

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ НА ОСНОВЕ СПЕЦПРОЦЕССОРОВ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО МАСШТАБА ВРЕМЕНИ

Е.Г. Толстолужская
(представил д.т.н., проф. Г.А. Поляков)

К реализации алгоритмов систем реального масштаба времени (РМВ) предъявляются крайне жесткие требования и ограничения. Это обуславливает необходимость применения спецпроцессоров, реализующих мультипараллельную обработку данных (СПП). В связи с этим возникает задача выбора оптимального состава показателей эффективности и обоснование методологии расчета их количественных значений.

Постановка проблемы. Мультипараллельная обработка данных приводит к использованию мультипараллельных алгоритмов и их реализации с помощью соответствующих архитектур СПП. Под мультипараллелизмом понимается выбор и применение оптимального состава методов параллельной обработки данных: совмещение независимых операций, конвейерный метод, декомпозиционный метод, кодово-матричный метод, мультипараллельная смесь алгоритмов [1, 2]. При этом возникает задача выбора состава показателей эффективности мультипараллельной реализации алгоритмов и обоснование методологии расчета их количественных значений.

Анализ литературы. Наличие большого числа факторов, оказывающих влияние на процесс параллельной реализации алгоритмов, не позволяет оценивать эффективность их выполнения с помощью одного показателя, поэтому на практике применяется, как правило, совокупность частных показателей. В качестве таких показателей обычно используются производительность вычислительных средств при реализации алгоритмов, достоверность реализации алгоритмов, точность результатов, время выполнения алгоритмов, цена эффективного быстрого действия, помехозащищенность, стоимость однократной реализации алгоритма, коэффициент загрузки аппаратуры [3 – 5].

Формулирование целей статьи. Целями статьи являются: рассмотрение состава показателей эффективности с помощью которых целесообразно оценивать качество реализации мультипараллельных алго-

ритмов; описание способов получения количественных значений показателей эффективности мультипараллельной реализации алгоритмов.

Исследования и результаты. В качестве одного из показателей, характеризующих эффективность реализации параллельных алгоритмов, целесообразно принять время выполнения алгоритма.

Среднее время реализации множества P операторов произвольного алгоритма определяется выражением

$$T(P) = \sum_{\xi=1}^W p_{\xi} T_{\xi}(c), \quad (1)$$

где W – число ветвей в алгоритме; p_{ξ} – вероятность реализации ξ -й ветви; T_{ξ} – время реализации ξ -й ветви параллельного алгоритма, определяемое как

$$T_{\xi} = \max_{P_j \in P(\xi)} (t_j^H + t_j) (c), \quad (2)$$

где $P(\xi)$ – множество операторов ξ -й ветви; t_j^H и t_j – момент начала и относительная временная глубина оператора $P_j \in P(\xi)$.

Рассмотренное соотношение обеспечивает возможность оценок и по максимальному времени реализации алгоритма. Для этого достаточно значение p_{ξ} положить равным единице для соответствующей ветви.

В ряде случаев необходимо уметь оценивать снижение временных затрат на выполнение алгоритмов за счет перехода к их параллельной реализации. Это обеспечивается показателем ДТ снижения временных затрат

$$DT = \frac{T_{\text{пос}}(P)}{T_{\text{пар}}(P)} \quad (\text{раз}). \quad (3)$$

В соотношении (3) $T_{\text{пос}}(P)$ и $T_{\text{пар}}(P)$ – среднее время соответственно последовательной и параллельной реализации алгоритма (или максимальные времена реализации алгоритма).

Среднее приведенное быстродействие при реализации параллельных алгоритмов определяется отношением математического ожидания числа операторов, выполняемых при реализации алгоритма с учетом различной вероятности выполнения отдельных ветвей, к математическому ожиданию времени реализации алгоритма

$$B(P) = \frac{\sum_{\xi=1}^W p_{\xi} \sum_{t^H=1}^{T^{\xi}} H^{\xi}(t^H)}{\sum_{\xi=1}^W p_{\xi} T_{\xi}} \quad (\text{опер.с}), \quad (4)$$

где $H^{\xi}(t^H)$ – количество операторов ξ -й ветви алгоритма, реализация которых с помощью спецпроцессора (СПП) начинается в момент времени t^H .

Для систем реального масштаба времени ввиду их сложности большее значение имеют также показатели, характеризующие экономическую сторону применения цифровых вычислительных средств для реализации алгоритмов.

Таковыми показателями являются эквивалентная вентиляльная сложность аппаратных средств СПП и показатель использования (загрузки) аппаратных средств при реализации определенных алгоритмов с помощью СПП. Для получения расчетных соотношений этих показателей введем следующие обозначения: ν – число различных типов компонентов (выполняющих каждый конкретную операцию над данными фиксированной разрядности), входящих в состав СПП; $\Theta = \{\Theta_{\eta}\}$ – множество различных типов Θ_{η} компонентов, которые входят в состав СПП; $N = \{n_{\eta}\} (\eta = \overline{1, \nu})$ – множество количеств компонентов типа Θ_{η} в составе СПП; $K = \{K_{\eta\xi\delta}\}$ – множество количеств $K_{\eta\xi\delta}$ операторов $P_j \in P$, которые выполняются компонентом типа Θ_{η} , имеющим номер δ , в процессе реализации ξ -й ветви алгоритма с помощью СПП; $T^0 = \{t_{\eta}^0\} (\eta = \overline{1, \nu})$ – множество значений времени выполнения операторов различных типов $\Theta_{\eta} \in \Theta$ компонентами соответствующих типов; $Q = \{q_{\eta}\} (\eta = \overline{1, \nu})$ – множество значений эквивалентной вентиляльной сложности компонентов типов $\Theta_{\eta} \in \Theta$, входящих в состав СПП.

С учетом введенных обозначений эквивалентную вентиляльную сложность СПП можно определить следующим соотношением:

$$Q = \sum_{\eta=1}^{\nu} q_{\eta} n_{\eta}, \quad (\text{экв. вент}). \quad (5)$$

Среднее значение функционального показателя загрузки компонентов каждого типа $\Theta_{\eta} \in \Theta$ можно рассчитать в соответствии с выражением

$$S(P_\eta) = \frac{\sum_{\xi=1}^W (t_\eta^0 K_{\eta\xi} p_\xi)}{n_\eta T}, \quad (\text{раз}), \quad (6)$$

где $P_\eta \subseteq P$ – подмножество операторов $P_j \in P$, имеющих тип Θ_η , а

$$K_{\eta\xi} = \sum_{\delta=1}^{n_\eta} K_{\eta\xi\delta}.$$

Тогда среднее значение полного показателя загрузки всех компонентов, входящих в состав СПП, можно определить следующим соотношением:

$$S(P) = \sum_{\eta=1}^v S(P_\eta) = \frac{1}{T} \sum_{\eta=1}^v \frac{1}{n_\eta} \sum_{\xi=1}^W (t_\eta^0 K_{\eta\xi} p_\xi), \quad (\text{раз}). \quad (7)$$

Важное прикладное значение имеет задача определения числа компонентов, использование которых при параллельной реализации алгоритма обеспечивает достаточно большое снижение временных затрат (либо заданное снижение временных затрат) за счет параллельного выполнения алгоритма, с одной стороны, и возможно более высокое значение коэффициента использования оборудования (либо достижение заданного значения этого коэффициента), с другой. В таких случаях можно в качестве производного показателя брать эффективность распараллеливания, представляющий собой произведение показателя снижения временных затрат на показатель использования оборудования, в качестве производного показателя брать эффективность распараллеливания

$$R(P) = \frac{DT(NM)}{DT_{\max}(NM)} \cdot \frac{S(NM)}{S_{\max}(NM)}, \quad (\text{раз}). \quad (8)$$

Принимая во внимание, что максимальное снижение временных затрат при использовании NM процессоров не может превышать количество NM процессоров т.е. $DT_{\max}(NM) \leq NM$, а максимальное значение показателя загрузки оборудования не превышает 1 т.е. $S_{\max}(NM) \leq 1$, формула (8) может быть преобразована к следующему виду:

$$R(P) = \frac{DT(NM)}{NM} \cdot S(NM), \quad (\text{раз}). \quad (9)$$

Для СПП систем обработки данных и систем управления, работающих в реальном или квазиреальном масштабе времени, одним из важнейших требований является требование ввода данных извне в СПП и выдачи результатов их обработки в систему с необходимой тактовой частотой $F_{\text{зад}}$ или с заданным тактом $T_{\text{зад}}$. Значения $F_{\text{зад}}$ и $T_{\text{зад}} = 1/F_{\text{зад}}$

определяются скоростью протекания реальных физических процессов.

Значения такта (тактового интервала) ТТ для СПП, содержащего в своем составе компоненты типа $\Theta_{\eta} \in \Theta$ с известными временными ха-

рактеристиками $T = \{t\}$, $\eta = 1 \dots v$, определяется следующим образом:

$$TT = \max_{\eta=1 \dots v} (t_{\eta}^0) + 2dt^{\Phi}, \quad (9)$$

где $dt^{\Phi} = \max(t_{\text{зап}}^0, t_{\text{чт}}^0)$, а $t_{\text{зап}}^0$ и $t_{\text{чт}}^0$ – соответственно величина цикла записи и величина цикла считывания данных из компонентов памяти, выполняющих роль «фиксаторов» промежуточных результатов и используемых в СПП для организации конвейерной или декомпозиционной обработки данных.

С целью иллюстрации основных из рассмотренных показателей эффективности параллельной реализации алгоритмов на рис. 2 – 5 представлены графики зависимости показателей Т(Р), DT(Р), S(Р) и R(Р) от количества NM компонентов применительно к задаче, представленной Си-программой (рис. 1).

<pre>#include <stdio.h> #include <math.h> void main(void) { int b,m,j,t,l,z,y,s,r,d,n; double x,i,a,k,v,c; void pr(double a1,int b1,double c1,int e1,int *t1,int *l1); void pk(double x1,int l1,double c1,int *s1,int *r1); scanf("%f",&a);scanf("%f",&b);scanf("%f",&c); x = a + b; k = sin(x); m = (int)k % 2;</pre>	<pre>j = x / (b % 2); pr(a,b,c,2,&t,&l); z = (a + b) * (b - t); n = z % 2; y = b * c; pk(x,l,c,&s,&r); d = (r / y) % 2; i = s + r / y; v = cos(i); pk(m,j,i,&s,&r); pr(j,z,y,2,&t,&l); }</pre>
--	--

Рис. 1. Си-программа

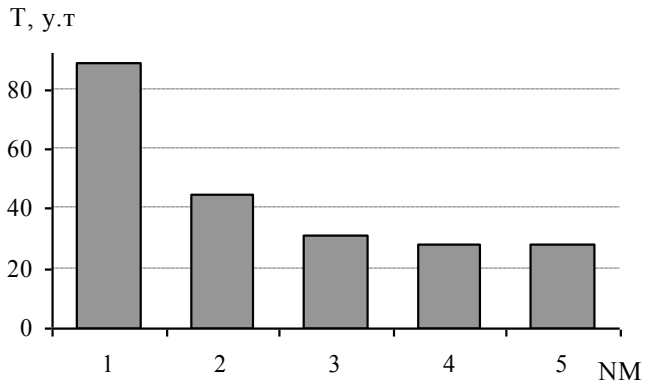


Рис. 2. Среднее время в решении задач

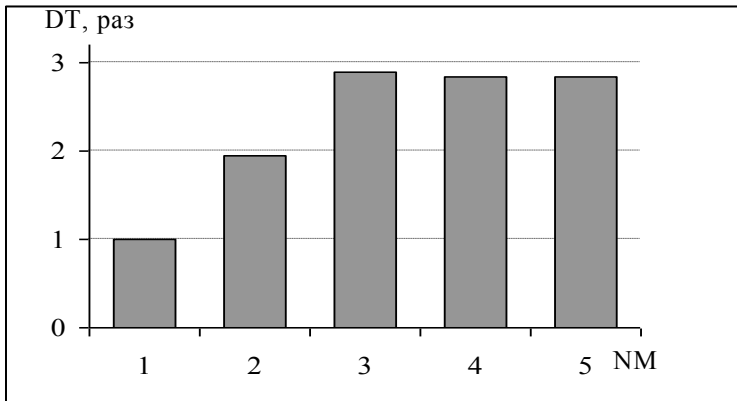
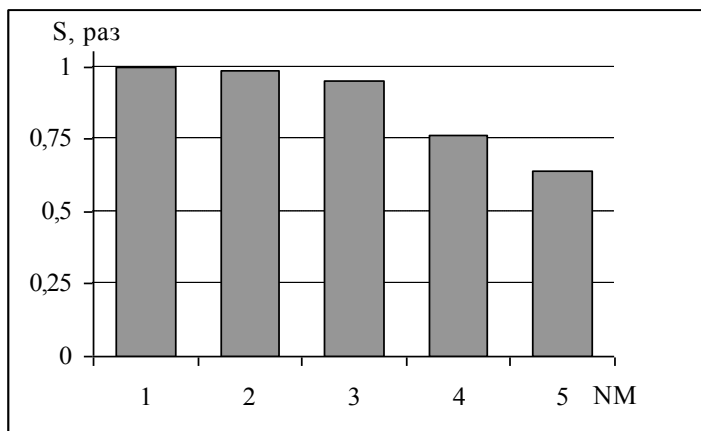


Рис. 3. Сокращение времени решения DT задачи



параллельного аппаратного обеспечения

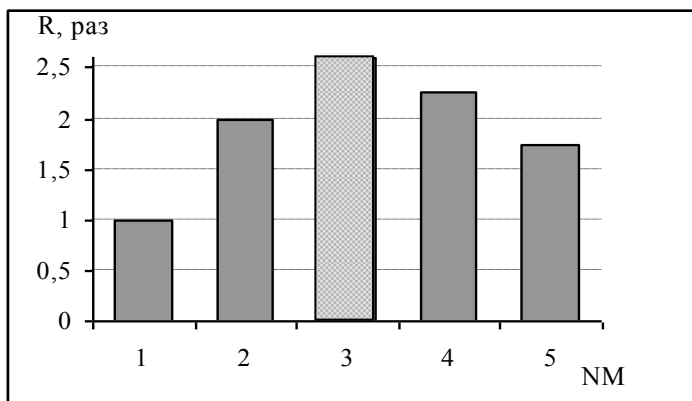


Рис. 3. Оценки эффективности К параллельного процесса

Выводы. 1. Рациональный состав показателей эффективности для оценки временных характеристик и характеристик сложности мультипараллельного выполнения алгоритмов в реальном масштабе времени включает: среднее время реализации алгоритмов, средний выигрыш во времени выполнения алгоритмов, тактовую частоту реализации мультипараллельных алгоритмов, среднее быстродействие для конкретного алгоритма, средний коэффициент использования оборудования, эффективность мультипараллельной обработки.

2. Получение численных значений показателей эффективности основывается на синтезе и применении временных моделей мультипараллельной реализации алгоритмов, учитывающих особенности конкретных алгоритмов систем реального масштаба времени, характеристики элементной базы спецпроцессоров и конкретную систему требований и

ограничений.

3. Перечисленные показатели эффективности обеспечивают решение двух важных практических задач для систем реального масштаба времени:

- задачи анализа – выбора из множества спецпроцессоров оптимального спецпроцессора для конкретной системы РМВ;
- задачи синтеза – проектирования структуры оптимального спецпроцессора для конкретной системы РМВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков Г.А. *Адаптивные самоорганизующиеся системы с мультипараллельной обработкой данных – стратегия развития цифровой вычислительной техники в XXI веке // Прикладная радиоэлектроника.* – Х.: АН ПРЭ, 2002. – Т. 1. – № 1. – С. 57 – 69.
2. *Отчет о НИР / Под ред. Г.А. Полякова.* – Х.: НК АУ, 1994. – 302 с.
3. *Алгоритмы и программы : Учебник для вузов / В.Б. Смолов, В.В. Барашенков, В.Д. Байков и др.; Под ред. В.Б. Смолова.* – М.: Высш. школа, 1981. – 279 с.
4. Кузьмин С.З. *Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации.* – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
5. Поляков Г.А., Умрихин Ю.Д. *Автоматизация проектирования сложных цифровых систем коммутации и управления.* – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.

Поступила 13.10.2004

ТОЛСТОЛУЖСКАЯ Елена Геннадиевна, младший научный сотрудник Харьковского университета Воздушных Сил. Область научных интересов – автоматизация проектирования цифровых устройств.
