

УДК 681.3.06:519

**МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В  
БАНКОВСКИХ СИСТЕМАХ МАКРОКОНВЕЙЕРНОГО ТИПА**

**Павлов Павел Александрович, к.ф.-м.н., доцент**

**Штепа Владимир Николаевич, к.т.н., доцент**

**Полесский государственный университет**

Pavlov Pavel, PhD, [pin2535@tut.by](mailto:pin2535@tut.by),

Vladimir Shtepa, PhD, [shns1981@gmail.com](mailto:shns1981@gmail.com)

Polesky State University

В настоящее время среди наиболее перспективных концепций параллелизма является концепция *макроконвейерной* организации обработки информационных процессов. Как сформулировал академик В.М. Глушков, основная идея заключается в том, что при распараллеливании и распределении обработки “каждому отдельному процессору на очередном шаге дается такое задание, которое позволяет ему длительное время работать автономно без взаимодействия с другими процессорами” [1]. Уменьшение числа и объемов обмена сообщениями, которыми обмениваются параллельно работающие узлы, как правило, приводит к уменьшению общего времени решения поставленной задачи.

**1. Метод структурирования программных ресурсов и макроконвейерная обработка.** Структурирование (декомпозиция) – это основной способ уменьшения сложности больших задач, программ, систем и т.д. Основная идея состоит в обеспечении специального способа структурирования программного ресурса на блоки  $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$  и организации параллельного использования этих блоков множеством конкурирующих процессов [2]. Макроконвейерная технология предполагает декомпозицию структуры данных на большие информационно-слабозависимые подструктуры, способными занимать процессор длительное время.

Пусть PR – программный ресурс, который может быть использован двумя и более конкурирующими процессами, т.е.  $n \geq 2$ ,  $p \geq 2$  – число процессоров макроконвейерной системы. Применительно к программным ресурсам, одновременно используемым множеством процессов, при макроконвейерной обработке возможны следующие способы организации вычислений.

1) Каждому  $i$ -му процессу,  $i = \overline{1, n}$ , предоставляется отдельная копия программного ресурса PR. При такой стратегии, в случае  $p \geq n$ , все  $n$  процессов могут выполняться одновременно при условии, что в МС достаточно памяти для размещения  $n$  копий программного ресурса (в случае с общей памятью) или память каждого процессора МС вмещает отдельную копию программного ресурса (в случае с распределенной памятью). Если же  $p < n$ , то возможна организация циклического выполнения  $n$  процессов группами по  $p$ .

2) Программный ресурс PR может быть структурирован на блоки  $Q_1, Q_2, \dots, Q_s$ , а обработка в этом случае организуется в соответствии с методом структурирования. Эта стратегия может применяться при организации обработки в МС всякий раз, если имеются ограничения на оперативную память, как общую, так и память каждого процессора.

**2. Модель макроконвейерной организации асинхронных конкурирующих процессов.** Пусть МС характеризуется следующими параметрами:  $p$  – число процессоров, каждый из которых имеет собственную локальную память,  $p \geq 2$ ;  $k$  – число каналов, через которые каждый из процессоров имеет доступ к внешней памяти, общей для всех процессоров,  $k \geq 1$ . Предполагается, что в МС выполняется  $n$  процессов,  $n \geq 2$ , каждый из которых состоит из  $s$  блоков обмена и  $s$  блоков счета,  $s \geq 1$ . Времена обмена и счета для каждого из процессов представлены в виде матриц  $t = [t_{ij}]_{n \times s}$  и  $T = [T_{ij}]_{n \times s}$  размерности  $n \times s$ , в которых  $i$ -е строки соответствуют  $i$ -му процессу.

Взаимодействие процессов с каналами и процессорами характеризуется следующими условиями: 1) к выполнению одновременно готовы  $p$  процессов из  $n$ ; 2) в каждый момент времени  $k$  процессов из  $n$ , одновременно протекающих в МС, выполняются синхронно, остальные в очереди ждут освобождения каналов; 3) во время обмена каждый процесс монополизирован один и тот же канал, во время счета – процессор; 4) очередной  $j$ -й блок

счета на каждом процессоре выполняется только после завершения соответствующего  $j$ -го блока обмена, а каждый  $(j+1)$ -й блок обмена выполняется после завершения  $j$ -го блока счета; 5) процессы считаются равноприоритетными, а режим работы каналов является циклическим.

Условия 1-5 определяют *асинхронный* режим взаимодействия процессов, каналов и процессоров, который допускает как простои каналов из-за занятости процессоров, так и простои процессоров из-за занятости каналов обмена.

**3. Время реализации асинхронных процессов в макроконвейерных системах с одним каналом обмена.** Обозначим через  $T_n(k)$  общее время выполнения всех  $n$  процессов, которые используют  $k$  каналов. Заметим, что при  $p \geq k \geq n$  в рамках принятой модели макроконвейерных вычислений  $T_n(k)$  составит величину  $T_n(k) = T_n(n) = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^s (t_{ij} + T_{ij})$ . Если

$$T_n(k) = T_n(n) = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^s (t_{ij} + T_{ij}).$$

окажется, что  $p > k > n$ , то  $k - n$  каналов будут не задействованы, а  $p - n$  процессоров будут простаивать.

Пусть имеется один канал, т.е.  $k = 1$ . Предположим, что  $n \leq p$ . На рис.1 приведена несовмещенная диаграмма Ганта, отображающая взаимодействие  $n$  процессов (номер процесса изображен справа в прямоугольнике) с одним каналом и  $p$  процессорами. Причем каждый процесс состоит из  $2s$  блоков,  $s \geq 1$ , которые периодически повторяются в порядке обмен, счет. При этом осуществляется конвейеризация каждого из блоков счета по всем  $n$  процессорам, причем одновременно могут выполняться  $n$  блоков счета.

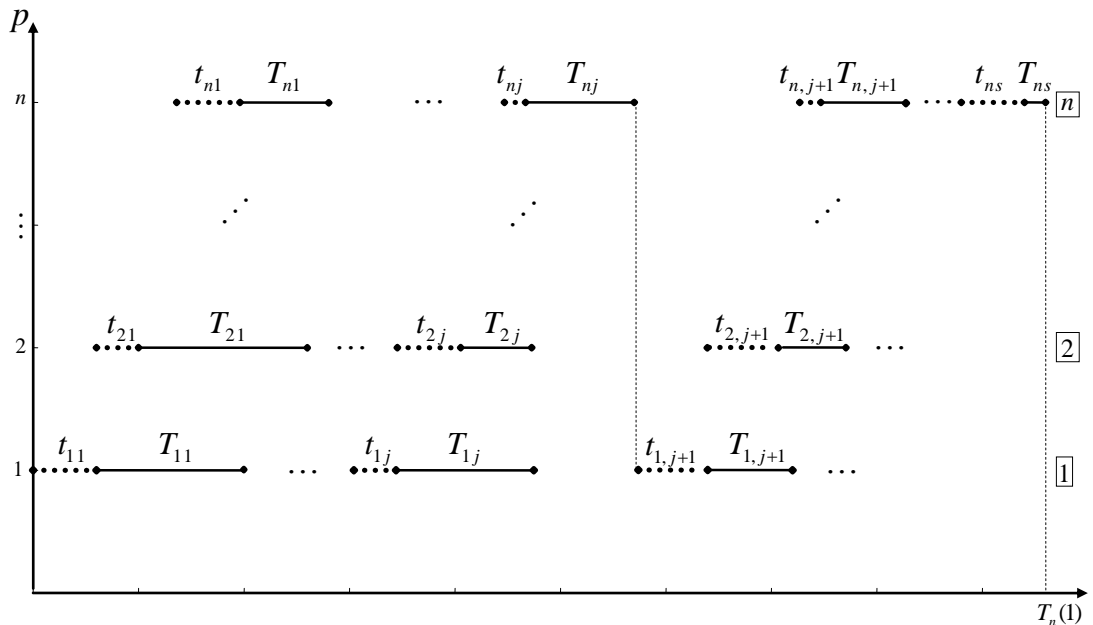


Рисунок 1. – Несовмещенная диаграмма Ганта с одним каналом обмена

Из анализа диаграммы следует, что  $T_n(1)$  можно существенно сократить, если воспользоваться совмещением соседних диаграмм Ганта, начиная со второй, справа налево на максимально возможную величину, не нарушающую условий 1-5. Для этого необходимо составить расписание моментов начала выполнения  $j$ -го блока обмена,  $j = \overline{1, s}$ , для  $i$ -го процесса,  $i = \overline{1, n}$  [3].

Анализируя две соседние диаграммы Ганта (рис.1), соответствующие  $j$ -му и  $(j+1)$ -му блокам обмена и счета, с временами  $t_{ij}$ ,  $T_{ij}$  и  $t_{i,j+1}$ ,  $T_{i,j+1}$  соответственно,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, s-1}$ , видно, что моменты начала выполнения *первого* блока обмена для каждого процесса определяются из соотношений:

$$sb_{11} = 0, \quad sb_{21} = sb_{11} + t_{11}, \quad \dots, \quad sb_{i1} = sb_{i-1,1} + t_{i-1,1}, \quad \dots, \\ sb_{n1} = sb_{n-1,1} + t_{n-1,1};$$

для *второго* блока обмена:

$$sb_{12} = \max(sb_{11} + t_{11} + T_{11}, sb_{31} + t_{31}), \\ sb_{22} = \max(sb_{21} + t_{21} + T_{21}, sb_{12} + t_{12}), \dots, \\ sb_{i2} = \max(sb_{i1} + t_{i1} + T_{i1}, sb_{i-1,2} + t_{i-1,2}), \dots, \\ sb_{n2} = \max(sb_{n1} + t_{n1} + T_{n1}, sb_{n-1,2} + t_{n-1,2}); \dots;$$

для  $s$ -го блока обмена:

$$sb_{1s} = \max(sb_{1,s-1} + t_{1,s-1} + T_{1,s-1}, sb_{3,s-1} + t_{3,s-1}), \\ sb_{2s} = \max(sb_{2,s-1} + t_{2,s-1} + T_{2,s-1}, sb_{1s} + t_{1s}), \dots, \\ sb_{i3} = \max(sb_{i,s-1} + t_{i,s-1} + T_{i,s-1}, sb_{i-1,s} + t_{i-1,s}), \dots, \\ sb_{ns} = \max(sb_{n,s-1} + t_{n,s-1} + T_{n,s-1}, sb_{n-1,s} + t_{n-1,s}).$$

Таким образом, имеет место следующая теорема.

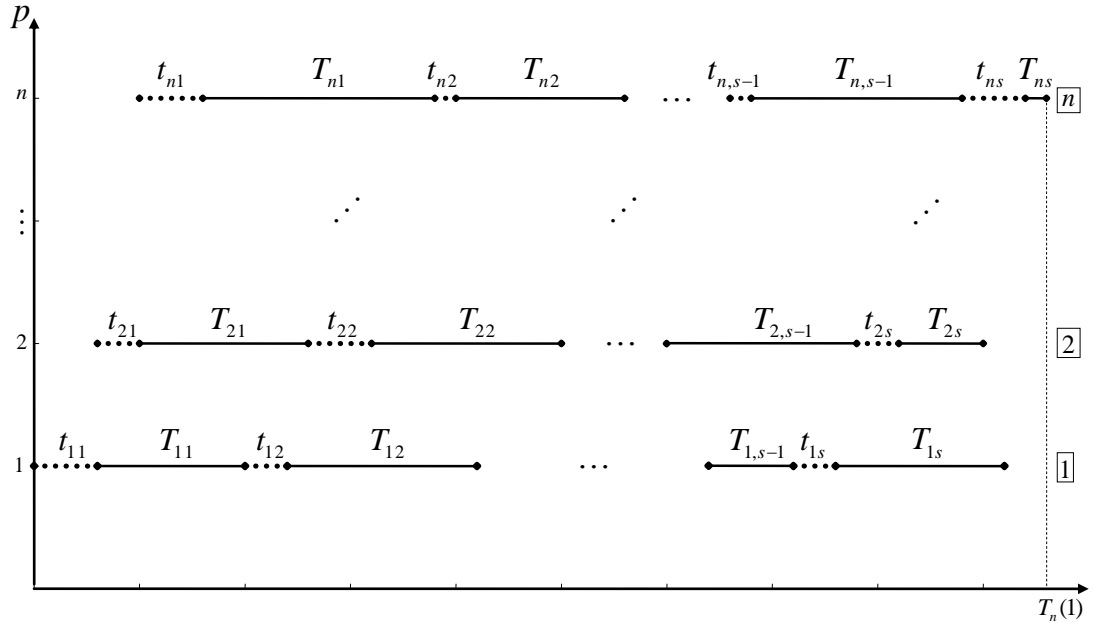
**Теорема.** *Общее время выполнения  $n$  ( $n \geq 2$ ) процессов  $p$  ( $p \geq 2$ ) процессорами, конкурирующими за использование одного канала, в случае  $n \leq p$ , определяется по формуле:*

$$T_n(1) = \max_{1 \leq i \leq n} (sb_{is} + t_{is} + T_{is}), \quad (1)$$

где  $sb_{ij}$  – моменты начала выполнения  $j$ -го блока обмена для  $i$ -го процесса, определяемые из соотношений:

$$sb_{11} = 0, \quad sb_{i1} = sb_{i-1,1} + t_{i-1,1}, \\ sb_{1j} = \max(sb_{1,j-1} + t_{1,j-1} + T_{1,j-1}, sb_{n,j-1} + t_{n,j-1}), \quad (2) \\ sb_{ij} = \max(sb_{i,j-1} + t_{i,j-1} + T_{i,j-1}, sb_{i-1,j} + t_{i-1,j}), \quad i = \overline{2, n}, \quad j = \overline{2, s}.$$

В результате совмещения диаграмма Ганта будет иметь вид (рис.2):



**Рисунок 2. – Совмещенная диаграмма Ганта с одним каналом обмена**

Предлагаемая модель организации макроконвейерной обработки процессов при ограниченном числе каналов обмена и разработанные аналитические методы расчета общего времени выполнения множества неоднородных конкурирующих процессов являются основой для постановки и решения ряда важных практических задач по расчету оптимальной балансировки числа процессоров и каналов, оптимизации числа блоков счета и обмена, минимизации общего времени выполнения процессов и др.

Список использованных источников

1. Капитонова Ю.В., Летичевский А.А. Математическая теория проектирования вычислительных систем. М., 1988.
2. Коваленко Н.С., Павлов П.А. Математическое моделирование параллельных процессов. Lambert Academic Publishing, 2011.
3. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струевич В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. М., 1989.