

УДК 680.3

С.И. ШМАТКОВ

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина***МЕТОД ФРАГМЕНТАЦИИ ВРЕМЕННЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОРМАЛЬНЫХ ПОЛИНОМОВ**

*Приведено описание метода фрагментации временных параллельных моделей задач с использованием формальных полиномов. Используемые исходные данные: исходный текст задачи на языке Си; архитектуры ВС: МРР или РВС; варианты задания количества вычислительных узлов: отсутствие ограничений на количество вычислительных узлов или заданное значение ресурса ВУ; метод параллельной обработки – совмещение независимых операций; заданы значения времени выполнения операций/функций языка Си. Отмечено, что разработанный метод фрагментации характеризуется существенно меньшей вычислительной сложностью по сравнению с известными комбинаторными подходами. При этом обеспечивается возможность повышения эффективности распределенных вычислительных систем за счет уменьшения временных затрат на обмен сообщениями и снижения временных затрат на решение задач управления функционированием РВС.*

**Ключевые слова:** суперЭВМ, распределенные вычислительные сети (РВС), фрагментация задач, обмен сообщениями, Си – граф задачи, временная параллельная модель, временная параллельная граф-схема (ВПГС), структуры семантико - числовой спецификации (СЧС) Си-программ и временных параллельных моделей.

**Введение**

Одной из центральных проблем современной вычислительной техники является повышение эффективности решения больших задач и сложных комплексов взаимосвязанных задач на основе распараллеливания вычислительных процессов. Для решения таких задач применяются многопроцессорные ЭВМ с массово-параллельной обработкой класса МРР (Massively Parallel Processing) с кластерной архитектурой и пространственно разнесенные вычислительные сети (РВС) [1 – 10].

Для повышения эффективности решения задач в этих системах используется принцип разделения задач на фрагменты, выполняемые одновременно различными вычислительными узлами. Обмен данными в таких ВС обеспечивается путем передачи сообщений между выделенными для решения задачи вычислительными узлами (ВУ). Методы формализации задачи фрагментации во многих случаях основываются на комбинаторных подходах [11 – 12]. Существенным недостатком использования комбинаторных методов является быстрое возрастание сложности фрагментации и временных затрат при увеличении размерности подлежащих решению задач и, как следствие, сужение областей их эффективного практического применения.

Кроме комбинаторных методов применяются различные эвристические алгоритмы, ослабляющие в большей или меньшей степени указанные выше

недостатки [13]. Однако такие алгоритмы обычно имеют четко ограниченный круг практических приложений и характеризуются существенным ухудшением качества результатов фрагментации при расширении областей приложений. Следствием этого является уменьшение – для новых областей приложений – реальной производительности и эффективности ВС по сравнению с их потенциально возможными значениями.

Следует отметить, что как комбинаторные, так и эвристические алгоритмы оперируют со статическими объектами – формальными спецификациями задач, которые не включают реальное время как один из определяющих параметров параллельных вычислительных процессов [1 – 13].

Одним из возможных путей решения рассматриваемой проблемы можно считать переход от фрагментации статических объектов – задач, представленных текстами программ на некотором языке последовательного программирования [14 – 16], к фрагментации временных объектов – временных параллельных моделей вычислительных процессов решения задач. Потенциальными достоинствами этого подхода могут быть увеличение размерности эффективно решаемых задач фрагментации, повышение качества получаемых результатов фрагментации и снижение временных затрат на решение задач управления функционированием РВС.

Целью статьи является изложение метода фрагментации временных параллельных моделей

процессов решения задач, реализуемых в распределенных вычислительных сетях, использующего аппарат формальных полиномов.

## 1. Постановка задачи фрагментации

Исходные данные:

1. Исходный текст задачи на языке Си.
  2. Архитектуры ВС: архитектура *MPP*, архитектура *PBC* (общие признаки – распределенная по вычислительным узлам память и обмен данными между ВУ с помощью передачи сообщений).
  3. Поддерживаемые варианты задания количества вычислительных узлов:
    - отсутствие ограничений на количество «*ММ*» вычислительных узлов – ресурс, выделяемый для параллельного решения задачи;
    - заданное значение ресурса «*ММ*» ВУ, выделяемого для параллельного/последовательного решения задачи.
  4. Поддерживаемый метод параллельной обработки – совмещение независимых операций.
  5. Значения времени (в количестве процессорных тактов) выполнения операций/функций языка Си.
  6. Поддерживаемые классы фрагментов:
    - фрагменты в виде последовательных нитей (признак «*prf* = 0») – для архитектур *MPP* и *PBC* с на основе суперскалярных процессоров;
    - фрагменты в виде временных подграфов задачи (признак «*prf* = 1») – для архитектур *MPP* и *PBC* с вычислительными узлами кластерной архитектуры).
  7. Требования/ограничения:
    - обеспечение заданного или минимального времени решения задачи/задач;
    - использование минимального или заданного количества вычислительных узлов.
- Выходные данные:
- количество и состав типов операторов задачи, входящих в каждый из фрагментов;
  - временные семантико-числовая и графическая спецификации фрагментов;
  - результаты оценки сложности фрагментации – суммарного количества обменов сообщениями в процессе решения задачи;
  - время решения задачи и используемый вычислительный ресурс.

## 2. Обобщенный алгоритм фрагментации временных параллельных моделей задач

Обобщенный алгоритм фрагментации временных параллельных моделей задач представлен на

рис.1. Прокомментируем содержание различных этапов представленного на рис.1 алгоритма фрагментации.

Этап 1 (символ 2 рис.1). Содержанием этапа является построение для исходной Си – программы графической спецификации в виде Си – графа. Построение Си – графа может выполняться либо вручную (при спецификации задачи расчетными соотношениями), либо в автоматическом режиме.

Этап 2 (символ 3 рис.1). Содержанием этапа является синтез семантико-числовой спецификации задачи, задающей количество операторов и состав типов операторов задачи, с одной стороны, и сопряженно – внешние связи по данным и по управлению между операторами, с другой стороны [14-16].

Этап 3 (символ 4 рис.1). Содержанием этапа является синтез (с учетом отсутствия или наличия ограничений на выделяемый задаче ресурс или ограничений на время решения) временной параллельной модели задачи (в виде временной параллельной граф – схемы, ВПГС) и ее семантико-числовой спецификации с учетом реальных длительностей выполнения операций/функций различных типов, выраженных в количестве процессорных тактов. Этап выполняется в соответствии с методикой синтеза временных параллельных моделей задач, изложенной в работе [17].

Этап 4 (символ 5 рис.1). Организует циклическое выполнение символов 6...11 алгоритма (рис.1) для временных ярусов с номерами  $n_j = 1, 2, \dots, k_j$  синтезированной временной параллельной модели.

Этап 5 (символ 6 рис.1). Оценка диапазона возможного количества фрагментов  $K_{фр}$  и выбор начального яруса для задачи фрагментации  $n_j = k_j$ .

Этап 6 (символ 7 рис.1). Содержанием этапа является формирование для  $n_j$  - го яруса ( $n_j = 1, 2, \dots, k_j$ ) множества  $C(n_j)$  «покрытий». Каждое покрытие представляет собой совокупность подмножеств различной мощности операторов яруса, объединение которых (подмножеств) содержит («покрывает») все операторы  $n_j$  - го временного яруса.

Этап 7 (символ 8 рис.4). Содержанием этапа является оценка сложности  $Q(n_j, r) \in C(n_j)$  каждого  $r$  - го «покрытия»  $C(n_j, r)$  вершин  $n_j$  - го яруса ( $r = 1, 2, \dots, R(n_j)$ ). «Сложность покрытия»  $Q(k, r)$  текущего фрагмента  $F(r)$  определяется как суммарное количество «внешних» связей операторов рассматриваемого покрытия (принадлежащих конкретному рассматриваемому фрагменту с номером  $r$ ) с операторами, включенными ранее в состав других текущих фрагментов  $F(s)$   $n_j$  - го яруса ( $s = 1, 2, \dots$ , и  $s \neq r$ ).

Этап 8 (символ 9 рис.4). Содержанием этапа является выбор оптимального варианта покрытия  $C(n_j, r)_{\text{опт}}$  вершин  $n_j$  - го яруса с минимальной сложностью  $Q(n_j, r)_{\text{опт}} = \min Q(n_j, r)$ , где  $r = 1, 2, \dots, R(n_j)$ , и включение его операторов в состав текущего фрагмента  $F(p)$  на рассматриваемом временном ярусе модели.

Этап 9 (символ 10 рис.4). Содержанием этапа является коррекция состава формируемых фрагментов  $F(p)$ ,  $F_s$ ,  $s = 1, 2, \dots$ , и  $s \neq p$ , пересчет текущих значений их сложностей  $Q(p)$ ,  $Q(s)$  и выдача (при завершении цикла по количеству  $k_j$  ярусов) результатов фрагментации сжатой временной параллельной модели задачи.

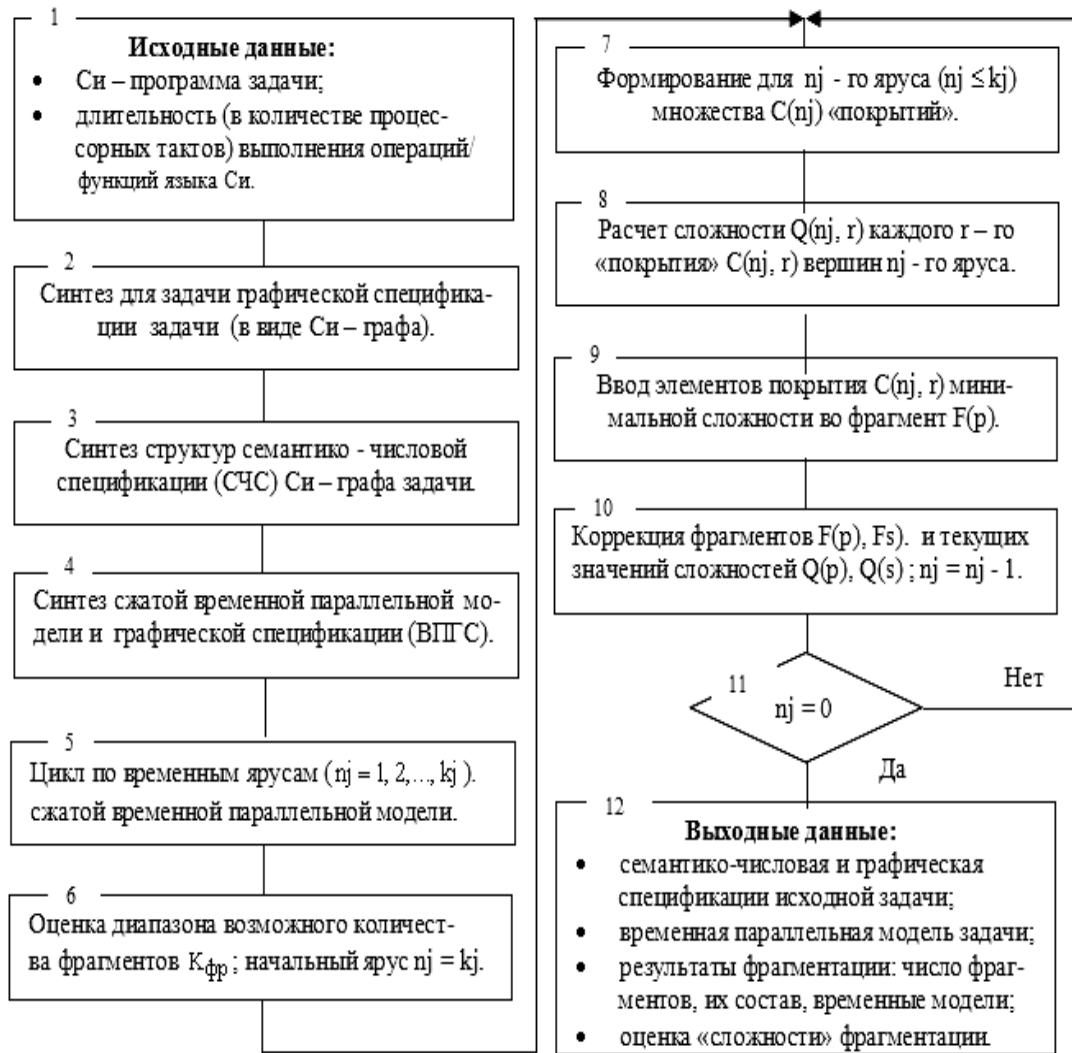


Рис. 1. Обобщенный алгоритм фрагментации временных параллельных моделей задач

В докладе приводятся примеры, иллюстрирующие основные этапы алгоритма фрагментации временных параллельных моделей задач различных типов (неразветвляющихся, разветвляющихся и т.п.), дана сравнительная оценка вычислительной сложности алгоритма решения задачи фрагментации временных параллельных моделей на основе аппарата формальных полиномов и вычислительной сложности комбинаторного подхода к фрагментации, использующего способ полного перебора вариантов.

### Выводы

1. Одной из основных проблем современной вычислительной техники является повышение эффективности параллельного решения задач с помощью распределенных вычислительных сетей (РВС), реализующих принцип обмена сообщениями. Это делает исключительно актуальным решение проблемы разработки методов и средств оптимального разделения (фрагментации) временных (в общем

случае параллельных) моделей сложных задач на подзадачи (фрагменты) с целью минимизации временных затрат на обмен данными между компьютерными узлами РВС в интересах повышения эффективности всей системы.

2. Разработанный алгоритм обеспечивает, в отличие от традиционно применяемой фрагментации статических задач, фрагментацию временных параллельных моделей задач, использующих метод совмещения независимых операций/функций, при минимизации суммарных временных затрат РВС на обмен данными между ВУ сети и с учетом особенностей решаемых задач и реальных длительностей выполнения операций/ функций (выраженных в количестве процессорных тактов) различных классов вычислительных узлов.

3. Разработанный алгоритм фрагментации характеризуется существенно меньшей вычислительной сложностью по сравнению с известными комбинаторными подходами. При этом обеспечивается возможность повышения эффективности распределенных вычислительных систем за счет уменьшения временных затрат на обмен сообщениями и снижения временных затрат на решение задач управления функционированием РВС.

### Литература

1. Степанов А.Н. *Архитектура вычислительных систем и компьютерных сетей* / А.Н. Степанов. - СПб.: Питер, 2007. - 509 с.
2. Олифер В.Г. *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов* / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - СПб.: Питер, 2006. - 958 с.
3. Таненбаум Э. *Компьютерные сети* / Э. Таненбаум. - СПб.: Питер, 2005. - 328 с.
4. Богданов А.В. *Архитектура и топологии многопроцессорных вычислительных систем* / А.В. Богданов, В.В. Корхов, В.В. Мареев, Е.Н. Станкова. - М.: Интернет-университет информационных технологий, 2004. - 256 с.
5. Таненбаум Э. *Распределенные системы. Принципы и парадигмы* / Э. Таненбаум, М. Ван Стэн. - СПб.: Питер, 2003. - 568 с.
6. Барановская Т.П. *Архитектура компьютерных систем и сетей* / Т.П. Барановская, В.И. Лойков, М.И. Семенов, А.И. Трубилин. - М.: Финансы и статистика, 2003. - 346 с.
7. Воеводин В.В. *Параллельные вычисления* / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. - СПб.: БХВ-Петербург, 2002. - 599 с.
8. Корнеев В.В. *Параллельные вычислительные системы* / В.В. Корнеев. - М.: Нолидж, 1998. - 302 с.
9. Buck J. *Ptolemy: A Framework for Simulating and Prototyping Heterogeneous Systems* / J. Buck, S. Ha, E.A.Lee, D.G. Messerschmitt // *International Journal of Computer Simulation*, 1994.
10. Бертсекас Д. *Сети передачи данных* / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. - М.: Мир, 1989. - 544 с.
11. Рейнгольд Ю. *Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика* / Ю. Рейнгольд, Н. Део. - М.: Мир, 1980. - 476 с.
12. Бронштейн И.Н. *Справочник по математике. Для инж. и учащ. вузов* / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев; под ред. Г. Гроше, В. Циглера. - Лейпциг Тойбнер, М.: Наука, 1981. - 720 с.
13. Пономаренко В.С. *Методы и модели планирования ресурсов в GRID-системах* / В.С. Пономаренко, С.В. Листровой, С.В. Минухин, С.В. Знахур. - Х.: ВД «ИЖЕК», 2008. - 408 с.
14. Толстолужская Е.Г. *Метод фрагментации временных параллельных графов алгоритмов* / Е.Г. Толстолужская // *Информационные системы*. - Х.: ХВУ, НАНУ, ПАНИ, 1999. - Вып. 1(12). - С. 63-67.
15. Поляков Г.А. *Метод фрагментации задач для однородных вычислительных сетей с использованием аппарата формальных полиномов* / Г.А. Поляков, Е.Г. Толстолужская, С.И. Шматков, Г.Р. Геахпур // *Радиоэлектроника и информатика*. - № 1, 2009. - С. 50-56.
16. Поляков Г.А. *Метод формальной декомпозиции задач для параллельных вычислительных систем* / Г.А. Поляков, Е.Г. Толстолужская, С.И. Шматков // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. - 2009. - № 7(41). - С. 235-239.
17. Поляков Г.А. *Автоматизация проектирования сложных цифровых систем коммутации и управления* / Г.А. Поляков, Ю.Д. Умрихин. - М.: Радио и связь, 1988. - 304 с.

Поступила в редакцию 25.02.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедри Ю.И. Лосев, Харьковський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Україна.

## МЕТОД ФРАГМЕНТАЦІЇ ЧАСОВИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАДАЧ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ФОРМАЛЬНИХ ПОЛІНОМІВ

*С.І. Шматков*

Наведено опис методу фрагментації часових паралельних моделей задач із використанням формальних поліномів. Використовувані вихідні дані: вихідний текст задачі мовою Сі; архітектури обчислювальних систем (ОС): МРР або РОМ; варіанти завдання кількості обчислювальних вузлів: відсутність обмежень на кількість обчислювальних вузлів (ОВ) або задане значення ресурсу ОВ; метод паралельної обробки - сполучення незалежних операцій; задані значення часу виконання операцій/функцій мови Сі. Відзначено, що розроблений метод фрагментації характеризується істотно меншою обчислювальною складністю в порівнянні з відомими комбінаторними підходами. При цьому забезпечується можливість підвищення ефективності розподілених обчислювальних систем за рахунок зменшення витрат часу на обмін повідомленнями й зниження витрат часу на рішення задач керування функціонуванням РОМ.

**Ключові слова:** суперЕОМ, розподілені обчислювальні мережі (РОМ), фрагментація задач, обмін повідомленнями, Сі – граф задачі, часова паралельна модель, часова паралельна граф-схема (ЧПГС), структури семантико - числової специфікації (СЧС) Сі-програм і часових паралельних моделей.

## FRAGMENTATION METHOD OF TEMPORAL PARALLEL MODELS OF TASKS WITH THE USE OF FORMAL POLYNOMIALS

*S.I. Shmatkov*

Specification for a fragmentation method of time parallel task models with use of formal polynomials is given. The input data were used: input task code of C-program; computer system architectures: MPP or DCN; variants of number setting of computational node: null constraint for number of computational node or setting value resource of VU; a parallel processing method is combination of independent operations; the time implementation values of C-program operations/functions are set. It was proved, that the developed fragmentation method is characterized substantially less calculable complication as compared to the known combinatorial approaches. Possibility of increase of efficiency of the distributed computer systems is thus provided at the expense of reduction of time expenses for reports exchange and reduction of time expenses on the decision of control tasks of functioning of RVS.

**Keywords:** SUPERCOMPUTER, distributed computer networks (DCN), fragmentation of tasks, exchange by reports, C-graph of task, time parallel model, time parallel graph -chart (TPGC), structure of semantic-numerical specification (SNS) of C-program and time parallel models.

**Шматков Сергей Игоревич** – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической и прикладной системотехники факультета компьютерных наук, Харьковський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харьков, Україна, e-mail: tps@univer.kharkov.ua.