

УДК 681.3

Г.А. ПОЛЯКОВ¹, Е.Г. ТОЛСТОЛУЖСКАЯ², С.И. ШМАТКОВ³¹Академия наук прикладной радиоэлектроники Россия²Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Украина³Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина

МЕТОД ФОРМАЛЬНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЗАДАЧ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Констатируется зависимость эффективности суперЭВМ и ВС при решении больших задач от эффективности алгоритмов, обеспечивающих оптимизацию результатов декомпозиции задач на подзадачи, которые выполняются соответствующими кластерами суперЭВМ или вычислительной сети. Отмечается, что недостатком известных комбинаторных методов является быстрое возрастание сложности и времени декомпозиции при увеличении размерности решаемых задач. Описывается метод формальной декомпозиции задач на основе структур семантико-числовой спецификации задач, обеспечивающий минимизацию суммарного количества обменов сообщениями между фрагментами. Комментируется обобщенный алгоритм декомпозиции задач. Дана оценка вычислительной сложности разработанного алгоритма декомпозиции в сравнении с вычислительной сложностью комбинаторных алгоритмов декомпозиции, использующих способ полного перебора вариантов.

Ключевые слова: временная мультипараллельная программа, технология, самоорганизующаяся ВС, эффективность распараллеливания.

Введение

Одной из центральных проблем современной вычислительной техники является повышение эффективности решения больших задач или сложных комплексов взаимосвязанных задач на основе распараллеливания вычислительных процессов. Для решения таких задач в ограниченные сроки применяются многопроцессорные ЭВМ с массово-параллельной обработкой классов *Massively Parallel Processing (MPP)*, с кластерной архитектурой (*CLUSTER*) и пространственно разнесенные вычислительные сети [1-8].

Для повышения эффективности решения задач в этих системах используется принцип декомпозиции задач на фрагменты, выполняемые одновременно кластерами процессоров ЭВМ или узлов ВС. Обмен данными в таких ЭВМ и ВС обеспечивается путем передачи сообщений между кластерами ЭВМ и узлами ВС, обеспечивающими параллельную реализацию различных фрагментов задач (подзадач).

Для формализации решения задачи декомпозиции достаточно широко применяются комбинаторные подходы [9, 10]. Основным недостатком использования комбинаторных методов является быстрое возрастание сложности и времени решения при увеличении размерности решаемых задач. Использование субъективных методов декомпози-

ции задач на фрагменты может существенно уменьшать реальную производительность и эффективность по сравнению с потенциально достижимой эффективностью, так как неоптимальность фрагментации существенно влияет на время обмена сообщениями между фрагментами (которое может значительно превосходить собственно вычислительные затраты).

В связи с этим важное место в организации параллельного решения больших задач и их сложных комплексов на основе многопроцессорных ЭВМ и ВС приобретает разработка алгоритмов, обеспечивающих оптимизацию результатов декомпозиции по критерию минимума суммарных временных затрат на обмен данными между различными фрагментами, реализуемыми соответствующими кластерами суперЭВМ или вычислительной сети.

Цель статьи – разработка метода формальной декомпозиции задач, решаемых с помощью многопроцессорных ЭВМ классов *MPP*, *CLUSTER* и/или вычислительных сетей, ВС, обеспечивающего минимизацию суммарного количества обменов сообщениями между фрагментами.

Используемый аппарат формализации – теория множеств, теория графов, структуры семантико-числовой спецификации задач (формат сопряженно-внешних множеств, СВМ) [11, 12], аппарат временных параллельных граф-схем алгоритмов [12].

1. Постановка задачі декомпозиції

Исходные данные:

1. Исходный текст задачи на языке Си.
2. Архитектура вычислительной системы: *MPP* архитектура (с распределенной памятью и передачей сообщений между процессорами), кластерная архитектура *CLUSTER*, вычислительная сеть ВС.

3. Поддерживаемые варианты структуры связей между процессорами ЭВМ/узлами вычислительных систем:

- полностью связанная (выход каждого процессора/узла соединен с входами остальных процессоров/узлов);

- ограниченная (неполностью связанная).

4. Поддерживаемые варианты задания количества процессоров/узлов:

- заданное количество «прг» процессоров;

- вариант отсутствия ограничений на количество процессоров/узлов с определением количества процессоров/узлов, обеспечивающих достижение минимального времени решения задачи).

5. Поддерживаемые классы фрагментов:

- фрагменты в виде последовательных нитей (признак «*prf* = 0») применительно к *MPP/CLUSTER* архитектурам и ВС на основе суперскалярных процессоров;

- фрагменты в виде подграфов задачи (признак «*prf* = 1») применительно к ЭВМ с кластерной архитектурой и вычислительным сетям).

6. Требования/ограничения:

- обеспечение заданного или минимального времени решения задачи/задач;

- количество процессоров/узлов и архитектура их связей.

Выходные данные:

- семантико-числовая и графическая спецификации исходной задачи;

- количество и состав операторов задачи, входящих в каждый из фрагментов;

- семантико-числовая и графическая спецификации фрагментов;

- результаты оценки суммарной сложности межпроцессорного/межузлового обмена сообщениями.

2. Обобщенный алгоритм декомпозиции задач

Обобщенный алгоритм декомпозиции задач для кластерных ЭВМ и ВС включает следующие этапы.

1. Синтез структур семантико-числовой спецификации Си – программы.

2. Синтез графической спецификации (Си – графа) Си – программы.

3. Синтез для Си – графа параллельной псевдовременной модели, ПВМ (в виде временной параллельной граф – схемы, ВПГС) (при одинаковом и равном одному условному такту времени выполнения любой операции).

4. Формирование состава множественных временных операторов (МВО или «слоев») для каждого «яруса» ВПГС.

5. Синтез для конкретного МВО/«слоя» ВПГС полного множества «покрытий» операторов.

6. Расчет сложности каждого из «покрытий» конкретного «слоя» ВПГС.

7. Введение в формируемые фрагменты Си – программы варианта покрытия слоя, имеющего минимальное значение суммарной «сложности покрытия».

8. Проверка завершения фрагментации (факта «покрытия» множеством сформированных фрагментов всех операторов Си – программы). При невыполнении условия – выполнение п.5, при выполнении условия – выполнение п.9.

9. Оценка суммарной сложности множества сформированных фрагментов Си – программы задачи.

10. Выдача информации о количестве фрагментов, составе и связях операторов Си – программы, входящих в каждый из фрагментов, и значения сложности синтезированного «покрытия Си – программы».

Алгоритм решения задачи декомпиляции задач на основе аппарата структур семантико-числовой спецификации/формата сопряженно-внешних связей, СВМ представлен на рис. 1. Прокомментируем содержание различных этапов представленного на рис.1 алгоритма декомпозиции.

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

Этап 2 (символ 3 рис. 1). Содержанием этапа является построение для решаемой задачи традиционного графа (при формульном описании) или Си – графа (при наличии исходной Си – программы задачи, например, представленной на рис. 1). Построение графа задачи или Си – графа может выполняться либо вручную (при задании расчетных соотношений), либо в автоматическом режиме (в соответствии с результатами, изложенными в [12]).

Этап 3 (символ 4 рис. 1). Содержанием этапа является синтез сжатой псевдовременной модели задачи (ПВМ).

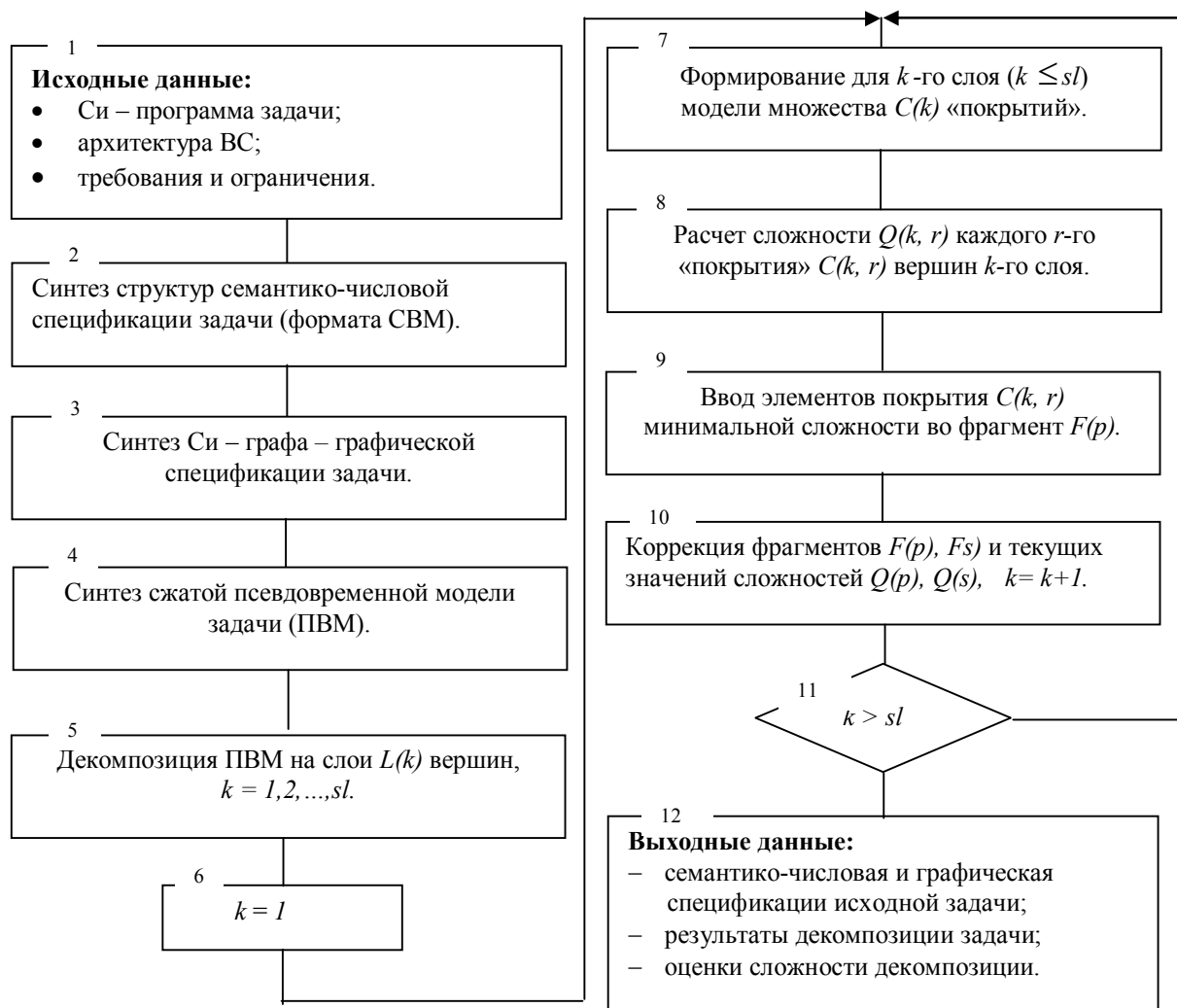


Рис. 1. Обобщенный алгоритм декомпозиции задач

Этап выполняется в соответствии с методикой синтеза временных параллельных моделей задач, изложенной в работе [13] (в предположении одинакового, равного одному условному такту) времени выполнения операции любого типа.

Этап 4 (символ 5 рис. 1). Обеспечивает формирование для каждого яруса псевдовременной модели задачи множества слоев $L(k)$ вершин (номеров операторов Си – программы задачи), принадлежащих соответствующему k -му ярусу псевдовременной модели $k = 1, 2, \dots, sl$.

Этап 5 (символ 7 рис. 1). Содержанием этапа является формирование для k -го слоя ($k = 1, 2, \dots, sl$) множества $C(k)$ «покрытий» – совокупности подмножеств различной мощности операторов слоя, объединение которых содержит («покрывает») все операторы слоя.

При решении задачи фрагментации сети этот этап циклически выполняется для каждого из множественных временных операторов МВО/каждого из слоев псевдовременной модели,

количество повторений цикла определяется числом sl слоев в модели.

Этап 6 (символ 8 рис. 1). Содержанием этапа является оценка сложности $Q(k, r)$ каждого r -го «покрытия» $C(k, r)$ вершин k -го слоя. «Сложность покрытия» $Q(k, r)$ текущего фрагмента $F(p)$ определяется как суммарное количество «внешних» связей операторов рассматриваемого покрытия (принадлежащих текущему фрагменту) с операторами, включенными ранее в состав других фрагментов $F(s)$, $s = 1, 2, \dots$, и $s \neq p$.

Этап 7 (символ 9 рис. 1). Содержанием этапа является выбор оптимального варианта покрытия $C(k, r)_{onm}$ вершин k -го слоя, обладающего минимальной сложностью $Q(k, r)_{onm} = \min Q(k, r)$, и включение его операторов в состав текущего фрагмента $F(p)$.

Этап 8 (символ 10 рис. 1). Содержанием этапа является коррекция состава формируемых фрагментов $F(p)$, $F(s)$, коррекция текущих значений их сложностей $Q(p)$, $Q(s)$ выдача (при завершении цикла по

количеству sl ярусов псевдореальной модели задачи) результатов декомпозиции.

В докладе приводится формульная спецификация разработанного метода декомпозиции, рассматривается конкретный пример, иллюстрирующий этапы алгоритма декомпозиции, дана оценка вычислительной сложности алгоритма решения задачи декомпозиции на основе структур семантико-числовой спецификации в сравнении с вычислительной сложностью комбинаторных алгоритмов декомпозиции, использующих способ полного перебора вариантов.

Заклучение

1. Одной из основных проблем современной вычислительной техники является повышение эффективности параллельного решения задач с помощью вычислительных сетей (ВС) и многопроцессорных суперЭВМ, реализующих принцип обмена сообщениями. Это делает исключительно актуальной и практически важной разработку методов и средств оптимального разделения сложных задач на подзадачи в интересах минимизации временных затрат на обмен данными между компьютерными узлами ВС и/или процессорами суперЭВМ классов MPP/CLUSTER.

2. Разработанный конструктивный алгоритм декомпозиции задач обеспечивает минимизацию суммарных временных затрат ВС на обмен данными между узлами сети на основе учета особенностей решаемых задач, представляемых структурами семантико-числовой спецификации, и характеристик архитектуры вычислительных систем.

3. Разработанный алгоритм декомпозиции имеет, по сравнению с известными комбинаторными подходами, существенно меньшую вычислительную сложность и обеспечивает возможность повышения эффективности вычислительных систем и суперЭВМ классов MPP/CLUSTER за счет значительного сокращения необходимых временных затрат на обмен сообщениями.

Литература

1. Степанов А.Н. *Архитектура вычислительных систем и компьютерных сетей*. / А.Н. Степанов - СПб.: Питер, 2007. - 569 с.

2. Олифер В.Г. *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд.* / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер - СПб.: Питер, 2006. - 958 с.

3. Таненбаум Э. *Компьютерные сети*. - 4-е изд. / Э. Таненбаум - СПб.: Питер, 2005. - 538 с.

4. *Архитектура и топологии многопроцессорных вычислительных систем* / А.В. Богданов, В.В. Корхов, В.В. Мареев, Е.Н. Станкова - М.: Интернет - университет информационных технологий, 2004. - 275 с.

5. Таненбаум Э. *Распределенные системы. Принципы и парадигмы*. / М. Ван Стэн - СПб.: Питер, 2003. - 958 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. - 148 с.

7. Воеводин В.В. *Параллельные вычисления*. / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин - СПб.: БХВ-Петербург, 2002. - 548 с.

8. Корнеев В.В. *Параллельные вычислительные системы*. / В.В. Корнеев. - М.: Нолидж, 1998. - 239 с.

9. Бронштейн И.Н. *Справочник по математике. Для инженеров и учащихся втузов*. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. // Под ред. Г. Гроше и В. Циглера. Пер. с немецкого. Совместное издание. - Издательство «Тойбнер» Лейпциг, Москва «НАУКА», Главная редакция физико-математической литературы, 1981. - 720 с.

10. Рейнгольд Ю. *Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика*. / Ю. Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део. // Пер. с англ. Е.П. Липатова. - МИР: Москва. - 1980. - 476 с.

11. Поляков Г.А. *Визуализация статико-динамических объектов автоматического проектирования мультипараллельных цифровых устройств*. / Г.А. Поляков, В.В. Онищенко // Системы обработки информации, СОИ. Харьков, ХВУ. - 2004. - Вып. 7 (35) - С.169 - 177.

12. Поляков Г.А. *Автоматизация проектирования сложных цифровых систем коммутации и управления*. / Г.А. Поляков, Ю.Д. Умрихин - М.: Радио и связь, 1988. - 304 с.

13. Толстолужская Е.Г. *Методика формализованного синтеза мультипараллельных архитектурно-ориентированных моделей решения задач* / Е.Г. Толстолужская // Сб. науч. тр. Институт проблем моделирования в энергетике им Г.Е.Пухова АН Украины. - К., 2003. - Вып.22. - С.121-125.

Поступила в редакцию 22.02.2009

Рецензент: д-р техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник В.В. Баранник, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков, Украина.

**МЕТОД ФОРМАЛЬНОЇ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ***Г.О. Поляков, О.Г. Толстолузька, С.І. Шматков*

Констатується залежність ефективності супер ЕОМ та ОС при вирішенні великих завдань від ефективності алгоритмів, що забезпечують оптимізацію результатів декомпозиції завдань на підзадачі, які виконуються відповідними кластерами супер ЕОМ або обчислювальної мережі. Наголошується, що недоліком відомих комбінаторних методів є швидке зростання складності і часу декомпозиції при збільшенні розмірності завдань, що виконуються. Описується метод формальної декомпозиції завдань на основі структур семантико-числової специфікації завдань, що забезпечує мінімізацію сумарної кількості обмінів повідомленнями між фрагментами. Коментується узагальнений алгоритм декомпозиції завдань. Надана оцінка обчислювальної складності розробленого алгоритму декомпозиції порівняно з обчислювальною складністю комбінаторних алгоритмів декомпозиції, що використовують спосіб повного перебору варіантів.

Ключові слова: часова мультипаралельна програма, технологія, ОС, що самоорганізується, ефективність розпаралелювання.

**METHOD OF FORMAL DECOMPOSITION OF TASKS
FOR PARALLEL COMPUTING SYSTEMS***G.A. Polyakov, E.G. Tolstolyzskaya, S.I. Schmatkov*

Efficiency dependence of super computer and CS is ascertained during solving of large tasks from algorithms efficiency providing the results optimization of tasks' decomposition on subtasks which are carried out by corresponding clusters of the super computer or the computer network. It is noticed that disadvantage of known combinatory methods is the fast complexity increasing and decomposition time while dimensionality increasing of solved problems. The method of formal tasks' decomposition based on structures of semantic - numerical problems specification, providing minimization of total quantity of messages exchanges between fragments is described. Generic algorithm of tasks' decomposition is commented. The computing complexity estimation of developed decomposition algorithm in comparison with computing complexity of combinatory decomposition algorithms using a way of full search of variants is given.

Key words: time multiparallel program, technology, self organizing CS, paralleling efficiency.

Поляков Геннадий Алексеевич – д.т.н., професор, академик Академии Наук Прикладной Радиоэлектроники, Москва, Россия, e-mail: tda_ua@pochtamt.ru.

Толстолужская Елена Геннадиевна – к.т.н., старший научный сотрудник Научный Центр Воздушных Сил Харьковского университета Воздушных Сил, Харьков, Украина, e-mail: tda_ua@pochtamt.ru.

Шматков Сергей Игоревич – к.т.н., доцент, заведующий кафедры теоретической и прикладной системотехники Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина, e-mail: tps@univer.kharkov.ua.