

А. В. ПЕТРОСЯН

ЛОГИЧЕСКАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЦВМ

Понятие производительности УЦВМ является практически важным; известно, что производительность УЦВМ зависит от многих ее инженерных, математических, экономических и эксплуатационных характеристик, однако точного определения этого понятия пока не существует.

Среди всех характеристик, перечисленных выше, нас будут интересовать только те, влияние которых на производительность УЦВМ может быть изменено математическими методами (не включаются в рассмотрение такие характеристики, как быстродействие элементов, частота синхронизирующих импульсов и пр.).

Рассматриваемую ниже производительность мы будем называть логической производительностью УЦВМ.

Пусть имеется некоторая УЦВМ, состоящая из $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ различных типов элементов с заданными характеристиками (временными) $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_p$, соответственно (под временными характеристиками элемента понимается время его срабатывания, время задержки, длительность импульса и т. п.).

Количество элементов соответствующих типов обозначим через $n_1, n_2, \dots, n_p$, а их стоимости* — через $c_1, c_2, \dots, c_p$.

Тогда общее количество элементов УЦВМ будет

$$K = \sum_{i=1}^p n_i,$$

а ее стоимость

$$C = \sum_{i=1}^p n_i c_i$$

* Под „стоимостью“ здесь понимается количество единиц оборудования.

Определение 1. Время $\tau = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^p n_i \tau_i$ назовем тактовым.

Пусть задан алгоритм A решения некоторой задачи. Перед решением задачи на УЦВМ необходимо произвести подготовительную работу (составление программы, кодирование, ввод информации, отладка программы и т. п.), объем которой зависит, в частности, от сложности решаемой задачи и некоторых характеристик УЦВМ.

Время, необходимое для составления программы, кодирования, ввода информации, отладки программы, переработки результатов обозначим через $T_{\text{прог.}}$, $T_{\text{кол.}}$, $T_{\text{ввод.}}$, $T_{\text{налад.}}$, $T_{\text{перераб.}}$ соответственно.

Если заданы числа $K_1, K_2, \dots, K_5$ ($K_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, 5$), то выражение

$T_{\text{подгот.}} = K_1 T_{\text{прог.}} + K_2 T_{\text{кол.}} + K_3 T_{\text{ввод.}} + K_4 T_{\text{налад.}} + K_5 T_{\text{перераб.}}$ * является приведенным временем для подготовительных работ.

Определение 2. Внешней составляющей Π_1 логической производительности данной УЦВМ (или внешней логической производительностью) для данного алгоритма A называется величина, обратная количеству тактов, необходимых для проведения подготовительных работ.

$$\Pi_1 = \frac{1}{N_1} = \frac{\tau}{T_{\text{подгот.}}}$$

Обозначим время реализации программы решения задачи на УЦВМ („чистое“ машинное время) в соответствии с алгоритмом (без времени на контроль решения) через $T_{\text{реш}}$ и будем считать, что УЦВМ работает абсолютно надежно.

Определение 3. Внутренней составляющей Π_2 логической производительности данной УЦВМ (или внутренней логической производительностью) для данного алгоритма A называется величина, обратная количеству тактов, необходимых для полного (без дополнительных расчетов) решения задачи.

$$\Pi_2 = \frac{1}{N_2} = \frac{\tau}{T_{\text{реш.}}}$$

Однако в связи с ненадежностью работы УЦВМ предпринимаются определенные меры для контроля правильности хода решения задачи (двойные просчеты, вычисление контрольных сумм и т. д.) и корректирования ошибок, вследствие чего решение задачи занимает время $T'_{\text{реш}} > T_{\text{реш.}}$. Дополнительное время, связанное с ненадежностью работы УЦВМ, обозначим через $T_{\text{над.}} = T'_{\text{реш.}} - T_{\text{реш.}}$.

Определение 4. Дополнительной составляющей Π_3 логической производительности данной УЦВМ для данного алгоритма A называется величина, обратная количеству дополнительных тактов для полного решения задачи (с учетом ненадежности работы УЦВМ).

* $K_1, K_2, \dots, K_5$ — весовые коэффициенты.

$$\Pi_3 = \frac{1}{N_3} = \frac{\tau}{T_{\text{над}}}.$$

Будем отличать рабочее состояние УЦВМ от нерабочего (ремонт, профилактика и пр.). Обозначим через P отношение времени, в течение которого УЦВМ находится в рабочем состоянии, к общему времени.

Определение 5. Логической производительностью данной УЦВМ для данного алгоритма A называется величина $\Pi_A = \frac{P}{N_A}$, где $N_A = N_1 + N_2 + N_3$.

Определение 6. Логической производительностью данной УЦВМ для данной группы алгоритмов $A_1, A_2, \dots, A_s$ с вероятностями появления $P_1, P_2, \dots, P_s$, соответственно, назовем величину, обратную математическому ожиданию случайной величины N_A , т. е. $\Pi = \frac{1}{N}$,

где $N = \sum_{i=1}^s N_{A_i} P_i$. Преобразуя N , получим:

$$\begin{aligned} N &= \sum_{i=1}^s N_{A_i} P_i = \sum_{i=1}^s (N_1(A_i) + N_2(A_i) + N_3(A_i)) P_i = \\ &= \sum_{i=1}^s N_1(A_i) P_i + \sum_{i=1}^s N_2(A_i) P_i + \sum_{i=1}^s N_3(A_i) P_i = \\ &= [M(N_1) + M(N_2) + M(N_3)], \end{aligned}$$

где через $M(N)$ обозначено математическое ожидание величины N .
Числа

$$\Pi(N_1) = \frac{P}{M(N_1)}; \quad \Pi(N_2) = \frac{P}{M(N_2)}; \quad \Pi(N_3) = \frac{P}{M(N_3)}$$

назовем, соответственно, внешней, внутренней и дополнительной компонентами логической производительности УЦВМ (для данной группы алгоритмов $A_1, A_2, \dots, A_s$ с вероятностями появления $P_1, P_2, \dots, P_s$).

Инженерные методы повышения производительности УЦВМ сводятся в основном к уменьшению длительности такта τ УЦВМ. Уменьшение длительности такта, вообще говоря, приводит к уменьшению логической производительности (если при этом не предприняты соответствующие меры). Действительно, $\Pi(N_1) = \frac{\tau P}{M(T_1)}$ и $\Pi(N_3) = \frac{\tau P}{M(T_3)}$ уменьшаются с уменьшением τ ($M(T_1)$ и $M(T_3)$ изменяются незначительно), а $\Pi(N_2)$ остается неизменной.

Таким образом, для того чтобы при увеличении инженерной производительности* (уменьшении длительности такта УЦВМ) логическая производительность не уменьшалась, необходимо при неизменной внутренней производительности УЦВМ увеличивать внешнюю и дополнительную производительность.

На данном этапе развития вычислительной техники мы вынуждены, ставя задачу вычисления логической производительности УЦВМ, рассматривать систему человек-машина, поскольку большинство элементов подготовительных работ выполняется человеком. Достаточно точно вычислять логическую производительность такой системы мы пока не умеем. Естественно, что в будущем программирование задачи, кодирование данных, отладка программы и переработка результатов будет возложено на УЦВМ, и тогда оценка полной логической производительности УЦВМ станет возможной. В настоящее время только внутренняя логическая производительность ($\Pi(N_2)$) поддается полному априорному подсчету.

Логическая производительность полностью не характеризует степень использования логических возможностей, хранящихся в данном оборудовании. Действительно, не меняя логики машины, можно изменить ее производительность с помощью механического увеличения объема оборудования.

Чтобы абстрагироваться от общего объема оборудования УЦВМ, введем некоторую характеристику, показывающую долю производительности, приходящуюся на единицу данного оборудования.

Определение 7. Величину $\Xi = \frac{\Pi}{C}$ назовем эффективностью логической производительности данной УЦВМ для данной группы алгоритмов с заданными вероятностями появления последних.

Ясно, что понятия логической производительности и ее эффективности могут быть распространены на любые устройства, перерабатывающие информацию; например, на арифметическое устройство (для которого $K_1 = K_2 = \dots = K_5 = 0$, и в класс решаемых им задач входят все арифметические операции, выполняемые данным устройством).

Рассмотрим несколько вариантов арифметических устройств (АУ) и проведем их сравнительный анализ с точки зрения эффективности их логической производительности. Будем предполагать, что $P = 1$, а в рассматриваемый класс задач включим сложение A_1 , вычитание A_2 , умножение A_3 , деление A_4 , некоторые логические операции A_5 с частотами появления (статистические данные):

$$P_1 + P_2 = 0,25; \quad P_3 = 0,3; \quad P_4 = 0,05; \quad P_5 = 0,4.$$

* Понятие инженерной производительности в данной работе не уточняется; величина последней принимается равной τ , что довольно не строго, так как повышение надежности может быть достигнуто инженерными методами.

Будем считать, что система абсолютно надежна, т. е. $N_3 = 0$. В табл. 1* приведены значения логической производительности и эффективности арифметических устройств шести вариантов.

В первом варианте для сложения двух чисел используется метод подготовительных функций для распространения переноса в сумматоре комбинационного типа. Сумматор первого варианта АУ является самым быстродействующим среди всех рассмотренных вариантов, но его логическая производительность и эффективность хуже, чем некоторых других АУ (II, III, IV).

Второй вариант АУ отличается от первого только тем, что сложение двух чисел производится подачей разрядов одного слагаемого на счетные входы триггеров сумматора (накопителя), где находится второе слагаемое. Быстродействие второго варианта АУ относительно первого варианта АУ немного меньше, но для осуществления логических функций сложения (сумма и перенос) в первом варианте используется большое количество переключающих элементов, и в итоге логическая производительность и эффективность второго варианта больше, чем первого варианта.

В АУ третьем и четвертом вариантах для сложения двух чисел используется обобщенный метод сквозного пробега для сумматоров комбинационного и накапливающего типа, соответственно, быстродействие четвертого варианта АУ меньше, чем быстродействие первых трех вариантов АУ, но объем оборудования этого варианта тоже меньше других, поэтому производительность и эффективность четвертого варианта АУ будет максимальной.

Однако нельзя думать, что уменьшение объема оборудования (за счет уменьшения быстродействия) АУ приведет к увеличению логической производительности и эффективности. В пятом и шестом вариантах АУ используется довольно мало оборудования по сравнению с четвертым вариантом (пятый вариант АУ содержит два регистра, а шестой вариант АУ всего один регистр), но они являются последовательными арифметическими устройствами и имеют малое быстродействие. Этим и объясняется малая логическая производительность и эффективность этих АУ (особенно шестого варианта).

Выше исследовалось влияние на логическую производительность и эффективность только цепей сложения (вычитания) в различных АУ. Отметим, что другие цепи всех АУ, реализующие операции деления, умножения, сдвига, логического сложения, логического умножения и т. п., аналогичны, так что на относительную величину логической производительности и эффективности этих АУ влияет только метод выполнения операции сложения.

* Табл. 1 составлена С. Арутюняном и Ю. Айвазяном.

Таблица

Варианты	Время сложения (мксек)	Время вычитания (мксек)	Время умножения (мксек)	Время деления (мксек)	Время логич. оп. (мксек)	Количество ячеек в АУ	Количество триггеров	Количество линий задержек	Количество отдельных пе- реключающих эле- ментов	Количество диодов	Количество триодов	Количество линий задержек	Стоимость С (диоды)	Тактовое время τ	N_{A_1}	N_{A_2}	N_{A_3}	N_{A_4}	N_{A_5}	Производи- тельность $\Pi = \frac{1}{N}$	Эффектив- ность $\Xi = \frac{\Pi}{C}$
I	0,28	0,28	23,04	46,08	0,5	263	114	8	271	5957	976	8	15797	0,115	2,435	2,435	283,3	566,6	4,35	$8,64 \cdot 10^{-3}$	$5,47 \cdot 10^{-7}$
II	0,52	0,52	27,36	54,72	0,5	263	114	8	271	5869	976	8	15709	0,115	4,52	4,52	238	476	4,35	$10,2 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$
III	1,03	1,03	31,04	62,08	0,5	261	114	36	12	4181	532	36	9861	0,20	7,6	7,6	181,8	363,6	2,5	$13,2 \cdot 10^{-3}$	$13,35 \cdot 10^{-7}$
IV	1,52	1,52	36,36	72,72	0,5	261	114	36	12	4397	532	36	10077	0,20	5,15	5,15	155,2	310,4	2,5	$15,5 \cdot 10^{-3}$	$15,3 \cdot 10^{-7}$
V	19	19	425,5	851	18	77	86	36	12	654	416	72	5534	0,30	63,3	63,3	1418,3	2837	60	$1,64 \cdot 10^{-3}$	$2,96 \cdot 10^{-7}$
VI	143	143	2722,5	5445	143	78	51	36	11	529	268	36	3569	0,26	550	550	10471	20942	550	$0,22 \cdot 10^{-3}$	$0,61 \cdot 10^{-7}$

ՈՒՆԻՎԵՐՍԱԼ ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻՒՄԻ ՏՐԱՄԱՐԱՆԱԿԱՆ
ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԷՖԵԿՏԻՎՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Տրվում են տրամաբանական արտադրողականության և էֆեկտիվության սահմանումները: Տրված սահմանումների համաձայն վերլուծության են ենթարկվում վեց տարբեր տեսակի թվաբանական հարմարանքներ, որոնց քանակական բնութագիրը բերված է մի ընդհանուր աղյուսակում: