происходит

к ним обращение, тем накопитель лучше используется, что и учитывается в экспоненциальном множителе. Другими словами, сам факт занятости накопителя данными еще не означает хорошей его используемости. Действительно, если некоторые данные занимают накопитель и при реализации алгоритма обращение к ним редкое, то соответствующая часть накопителя используется «плохо».

Таким образом, τ_H в формуле (2) обозначает время, в течение которого данные могут находиться в накопителе без существенной потери качества его использования. τ_H определяется самим накопителем; причем если последний входит в структуру ЦВМ постоянно (ОЗУ, МБ, МЛ и т. д.), то τ_H есть время полного опроса всего накопителя и равно $\tau_H = \delta(H)M(H)$, где $\delta(H)$ — среднее время обращения за единицей информации в накопителе H .

Для накопителей, хранящихся вне машины (МЛ, ПК, ПЛ и т. д.), τ_H есть время качественного хранения информации на данном накопителе. Таким образом, τ_H задает иерархию скоростей и объемов накопителей.

Можно показать, что значение ν всегда меньше единицы.

3. ПРИМЕР ВЫЧИСЛЕНИЯ ν

Рассмотрим две структуры C_1 и C_2 с различными принципами связи между МЛ и ОЗУ.

Пусть структура C_1 (рис. 1) имеет четыре лентопротяжки, управляемые одним УУ МЛ, а в структуре C_2 (рис. 2) каждая лентопротяжка управляется своим собственным УУ и связь с ОЗУ осуществляется в режиме совмещения времени.

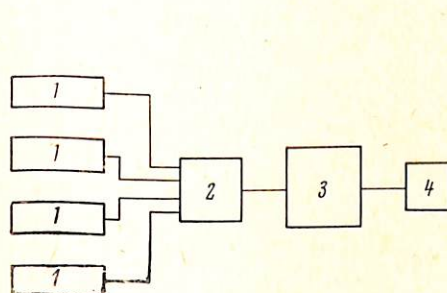


Рис. 1. Структура C_1 : 1 — МЛ, 2 — УУ МЛ, 3 — УУ ОЗУ, 4 — ОЗУ

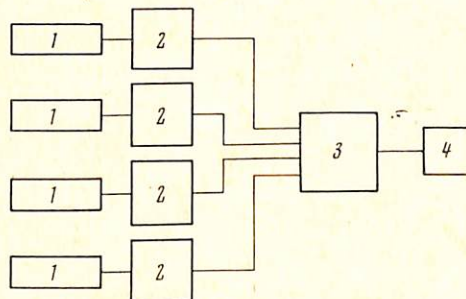


Рис. 2. Структура C_2 : 1 — МЛ, 2 — УУ МЛ, 3 — УУ ОЗУ, 4 — ОЗУ

Примем, что время обращения за одним символом, записанным в ОЗУ, равно 0,5 мксек, а в МЛ — 20 мксек, и старт-стоповое время МЛ равно 0,4 сек. Пусть, далее, на этих структурах мы реализуем алгоритм А, который содержит в себе операцию: передать на ОЗУ в каждую лентопротяжку с номером i массив данных длиной 3500 символов.

Предположим, что эта операция на структуре C_1 выполняется как машинный алгоритм A_1 : данные a_i передаются в соответствующие лентопротяжки через УУ МЛ последовательно друг за другом; а на структуре C_2 — как машинный алгоритм A_2 : данные a_i передаются по всем УУ МЛ одновременно в режиме совмещения времени.

Принимаем, что перед началом выполнения машинных алгоритмов A_1 и A_2 уже совершен точный подвод начала зон.

Пользуясь формулой (2), получим

$$v(\text{УУ МЛ}; A_1) = \frac{20 \cdot (4 \cdot 3500) \cdot 10^{-6}}{T_1} = \frac{0,28}{T_1},$$

$$v(\text{УУ ОЗУ}; A_1) = \frac{0,5 \cdot 14000 \cdot 10^{-6}}{T_1} = \frac{0,007}{T_1},$$

$$v(\text{УУ МЛ}; A_2) = \frac{20 \cdot 3500 \cdot 10^{-6}}{T_2} = \frac{0,7}{T_2},$$

$$v(\text{УУ ОЗУ}; A_2) = \frac{0,5 \cdot 14000 \cdot 10^{-6}}{T_2} = \frac{0,007}{T_2}$$

где T_1 и T_2 — время реализации всего алгоритма A на структурах C_1 и C_2 .

Пусть алгоритм A не содержит более операций обращения к МЛ и время исполнения всех остальных операций алгоритма на структурах C_1 и C_2 равно t_0 . Тогда

$$T_1 = t_0 + 4(t_{\text{старт}} + t_{\text{стоп}}) + 14000 \cdot 0,00002 = (t_0 + 1,08) \text{ сек.}$$

и

$$T_2 = t_0 + t_{\text{старт}} + t_{\text{стоп}} + 3500 \cdot 0,00002 = (t_0 + 0,27) \text{ сек.}$$

Действительно, машинный алгоритм A_1 требует четырехкратного последовательного исполнения операций: старт ленты, чтение массива, останов ленты. А машинный алгоритм A_2 реализуется одновременным стартом, обращением, остановом всех лент.

Окончательно получаем

$$v(\text{УУ ОЗУ}; A_1) = \frac{0,28}{t_0 + 1,08},$$

$$v(\text{УУ ОЗУ}; A_2) = \frac{0,07}{t_0 + 0,27},$$

$$v(\text{УУ МЛ}; A_1) = \frac{0,007}{t_0 + 1,08},$$

$$v(\text{УУ МЛ}; A_2) = \frac{0,007}{t_0 + 0,27},$$

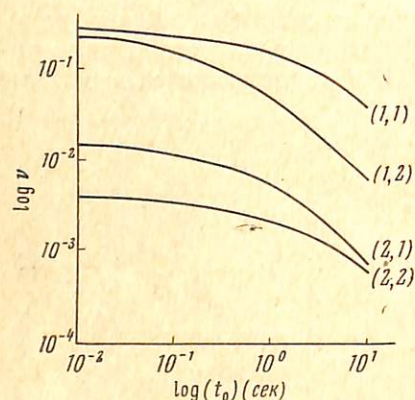


Рис. 3. Зависимость значений использования v УУ структур C_1 и C_2 от времени t_0 исполнения остальных (не связанных с данными УУ) операций машинного алгоритма: $(1, 1) — v(\text{УУ МЛ}; A_1)$, $(1, 2) — v(\text{УУ МЛ}; A_2)$, $(2, 1) — v(\text{УУ ОЗУ}; A_1)$, $(2, 2) — v(\text{УУ ОЗУ}; A_2)$.

Результаты расчетов представлены на рис. 3 в виде графиков, анализ которых позволяет сделать следующие выводы.

1. С ростом времени t_0 (времени исполнения всех остальных операций алгоритма A) значения v для УУ МЛ и УУ ОЗУ уменьшаются. Это говорит о том, что, чем

меньше «доля» операций обращения к МЛ (больше t_0) в алгоритме A , тем меньше по данной операции используются устройства, ее выполняющие.

2. Для всех значений t_0

$$v(\text{УУ ОЗУ}; A_1) < v(\text{УУ ОЗУ}; A_2),$$

причем для $t_0 < 0,1$

$$v(\text{УУ ОЗУ}; A_1) \ll v(\text{УУ ОЗУ}; A_2),$$

а для $t_0 > 1,0$

$$v(\text{УУ ОЗУ}; A_1) \approx v(\text{УУ ОЗУ}; A_2).$$

Это говорит о том, что при увеличении оборудования одного вида (у нас УУМЛ) используемость оборудования другого вида (у нас УУОЗУ) увеличивается заметно лишь в том случае, когда введенное оборудование участвует «значительно» (у нас $t_0 < 0,1$) в реализации алгоритма.

3. Для всех значений t_0

$$v(\text{УУМЛ}; A_1) > v(\text{УУМЛ}; A_2),$$

причем для $t_0 < 0,1$

$$v(\text{УУМЛ}; A_1) \gg v(\text{УУМЛ}; A_2),$$

а для $t_0 > 1,0$

$$v(\text{УУМЛ}; A_1) \gg v(\text{УУМЛ}; A_2).$$

Это говорит о том, что при увеличении оборудования одного вида (у нас УУМЛ) используемость этого оборудования примерно одна и та же для алгоритмов, в которых операции по загрузке этого оборудования преобладают (у нас $t_0 < 0,1$), и используемость его резко падает для алгоритмов, в которых операций по загрузке этого оборудования «мало» (у нас $t_0 > 1,0$).

4. ОПИСАНИЕ КРИТЕРИЕВ

4.1. Рассмотрим структуру C , содержащую набор устройств $X_1, X_2, \dots, X_m$, каждое из которых имеется в количестве $n_1, n_2, \dots, n_m$ и характеризуется ценой $C(X_1), \dots, C(X_m)$ соответственно. Величину $C(C)$, определяемую по формуле

$$C(C) = \sum_{i=1}^m n_i C(X_i), \quad (3)$$

назовем *стоимостью* структуры C .

Время $t(C; A)$, в течение которого машинный алгоритм A выполняется на структуре C , будем называть *временем реализации* машинного алгоритма A на структуре C .

Структурную избыточность π_C реализации машинного алгоритма A на структуре C определим как

$$\pi_C(C; A) = \sum_{i=1}^I C(X_i) / v(X_i; A), \quad (4)$$

а *информационную полезную используемость* π_A структуры C при реализации на ней машинного алгоритма A как

$$\pi_A(C; A) = \sum_{i=1}^I C(X_i) v(X_i; A), \quad (5)$$

где $v(X_i; A)$ — используемость i -го устройства структуры C алгоритмом A .

Заметим, что структурная избыточность π_C характеризует степень приспособленности некоторой структуры для выполнения данного машинного алгоритма (чем больше π_C , тем хуже приспособлена структура). Полезная информационная используемость π_A , наоборот, указывает, какую часть структуры данный машинный алгоритм использует эффективно (чем больше π_A , тем структура используется больше). Иными словами, π_C является некоторой мерой структурной избыточности, а π_A — информацион-

ной полезности при рассмотрении конкретной пары $C-A$. Очевидно, что величины π_C и π_A имеют размерности принятой цены.

Введем в рассмотрение коэффициенты η_C и η_A , определяемые по формулам

$$\eta_C(C; A) = \pi_C(C; A) / \Pi(C), \quad (6)$$

$$\eta_A(C; A) = \pi_A(C; A) / \Pi(C), \quad (7)$$

и назовем их соответственно: η_C — коэффициентом структурной избыточности структуры C при реализации на ней машинного алгоритма A ; η_A — коэффициентом полезного информационного использования структуры C машинным алгоритмом A .

Как следует из (6) и (7), коэффициенты η_C и η_A характеризуют те качества $C-A$, что и величины π_C и π_A , но в безразмерном виде.

Наконец, для общей оценки согласованности структуры C с машинным алгоритмом A введем коэффициент согласования ϕ структуры C с машинным алгоритмом A , определяемый по формуле

$$\phi(C; A) = 1/2(\eta_C(C; A) + \eta_A(C; A)). \quad (8)$$

Понятно, что пара $C-A$ согласована тем лучше, чем ближе к единице значение ϕ .

4.2. В ряде случаев (например, при использовании мультипрограммной машины или при решении задач в реальном масштабе времени) задается допустимое время T решения задачи A . По этой причине целесообразно ввести в рассмотрение коэффициент структурных затрат ξ_C и коэффициент информационных затрат ξ_A , определяемые по формулам

$$\xi_C(C; A) = \Pi(C)T(A) \text{ и } \xi_A(C; A) = \Pi(C)T(A).$$

По аналогии с (6) и (7) введем коэффициент структурно-информационной избыточности η_{CA} структуры C по машинному алгоритму A и коэффициент полезного информационно-структурного использования η_{AC} структуры C машинным алгоритмом A , которые будем вычислять соответственно по формулам (8) и (9)

$$\eta_{CA}(C; A) = \frac{\pi_C(C; A)/t(C; A)}{\xi_C(C; A)}, \quad (8)$$

$$\eta_{AC}(C; A) = \frac{\pi_A(C; A)t(C; A)}{\xi_A(C; A)}, \quad (9)$$

где π_C и π_A относятся к рассматриваемой паре $C-A$.

Наконец, определим ϕ_{CA} структурно-информационную согласованность структуры C с машинным алгоритмом A

$$\begin{aligned} \phi_{CA}(C; A) &= \frac{1}{2}(\eta_{CA}(C; A) + \eta_{AC}(C; A)) = \\ &= \frac{1}{2} \left(\pi_C(C; A) \frac{T(A)}{t(C; A)} + \pi_A(C; A) \frac{t(C; A)}{T(A)} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Как видно из формулы (10), структура и алгоритм при фиксированных η_C и η_A согласованы между собой тем лучше, чем меньше избыточность «во времени», т. е. при $t \rightarrow T$ имеет $\phi_{CA} \rightarrow 1$.

4.3. Все введенные критерии: t , π_C , π_A , η_C и др. были определены нами для оценки качества реализации одного машинного алгоритма. Отметим, что все эти значения вычисляются непосредственным моделированием реализации машинного алгоритма A на структуре C .

Для оценки качества реализации машинных алгоритмов A_r , $r = 1, 2, \dots, R$, на структуре C введем понятие совместной реализации A_r , $r = 1, 2, \dots, R$. Именно будем говорить, что машинные алгоритмы A_r , $r = 1, 2, \dots, R$, реализуются на структуре C *совместно*, если определена некоторая управляющая функция $\omega(A_1, A_2, \dots, A_R)$, которая объединяет $A_1, A_2, \dots, A_R$ в новый машинный алгоритм $\{A_r\}$, $r = 1, 2, \dots, R$, реализуемый на C как отдельный машинный алгоритм.

Обозначим буквой θ любой из критериев: t , π_C , π_A , η_C и т. д., определяемый по формулам (4) — (10), и будем говорить, что получено *точное* значение θ совместной реализации A_r , $r = 1, 2, \dots, R$, на структуре C , если θ вычислены путем моделирования машинного алгоритма $\{A_r\}$, $r = 1, 2, \dots, R$, на структуре C .

Если же значение θ совместной реализации $\{A_r\}$, $r = 1, 2, \dots, R$, на C подсчитывается по формуле

$$\theta(C; \{A_r\}) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \theta(C; A_r), \quad (11)$$

то будем говорить о *среднем* значении θ , характеризующем качество реализации машинных алгоритмов A_r , $r = 1, 2, \dots, R$, на C .

Отметим, что средние значения θ отличаются (порой значительно) от точных. Однако довольно часто задачи синтеза удобно формулируются именно в средних значениях (см. п. 6.6), а сами расчеты намного упрощаются (см. п. 7).

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА π_C , π_A

Предположим, что в условиях примера, описанного в п. 3, соотношение стоимостей УУ МЛ и УУ ОЗУ составляет 1 : 5 и что значения приращений $\Delta\pi_C$ и $\Delta\pi_A$ суть

$$\Delta\pi_C(C_j, A_j) = \frac{C(\text{УУ ОЗУ})}{v(\text{УУ ОЗУ}; A_j)} + \frac{C_j(\text{УУ МЛ})}{v(\text{УУ МЛ}; A_j)},$$

$$\Delta\pi_A(C_j, A_j) = C(\text{УУ ОЗУ})v(\text{УУ ОЗУ}; A_j) + \\ + C_j(\text{УУ МЛ})v(\text{УУ МЛ}; A_j).$$

Здесь $j = 1, 2$ перечисляет структуры C_1, C_2 и соответственно машинные алгоритмы A_1, A_2 .

Результаты расчетов приведены на рис. 4 и 5, анализ которых позволяет сделать следующие выводы:

1) значения $\Delta\pi_C$ (рис. 4) с ростом t_0 увеличиваются, причем для структуры C_2 скорее, чем для C_1 . Этот факт говорит о том, что структурная избыточность увеличивается значительно для машинных алгоритмов, которые «слабо» используют имеющееся в структуре оборудование. И чем этого оборудования больше (у нас C_2), тем скорее растет $\Delta\pi_C$;

2) в точке $t_0 = 5,5$ кривые 1 и 2 (рис. 4) пересекаются. Пусть критерием выбора структуры будет минимум структурной избыточности. Тогда для машинных алгоритмов, определяемых значениями $t_0 < 5,5$ следует выбирать структуру C_2 , а для алгоритмов, определяемых $t_0 > 5,5$ — структуру C_1 .

3) Из рис. 5 видно, что

$$\Delta\pi_A(C_1; A_1) < \Delta\pi_A(C_2; A_2),$$

причем для $t_0 < 1,0$

$$\Delta\pi_A(C_1; A_1) \ll \Delta\pi_A(C_2; A_2),$$

а для $t_0 \geq 1,0$

$$\Delta\pi_A(C_1; A_1) \approx \Delta\pi_A(C_2, A_2).$$

Этот факт говорит о том, что полезная используемость структур машинным алгоритмом увеличивается с введением того оборудования (у нас УУ МЛ), в котором данный машинный алгоритм наиболее «нуждается».

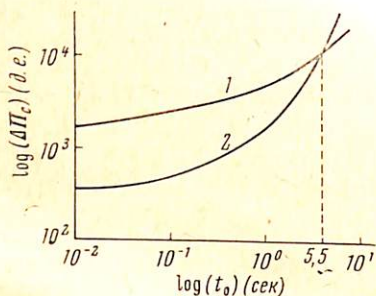


Рис. 4. Зависимость приращений $\Delta\pi_A$ информационной полезности структур C_1 и C_2 от t_0 : 1 — $\Delta\pi_A(C_1; A_1)$, 2 — $\Delta\pi_A(C_2, A_2)$

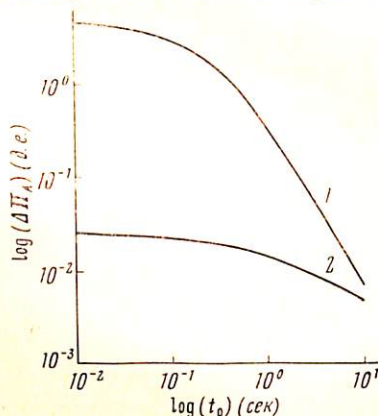


Рис. 5. Зависимость приращений $\Delta\pi_C$ структурной избыточности структур C_1 и C_2 от t_0 : 1 — $\Delta\pi_C(C_1; A_1)$, 2 — $\Delta\pi_C(C_2; A_2)$

6. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА

Сформулируем ряд основных простейших задач анализа и синтеза, решение которых основывается на определении качества выполнения машинного алгоритма A на структуре C .

6.1. *Задача анализа.* Заданы структура C и реализуемый на ней машинный алгоритм A . Процесс получения значений Π , t , η_C , η_A , Φ , η_{CA} , η_{AS} , Φ_{CA} назовем задачей анализа пары $C - A$.

6.2. *Задача информационного синтеза.* Заданы структура C и машинные алгоритмы A_j ($j = 1, 2, \dots, J$) решения некоторой задачи A на структуре C . Найти такой A_j , чтобы выполнялись условия

$$t(C; A_j) \leq t_{\text{доп}}, \quad \eta_A(C; A_j) \leq \eta_{A \text{ доп}}$$

и при этом значение $\Phi(C; A_j)$ было минимальным.

6.3. *Задача структурного синтеза.* Заданы структуры C_i ($i = 1, 2, \dots, I$) и задача A , которая реализуется на C_i по машинному алгоритму A_i . Требуется найти такую C_i , чтобы выполнялись условия

$$\Pi(C_i) \leq \Pi_{\text{доп}}, \quad t(C_i; A_i) \leq t_{\text{доп}}, \quad \Phi(C_i; A_i) \geq \Phi_{\text{доп}}$$

и при этом значение $\eta_C(C_i; A_i)$ было минимальным.

6.4. *Задача структурно-информационного синтеза.* Заданы структуры C_i , $i = 1, 2, \dots, I$, и задача A реализуется на C_i по машинным алгоритмам A_i , $i_j = i_1, i_2, \dots, i_J$. Определить такую пару C_i, A_{i_j} , чтобы выполнялись условия

$$\Pi(C_i) \leq \Pi_{\text{доп}}, \quad t(C_i; A_{i_j}) \leq t_{\text{доп}},$$

$$\eta_C(C_i; A_{i_j}) \geq \eta_{C \text{ доп}}, \quad \eta_A(C_i; A_{i_j}) \leq \eta_{A \text{ доп}}$$

и значение $\Phi(C_i, A_{i_j})$ было минимальным.

6.5. Аналогично можно сформулировать более сложные задачи синтеза для нескольких ЦВМ, работающих совместно, а также для мультипрограммных машин.

Пример. Дана мультипрограммная структура C , на которой необходимо решить r , $r = 1, 2, \dots, R$, задач. Причем каждая задача $A^{(r)}$ может быть реализована на C по A_{rj} , $r_j = r_1, r_2, \dots, r_J$, машинным алгоритмом. Для решения задачи $A^{(r)}$ отводится время $t_{\text{доп}}^{(r)}$, а для решения всех задач $A^{(r)}$, $r = 1, 2, \dots, R$, — время $T_{\text{доп}}$.

Требуется подобрать такую совместную реализацию $\{A_{rj}\}$ задач $A^{(r)}$, $r = 1, 2, \dots, R$, на структуре C , чтобы выполнялись условия

$$t(C, \{A_{rj}\}) \leq t_{\text{доп}}^{(r)}, \quad \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R t(C; \{A_{rj}\}) \leq T_{\text{доп}},$$

$$\frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \eta_{CA}(C; \{A_{rj}\}) \geq \eta_{CA \text{ доп}}, \quad \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \eta_{AC}(C; \{A_{rj}\}) \leq \eta_{AC \text{ доп}}$$

и при этом значение линейной формы

$$\frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \Phi_{CA}(C; \{A_{rj}\})$$

было минимальным.

7. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА

7.1. Пусть заданы наборы накопителей и их УУ, характеристики которых приведены в табл. 1 и 2. Кроме того пусть задано арифметическое цифровое печатающее устройство (АЦПУ) с длиной строки 128 знаков, печатающее 100 8-разрядных чисел в секунду. Цена АЦПУ вместе с УУ АЦПУ равна 3300 д.е. А также пусть заданы две модификации ЦВУ стоимостью 8000 и 1600 д.е. Времена исполнения операций сложения и умножения соответственно равны 1,0 и 5,0 мксек на первом ЦВУ и 5,0 и 25,0 мксек на втором.

Из этих устройств комплектуются структуры $C_1 - C_6$. Каждая C_i , $i = 1, 2, \dots, 6$, имеет набор МЛ, УУ МЛ, АЦПУ, ЦВУ (первая модификация), а количество остальных устройств определено в табл. 3. Структура C_7 имеет набор устройств структуры C_6 , но ЦВУ в ней — второй модификации. Отметим, что все структуры работают в режиме совмещения времени.

7.2. Предположим, заданы три задачи $A^{(1)}$, $A^{(2)}$, $A^{(3)}$ — перемножения двух квадратных матриц $B^{(i)}$, $i = 1, 2$, с размерами 10^4 , 10^5 и 10^6 , причем каждая из этих задач в процессе эксплуатации структуры встречается соответственно с вероятностями 0,01; 0,09; 0,9. Примем далее, что каждую из задач $A^{(r)}$, $r = 1, 2, 3$, необходимо реализовать на структуре C_j , $j = 1, 2, \dots, 7$, по программе, написанной на некотором алгоритмическом языке, транслятор для которой имеется в каждой структуре C_j .

Рассмотрим основные части этого воображаемого описания реализации задачи:

Таблица 1

Наименование накопителя	Объем накопителя, тыс. сл.	Стоимость накопителя, д. е.
ОЗУ	8	1000
МБ	32	390
Набор МЛ	2000	3600
ПЛ	20	280

- 1) установка перфолент с данными в трансмиттер (время установки одной перфоленты в трансмиттер принимаем равным 180 сек.);
- 2) ввод в ПЛ на МЛ двух прямоугольных матриц;
- 3) разбиение этих матриц на квадраты b_{nm} , $n, m = 1, 2, \dots, N$;
- 4) вычисление квадрата результата C_{nm} по формуле (без учета знаков) $C_{nm} = b_{n1}^{(1)}b_{1m}^{(2)} + b_{n2}^{(1)}b_{2m}^{(2)} + \dots + b_{nN}^{(1)}b_{Nm}^{(2)}$;
- 5) результат C_{nm} вычисляется независимо 10 раз;
- 6) печать минора результата на АЦПУ.

Таблица 2

Наименование устройства	Время чтения одного слова	Старт-стоповое время, сек.	Время обращения, мксек.	Стоимость, д. е.
УУ МЛ	1000	0,1	—	300
УУ МЛ	40	0,05	—	550
УУ МБ	10	—	200	600
УУ ОЗУ	2	—	—	1200

Таблица 3

Устройство	Структура						
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
ОЗУ и УУ ОЗУ	1	1	2	1	2	2	2
МБ и УУ МБ	1	1	1	2	2	2	2
ПЛ и УУ ПЛ	1	5	1	1	1	5	5

И пусть транслятор, отводя место для программы в ОЗУ, оставшуюся часть памяти разбивает на пять частей одинакового размера. В две из них вводятся очередные миноры с МЛ, в двух других хранятся перемножаемые в настоящий момент миноры, а в пятой записывается промежуточный минор результата умножения или сложения, передаваемый на МБ. Все промежуточные миноры выводятся на МБ, и после заполнения последнего производится последовательное сложение миноров. Во время сложения миноров операции поминорного умножения не выполняются.

7.3. Требуется из структур C_j , $j = 1, 2, \dots, 7$, и для задач $A^{(r)}$, $r = 1, 2, 3$, с соответствующими машинными алгоритмами A_{rj} выбрать такую структуру C_j , чтобы выполнялись условия

$$C(C_j) \leq C_{\text{доп}},$$

$$0,01\eta_C(C_j; A_{1j}) + 0,09\eta_C(C_j; A_{2j}) + 0,9\eta_C(C_j; A_{3j}) \geq \eta_{C\text{доп}},$$

$$0,01\eta_A(C_j; A_{1j}) + 0,09\eta_A(C_j; A_{2j}) + 0,9\eta_A(C_j; A_{3j}) \leq \eta_{A\text{доп}},$$

$$0,01t(C_j; A_{1j}) + 0,09t(C_j; A_{2j}) + 0,9t(C_j; A_{3j}) \leq t_{\text{доп}}$$

и при этом значение линейной формы

$$0,01\varphi(C_j; A_{1j}) + 0,09\varphi(C_j; A_{2j}) + 0,9\varphi(C_j; A_{3j})$$

было минимальным. Причем $C_{\text{доп}} = 4000$ д.е., $\eta_{C\text{доп}} = 2$, $\eta_{A\text{доп}} = 0,24$, $t_{\text{доп}} = 1800$ сек.

При решении этой задачи каждый машинный алгоритм A_{rj} , $r = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, \dots, 7$, моделировался на соответствующей структуре C_j . И по формулам (1), (2) вычислялись значения исползуемостей соответ-

ствующих устройств. Затем по формулам (4) — (8) вычислялись точные значения критериев для каждого соответствующего случая. Стоимости структур подсчитывались по формуле (3).

В табл. 4 даны значения структурно-информационных критериев (значения показателей, выделенные жирным шрифтом, не удовлетворяют условиям задачи). Анализ полученных результатов показывает следующее: 1) структура C_6 неприемлема по стоимости Π ; 2) структура C_7 неприем-

Таблица 4

Структуры	Стоимость, д. е.	η_A	η_C	Φ	t , сек.
C_1	17 240	0,18	3,2	1,69	1 900
C_2	19 560	0,16	2,8	1,48	960
C_3	19 440	0,25	4,7	2,47	1 640
C_4	18 230	0,17	3,4	1,74	1 940
C_5	20 430	0,14	2,4	1,27	1 750
C_6	22 750	0,15	2,2	1,18	740
C_7	30 750	0,50	1,6	1,05	740

лема по критерию η_C ; 3) структуры C_3 и C_7 неприемлемы по критерию η_A ; 4) структуры C_1 и C_4 неприемлемы по времени t ; 5) всем ограничениям по Π , η_C , η_A , t удовлетворяют только структуры C_2 и C_5 , из которых следует предпочесть структуру C_5 , имеющую меньшее значение Φ .

8. ВЫВОДЫ

1. Рассмотрена система критериев, позволяющая произвести оценку качества пары: структура ЦВМ и машинный алгоритм.

Предложенные критерии характеризуют прежде всего эффективность использования оборудования при реализации того или иного алгоритма.

2. Полученные результаты позволяют ставить разнообразные задачи выбора целесообразной структуры ЦВМ для заданного набора алгоритмов, оценки качества использования имеющегося оборудования и др.

3. Для более эффективного использования полученных результатов на практике необходимо разработать методы формального описания структур и машинных алгоритмов.

4. Система критериев, изложенная в статье, позволяет, по мнению автора, перейти в дальнейшем к более общей оценке эффективности ЦВМ с учетом затрат, качества обслуживания пользователей и получаемых выгод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. З. Лозинский. Внутренняя сортировка информации при ограниченной памяти. Техн. кибернетика, 1965, № 3.
2. Л. З. Лозинский. Дублирование массивов в системе обработки данных. Техн. кибернетика, 1966, № 4.
3. I. R. Hellegass. Standardized Benchmark problems measure computer performance. Computers and Automat., 1966, v. 15, № 1.
4. J. A. Gosden. Estimating computer performance. Computer J., 1963, v. 5, № 4.
5. D. Atherton. Memories. New ideas promise faster, cheaper, stores, but older devices aren't thrown away yet. Canad. Electr. Engng, 1966, Aug.
6. H. Kittel, P. Mertens. Einige quantitative Untersuchungen zur Größendegression von Datenverarbeitungslagen. Elektron Datenverarb. 1965, v. 7, № 6.
7. Дж. Кох, К. Дж. Колеский. Виртуальная память машины. Стреч. Кибернетический сборник, вып. 5, М., Изд-во иностр. лит., 1962.
8. В. М. Глушков. Два универсальных критерия для эффективности отчислюющих машин. Доповіді АН УССР, 1960, № 4.
9. В. М. Глушков Е. Л. Ющенко. Вычислительная машин «Киев», Киев, Гостехиздат, 1962.
10. А. В. Шилейко. Цифровые модели. М.—Л., «Энергия», 1964.
11. А. В. Шилейко. Методика выбора оптимальной структуры цифровой модели. АИТ, 1961, т. XXII, № 1.

Поступила в редакцию
12 V 1967