УДК 681.3.06

МАСШТАБИРУЕМЫЕ БАНКОВСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Павлов Павел Александрович, к.ф.–м.н., доцент,
Полесский государственный университет, pin2535@tut.by

Аннотация: получены условия и критерии эффективности распределенных информационных систем.

Ключевые слова: масштабируемость, процесс, программный ресурс, стационарная система.

Масштабируемость (scalability) является одним из важнейших требований к современным банковским информационным системам (БИС). Она подразумевает способность информационной системы увеличивать свою производительность при добавлении аппаратных и программных ресурсов. Общим свойством, обеспечивающим повышение производительности БИС, является *распределенность* операций и данных с использованием принципов *структурирования* и *конвейеризации* [1]. В связи с этим особую актуальность приобретают задачи построения и исследования математических моделей распределенных БИС, поиска условий эффективной их организации.

1. Математическая модель масштабируемой распределенной БИС.

Процесс будем рассматривать как последовательность блоков $Q_1, Q_2, \ldots, Q_s$ структурированной операции, для выполнения которых используется множество процессоров. При этом процесс называется *распределённым*, если все блоки или часть из них обрабатываются разными процессорами. Для ускорения выполнения процессы могут обрабатываться параллельно, взаимодействуя путем обмена информацией. Такие процессы называются *кооперативными* или *взаимодействующими* процессами.

Понятие *ресурса* используется для обозначения любых объектов БИС, которые могут быть использованы процессами для своего выполнения. *Реентерабельные* ресурсы характеризуются возможностью одновременного использования несколькими процессами. Для информационных систем кредитных и финансовых организаций характерной является ситуация, когда одну и ту же последовательность блоков или ее часть необходимо процессорам выполнять многократно, такую последовательность будем называть *программным ресурсом* (ПР), а множество соответствующих процессов – *конкурирующими*.

Математическая модель масштабируемой распределенной БИС взаимодействующих процессов включает в себя *p* процессоров, *n* конкурирующих процессов, *s* блоков $Q_1, Q_2, \ldots, Q_s$ структурированного на блоки программного процесса, матрицу $T_p = [t_{ij}]$ времен выполнения *j*–х блоков *i*–ми конкурирующими процессами. Указанные параметры изменяются в пределах $p \geq 2$, $n \geq 2$, $s \geq 2$, $1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq s$. Будем считать, что все *n* процессов используют одну копию структурированного на блоки ПР, а на множестве блоков установлен линейный порядок их выполнения. Учитывая то, что обменные операции в параллельных распределенных БИС происходят, как правило, значительно медленнее арифметических, введем в рассмотрение параметр $\varepsilon > 0$, характеризующий время, затрачиваемые многопроцессорной системой (МС) на организацию параллельного выполнения блоков программного ресурса множеством распределенных конкурирующих процессов.

Будем считать, что взаимодействие процессов, процессоров и блоков структурированного программного ресурса подчинено следующим условиям: 1) ни один из блоков программного ресурса не может обрабатываться одновременно более чем одним процессором; 2) ни один из процессоров не может обрабатывать одновременно более одного блока; 3) обработка каждого блока осуществляется без прерываний; 4) распределение блоков программного ресурса по процессорам МС для каждого из процессов осуществляется циклически по правилу: блок с номером $j = kp + i$, $j = \overline{1, s}$, $i = \overline{1, p}$, $k \geq 0$, распределяется на процессор с номером *i*.

Введем дополнительные условия, которые определяют режимы взаимодействия процессов, процессоров и блоков ПР: 5) отсутствуют простои процессоров при условии готовности блоков, а также невыполнение блоков при наличии процессоров; 6) для каждого из *n* процессов момент завершения выполнения *j*–го блока на *i*–м процессоре совпадает с моментом начала выполнения следующего *(j+1)*–го блока на *(i+1)*–м процессоре, $i = \overline{1, p-1}$, $j = \overline{1, s-1}$; 7) для каждого из блоков структурированного ПР момент завершения его выполнения *l*–м процессом совпадает с моментом начала его выполнения *(l+1)*–м процессом на том же процессоре, $l = \overline{1, n-1}$.

Условия 1–5 определяют *асинхронный* режим взаимодействия процессоров, процессов и блоков, который предполагает отсутствие простоев процессоров МС при условии готовности блоков, а также невыполнение блоков при наличии процессоров.

Если к условиям 1–4 добавить условие 6, то получим *первый синхронный* режим, обеспечивающий непрерывное выполнение блоков программного ресурса внутри каждого из процессов.

Второй синхронный режим, определяемый условиями 1–4, 7, обеспечивает непрерывное выполнение каждого блока всеми процессами.

Определение 1. Масштабируемая БИС *n* распределенных взаимодействующих конкурирующих процессов называется *неоднородной*, если времена выполнения блоков программного ресурса $Q_1, Q_2, \ldots, Q_s$ зависят от объемов обрабатываемых данных и/или их структуры, т. е. разные для разных процессов.

Определение 2. Система взаимодействующих конкурирующих процессов называется *одинаково– распределенной*, если времена t_{ij} выполнения блоков Q_j, $j = \overline{1, s}$, программного ресурса каждым из *i*–х процессов совпадают и равны t_i для всех $i = \overline{1, n}$, т.е. справедлива цепочка равенств $t_{i1} = t_{i2} = \ldots = t_{is} = t_i$ для всех $i = \overline{1, n}$.

2. Необходимые и достаточные условия эффективности одинаково–распределенных БИС.

В [2] для вычисления общего времени выполнения множества конкурирующих неоднородных и одинаково–распределенных процессов в рамках очерченных режимов получены различные математические соотношения. В [3,4] решены задачи сравнительного анализа полученных соотношений для класса одинаково–распределенных процессов с учетом дополнительных накладных расходов $\varepsilon > 0$. Доказано, что для одинаково–распределенных систем конкурирующих процессов минимальное общее время для всех трех базовых режимов в случае *неограниченного* параллелизма *(* $s \leq p$ *)* вычисляется по формуле:

$$T(p, n, s, \varepsilon) = T_{\varepsilon}^{n} + (s-1) t_{\max}^{\varepsilon},$$

а в случае *ограниченного* параллелизма *(* $s > p$ *)* для вычисления минимального общего времени в асинхронном и втором синхронном режимах имеют место соотношения:

$$T(p, n, s, \varepsilon) = \begin{cases} kT_{\varepsilon}^{n} + (p-1) t_{\max}^{\varepsilon}, & s = kp, \ k > 1, \\ (k+1) T_{\varepsilon}^{n} + (r-1) t_{\max}^{\varepsilon}, & s = kp + r, \ k \geq 1, \ 1 \leq r < p, \end{cases}$$ где

$T_{\varepsilon}^{n} = \sum_{i=1}^{n} t_i^{\varepsilon}$ – суммарное время выполнения каждого из блоков Q_j всеми *n* процессами с учетом накладных расходов ε, $t_{\max}^{\varepsilon} = \max\limits_{1 \leq i \leq n} t_i^{\varepsilon}$, $t_i^{\varepsilon} = t_i + \varepsilon$, $i = \overline{1, n}$.

Определение 3. Одинаково–распределенную масштабируемую систему конкурирующих процессов назовем *стационарной*, если выполняется цепочка равенств $t_1 = t_2 = \ldots = t_n = t$.

В [5] показано, что в случае стационарной одинаково–распределенной масштабируемой системы конкурирующих процессов минимальное общее время их выполнения при достаточном числе процессоров МС $(s \le p)$ определяется равенством $\overline{T}_{\varepsilon} = (n+s-1)t_{\varepsilon}$, где $t_{\varepsilon} = T^n / n + \varepsilon$, $T^n = nt$.

Определение 4. Одинаково–распределенную систему конкурирующих взаимодействующих процессов будем называть *эффективной* при фиксированных $p,\ s \ge 2$, если выполняется соотношение $\Delta_{\varepsilon}(n) = sT^n - T(p,n,s,\varepsilon) \ge 0$, где sT^n – время выполнения блоков Q_j, $j = \overline{1,s}$ всеми *n* процессами в последовательном режиме.

При наличии двух эффективных одинаково–распределенных масштабируемых систем взаимодействующих конкурирующих процессов будем считать, что первая более эффективна, чем вторая, если величина $\Delta_{\varepsilon}(n)$ первой системы не меньше соответствующей величины второй. Для введенного подмножества одинаково– распределенных систем справедливо следующее утверждение [6].

Теорема 1. Для любой эффективной одинаково– распределенной системы конкурирующих процессов при $s \le p$ *и* $\varepsilon > 0$ *существует более эффективная стационарная одинаково–распределенная система.*

Следующее утверждение устанавливает достаточное условие эффективности одинаково–распределенной системы в случае неограниченного параллелизма.

Теорема 2. Если параметры p, n, s, ε *одинаково– распределенной масштабируемой системы взаимодействующих конкурирующих процессов удовлетворяют соотношениям:*

$$3 \le s \le p,\ n = s \ne 3,\ sn \ge 2(n+s-1),\ 0 < \varepsilon \le \min_{1 \le i \le n} t_i,$$

то такая система является эффективной.

Ниже формулируется необходимое и достаточное условие существования эффективной системы одинаково– распределенных конкурирующих процессов при достаточном числе процессоров в зависимости от величины накладных расходов ε.

Теорема 3. Для существования эффективной одинаково–распределенной масштабируемой системы конкурирующих взаимодействующих процессов с заданными параметрами $p \ge 3$, $s \le p$, $\varepsilon > 0$ *и* T^n *необходимо и достаточно выполнение следующих условий:*

$$\varepsilon \le \begin{cases} \varphi(1+\sqrt{s}), & \sqrt{s} - \text{целое}, \\ \max\{\varphi(1+[\sqrt{s}\,]),\ \varphi(2+[\sqrt{s}\,])\}, & \sqrt{s} - \text{нецелое}, \end{cases}$$

где $\varphi(x) = \dfrac{(s-1)T^n(x-1)}{x(x+s-1)}$, *[x] – наибольшее целое, не превосходящее x.*

Замечание. При $p = s = 2$ одинаково распределенная масштабируемая система конкурирующих процессов будет эффективной, если выполняется неравенство $\dfrac{\varepsilon}{T^n} \le \dfrac{n-1}{n(n+1)}$.

3. Эффективность одинаково–распределенных систем в условиях ограниченного параллелизма.

Теорема 4. Если параметры одинаково–распределенной системы $n \ge 3$ *конкурирующих процессов в многопроцессорной системе с p процессорами удовлетворяют соотношениям* $s \ge 3$,

$n = s \neq 3$ *и* $0 < \varepsilon \leq \min\limits_{1 \leq i \leq n} t_i$, *то рассматриваемая система будет эффективной, если выполняются условия:*

$$sn \geq \begin{cases} 2(kn + p - 1), & s = kp, \ k > 1, \\ 2((k+1)n + r - 1), & s = kp + r, \ k \geq 1, \ 1 \leq r < p. \end{cases}$$

Ниже для асинхронного и второго синхронного режимов формулируется необходимое и достаточное условие существования эффективной системы одинаково–распределенных конкурирующих процессов в случае ограниченного параллелизма в зависимости от величины накладных расходов ε.

Теорема 5. Для существования эффективной одинаково–распределенной системы конкурирующих процессов с заданными параметрами $p \geq 3$, T^n, $\varepsilon > 0$ *необходимо и достаточно, чтобы выполнялись следующие условия:*

1) при $s = kp, \ k > 1$,

$$\varepsilon \leq \begin{cases} \varphi_1\left(\dfrac{1+\sqrt{p}}{k}\right), & \dfrac{1+\sqrt{p}}{k} - \text{целое}, \\ \max\left\{\varphi_1\left(\left[\dfrac{1+\sqrt{p}}{k}\right]\right), \ \varphi_1\left(\left[\dfrac{1+\sqrt{p}}{k}\right]+1\right)\right\}, & \dfrac{1+\sqrt{p}}{k} - \text{нецелое}, \end{cases}$$ *где*

$\varphi_1(x) = (p-1)T^n(kx-1)/x(kx+p-1)$, *а [x] – наибольшее целое, не превосходящее x;*

2) при $s = kp + r, \ k \geq 1, \ 1 \leq r < p$,

$$\varepsilon \leq \begin{cases} \varphi_2(x), & \text{если } x - \text{целое}, \\ \max\{\varphi_2([x]), \ \varphi_2([x]+1)\}, & \text{если } x - \text{нецелое}, \end{cases}$$

где $\varphi_2(x) = \dfrac{\left[(p-1)kx + (r-1)(x-1)\right] \, T^n}{x\,\left[(k+1)x + r - 1\right]}$, *[x] – наибольшее целое, не превосходящее x, где* $x = \dfrac{r-1}{(p-1)k + r - 1}\left(1 + \sqrt{1 + \dfrac{(p-1)k + r - 1}{k+1}}\right)$.

Полученные условия эффективности одинаково–распределенных масштабируемых систем конкурирующих взаимодействующих процессов имеют многочисленные области применения. В частности, они могут быть использованы при проектировании системного и прикладного банковского программного обеспечения, ориентированного на масштабируемые многопроцессорные системы, вычислительные сети, а также при решении проблем оптимального использования вычислительных ресурсов. Полученные формулы также служат основой для решения задач оптимизации числа блоков при заданных остальных параметрах МС, нахождения оптимального числа процессоров при заданных объемах вычислений и (или) директивных сроках реализации вычислительных процессов, исследования всевозможных смешанных режимов организации выполнения процессов при распределенной обработке, в том числе с учетом ограниченного числа копий структурированного программного ресурса.

Список использованных источников:

1. Коваленко, Н.С., Самаль, С.А. Вычислительные методы реализации интеллектуальных моделей сложных систем. Мн., 2004. 166 с.

2. Павлов, П.А., Коваленко, Н.С. Математическое моделирование параллельных процессов. – Germany: Lambert Academic Publishing, 2011. – 246 с.

3. Павлов, П.А. Анализ режимов организации одинаково распределенных конкурирующих процессов / П.А. Павлов // Вестник БГУ. Серия 1: Физика. Математика. Информатика. – 2006. – №1. – С. 116–120.

4. Павлов, П.А. Сравнительный анализ одинаково распределенных конкурирующих процессов с учетом дополнительных системных расходов / П.А. Павлов // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2006. – №1.– С. 55–58.

5. Pavlov, P.A. The optimality of software resources structuring through the pipeline distributed processing of competitive cooperative processes / P.A. Pavlov // International Journal of Multimedia Technology (IJMT). – 2012. – Vol.2, №1. – PP. 5–10.

6. Коваленко, Н.С., Павлов, П.А. Эффективность систем конкурирующих процессов с учетом накладных расходов / Н.С. Коваленко, П.А. Павлов // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2005. – №6.– С. 32–36.