

УДК 681.3

Г.А. ПОЛЯКОВ<sup>1</sup>, Е.Г. ТОЛСТОЛУЖСКАЯ<sup>2</sup><sup>1</sup>Академия наук прикладной радиоэлектроники, Россия<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Украина

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВРЕМЯПАРАМЕТРИЗОВАННЫХ МУЛЬТИПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ КАК СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Констатируется, что для традиционных параллельных программ характерно отсутствие в их конструкциях временного параметра и, как следствие, невозможность разработки параллельных программ, удовлетворяющих заданным временным требованиям и ограничениям (крайне важных для существующих и перспективных информационно-управляющих систем). Определяется новый класс программ – времяпараметризованные (временные) мультипараллельные программы. Представлены методы параллельной обработки данных и состав факторов, подлежащих учету при проектировании программ данного класса. Описываются подходы к архитектурно - и проблемно-ориентированному проектированию программ данного класса. Рассматривается архитектура технологии проектирования временных параллельных программ и алгоритмы их формального синтеза для параллельных ВС классов SMP, NUMA, MPP. Приводятся иллюстрирующие примеры. Формулируется вывод о направлении развития систем параллельного программирования в первой половине XXI века.

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

### 1. Анализ последних достижений и публикаций. Постановка проблемы

В настоящее время признается, что стратегией развития цифровой вычислительной техники в XXI веке следует считать создание интеллектуальных параллельных ЭВМ нового поколения - динамически реконфигурируемых и самоорганизующихся вычислительных систем (СВС) с мультипараллельной обработкой данных, способных автоматически (средствами самой системы) целенаправленно синтезировать или изменять архитектуру параллельного программного и аппаратного обеспечения, функционирование и характеристики при изменении областей применения, решаемых задач и предъявляемых требований и ограничений [1, 2].

Анализ известных систем и средств параллельного программирования показывает, что они характеризуются следующими основными недостатками [3 - 6]:

– выполнение человеком вручную наиболее сложных, неформализованных, творческих этапов параллельного программирования, которые определяют оптимальность параллельных программ, предельно допустимую сложность эффективно про-

граммируемых задач, качество и сроки разработки параллельных программ: декомпозиции задач на ветви (фрагменты), распределения вычислений и данных по процессорам, организации обмена и взаимной синхронизации процессов, выполняемых различными процессорами параллельной ЭВМ;

– невозможность использования при проектировании параллельных программ всех известных методов параллельной обработки данных с автоматической оптимизацией состава применяемых методов для конкретных требований и ограничений;

– отсутствие поддержки автоматического синтеза традиционных параллельных и временных мультипараллельных программ, который является необходимым условием повышения эффективности параллельных ВС известных классов и создания перспективных самоорганизующихся вычислительных систем (СВС).

Эти недостатки обуславливают исключительную актуальность проблемы разработки нового класса программных средств – времяпараметризованных (временных) мультипараллельных программ [7 - 9] и интеллектуальных технологий их автоматического проектирования [10 - 13].

**Цель статьи:** изложение аппарата временных мультипараллельных программ и описание технологии их формального проектирования.

## 2. Времяпараметризованные мультипараллельные программы и факторы, подлежащие учету при их проектировании

Временная параллельная программа определяется (в отличие от принятой в настоящее время трактовки параллельных программ [3 - 5] как конструкция, содержащая спецификации следующих категорий информации [6] (рис.1):

- множество данных, над которыми должны выполняться действия;
- множество действий (операций/функций), которые должны быть выполнены над данными для решения задачи;
- множество статических связей, задающих отношения упорядоченности операций / функций по данным и по управлению;

– упорядоченность операций/функций в динамике параллельного вычислительного процесса, задаваемую множеством моментов времени начала выполнения операций/ функций;

– разделение множества операций/функций на временные фрагменты (множественные временные операторы, МВО), включающие совокупность операций/функций, выполнение которых начинается одновременно в конкретный момент дискретного времени;

– разделение множества данных на фрагменты данных, поставленные в однозначное соответствие множественным временным операторам и используемые в соответствующие моменты дискретного времени;

– наличие информации о разбиении множества команд различных фрагментов на подмножества команд (нити), выполняемые соответствующими модулями/процессорами.

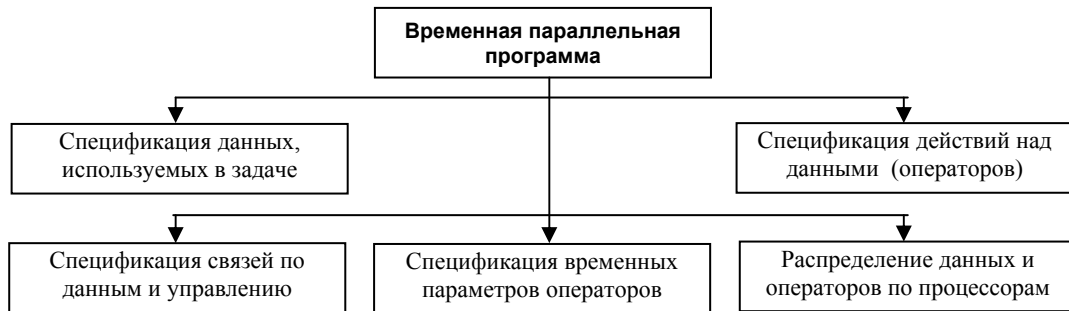


Рис. 1. Состав спецификаций времяпараметризованных (временных) параллельных программ

Требование высокой эффективности параллельного программного обеспечения делает необходимым учет при синтезе временных параллельных программ следующих основных групп факторов (рис. 2) [1,5,6]:

- особенностей алгоритмов решаемых задач,

нх программ на языке высокого уровня (Си, С++, Фортран и т.п.);

- состава методов параллельной обработки данных, который может быть использован при синтезе временных параллельных программ (совмещение независимых операций, конвейерный метод, кодово-матричный метод, декомпозиционный метод, метод параллельной смеси алгоритмов, рис. 3);

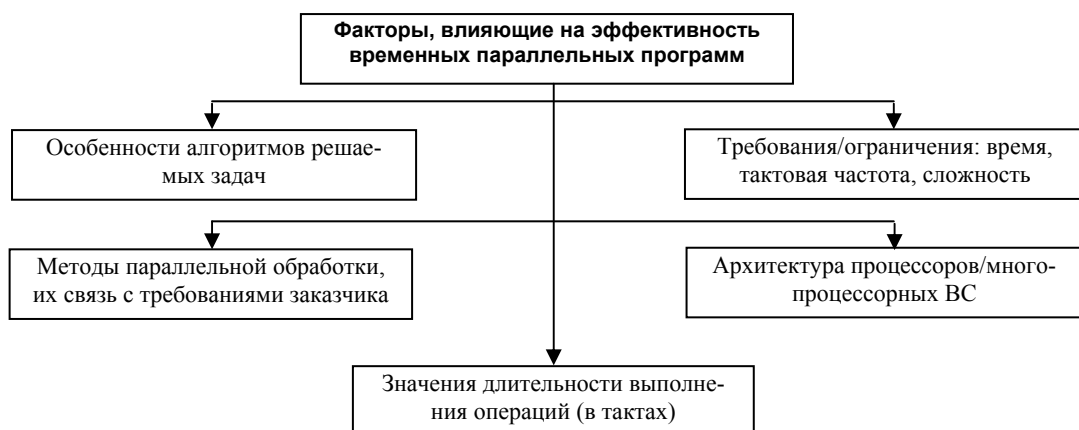


Рис. 2. Состав факторов, подлежащих учету при проектировании временных параллельных программ

– особенностей архитектуры параллельных процессоров и вычислительных систем (ВС): в том числе класс параллельной ВС (*SMP, NUMA, MPP, CLUSTER*); тип межпроцессорных коммуникаций (полносвязная система, общая шина, кольцо, гиперкуб и т.д.); иерархия памяти, возможность и время параллельного доступа к памяти; организация межпроцессорного обмена данными; способ синхронизации работы процессоров и необходимые временные затраты и т. п.;

– временных характеристик параллельных процессоров и многопроцессорных ВС: длительности операций, тактовой частоты, надежности/достоверности, сложности/стоимости и т. п.;

– состава конкретной конфигурации параллельной ВС (количества функциональных блоков/ процессоров конкретных типов и топология их связей);

– системы требований и ограничений (время решения, тактовая частота, сложность/ стоимость, надежность/достоверность), которые могут предъявляться пользователями к характеристикам параллельного вычислительного процесса.

Возможность поддержки временными параллельными программами тех или иных методов параллелизма обеспечивает возможность использования адекватного задачам и различным требованиям /ограничениям состава методов параллельной обработки в интересах повышения эффективности параллельных ВС.

Состав рассматриваемых методов параллельной обработки и их влияние на различные показатели эффективности параллельного решения задач представляет рис. 3.

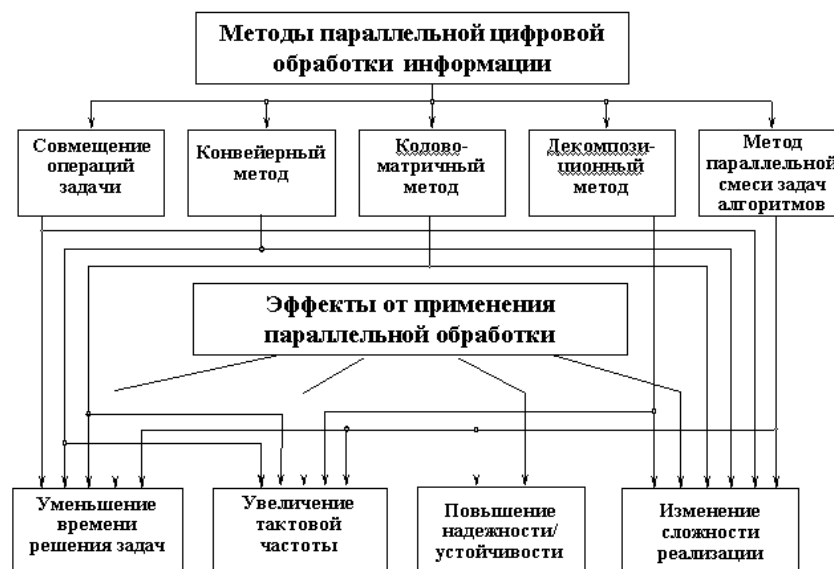


Рис. 3. Методы параллельной обработки и достигаемые прикладные эффекты

### 3. Классификация временных параллельных программ

Множественность методов параллельной обработки данных обуславливает необходимость введения соответствующей классификации временных параллельных (ВП) программ. В классификации временных программ целесообразно выделить три основных класса:

– последовательные временные программы, которые представляют собой традиционные последовательные программы, для операторов которых определены моменты времени начала их выполнения;

– монопараллельные временные программы, которые поддерживают какой либо один метод параллельной обработки данных и для операторов которых моменты времени начала их выполнения;

– мультипараллельные временные программы, которые поддерживают некоторую часть (или все) методы параллельной обработки данных и для операторов которых специфицированы моменты времени начала их выполнения.

В докладе рассматриваются классификация и особенности временных последовательных и параллельных программ различных классов.

С точки зрения перспектив разработки и областей возможного применения можно выделить два основных направления проектирования временных мультипараллельных программ:

– направление проектирования архитектурно-ориентированных временных параллельных программ, предназначенных для использования в существующих классах параллельных ВС (например, в универсальных процессорах с длинной командной

строкой, *VLIW*, или с управлением потоком данных, *FLOW*; в многопроцессорных ВС (с архитектурами *SMP*, *MPP*, *NUMA*, *MPP*);

– направление проектирования проблемно-ориентированных временных параллельных программ, ориентированных на использование в перспективных параллельных вычислительных средствах – интеллектуальных самоорганизующихся параллельных процессорах и многопроцессорных вычислительных системах.

В докладе рассматривается постановка задач проектирования временных мультипараллельных программ для каждого из этих направлений.

#### 4. Архитектура технологии проектирования временных параллельных программ

Обобщенная архитектура технологии синтеза мультипараллельных программ (Параллельного Интеллектуального Компилятора, ПИК) представлена на рис. 4.

Основными этапами технологии являются:

1. Ввод исходных данных, необходимых для выполнения автоматической адаптации программных средств к особенностям решаемых задач, требованиям и ограничениям:



Рис.4. Архитектура технологии синтеза временных мультипараллельных программ

– СИ – программ задач;  
– требований к временным характеристикам решения задач: времени решения, интервалу ввода данных (или требуемой тактовой частоте), достоверности результатов решения задач и т.п.;

– ограничений на допустимую сложность (стоимость) аппаратных и программных средств, поддерживающих решение задач;

– архитектуру используемых процессоров/многопроцессорных ВС, состава их программного обеспечения, временных характеристик выполнения операций/функций.

2. Синтез семантико-числовой и графической спецификаций исходных СИ – программ.

3. Синтез, числовая и графическая спецификация временных параллельных моделей решения задач (с учетом основных классов параллельных ВС, конкретных требований/ограничений и временных характеристик).

4. Оценка временных характеристик программно реализуемых моделей (сложности/ стоимости программной реализации) и выбор модели (моделей), удовлетворяющих заданным требованиям и используемых далее при синтезе временных параллельных программ.

5. Синтез числовых и графических спецификаций и удовлетворяющих заданным требованиям параллельных программ, реализующих выбранные параллельные модели.

6. Верификация корректности синтезированных временных параллельных программ, представленных числовыми и графическими спецификациями.

7. Синтез многопроцессорных конфигураций параллельных ВС, обеспечивающих выполнение временных параллельных программ.

8. Верификация корректности многопроцессорных конфигураций параллельных ВС, обеспечивающих выполнение параллельных программ.

9. Оценка показателей эффективности параллельного выполнения и проверка их соответствия предъявленной системе требований и ограничений.

В докладе приводятся обобщенные алгоритмы формального синтеза временных параллельных программ для параллельных ВС классов SMP, NUMA, MPP. Рассматриваются примеры, иллюстрирующие основные этапы синтеза временных параллельных программ. Представлены оценки показателей эффективности параллельных программ конкретных прикладных задач. Дается характеристика программных средств, реализующих основные этапы синтеза.

### Заключение

1. Времяпараметризованные (временные) мультипараллельные программы являются новым классом параллельных программ, который включает традиционные последовательные и параллельные программы в качестве частных случаев.

2. Принципиальными отличиями временных мультипараллельных программ от традиционных последовательных и параллельных программ являются:

- использование реального времени в качестве одного из основных элементов конструкции параллельных программ и соответствующих параллельных процессов;

- явный мультипараллелизм – непосредственное отражение в конструкции программ используемых (всех или произвольной части известных) методов параллельной обработки данных;

- корреляция между структурой программ данного класса и особенностями архитектуры конкретных параллельных процессоров / многопроцессорных ВС;

- поддержка структурами временных мультипараллельных программ конкретных требований и ограничений: времени решения, тактовой частоты, загрузки оборудования, стоимости и т.п.

3. Учет в структуре временных параллельных программ всех основных факторов, определяющих эффективность вычислительных средств, может обеспечить существенное повышение эффективности использования существующих параллельных

процессоров и многопроцессорных ЭВМ и поддержку высокой эффективности перспективных Самоорганизующихся Вычислительных Систем.

4. Создание технологий автоматического архитектурно и проблемно-ориентированного синтеза временных мультипараллельных программ следует считать перспективной стратегией развития систем параллельного программирования.

### Литература

1. Поляков Г.А. *Адаптивные самоорганизующиеся системы с мультипараллельной обработкой данных – стратегия развития цифровой вычислительной техники в XXI веке* / Г.А. Поляков // *Прикладная радиоэлектроника*. – 2002. – Т.1, № 1. – С. 37-41.

2. Каляев А.В. *Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой* / А.В. Каляев – М.: Радио и связь, 1984. – 240 с.

3. Лацис А. *Как построить и использовать суперкомпьютер* / А.Лацис – М.: Бестселлер. 2003. – 240 с.

4. Воеводин В.В. *Параллельные вычисления* / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин -СПб.: БХВ Петербург, 2002. – 608 с.

5. Немнюгин С. А. *Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем* / С.А. Немнюгин, О. Л. Стесик. - СПб.: БХВ - Петербург, 2002. – 400 с.

6. *Программирование на параллельных вычислительных системах: Пер. с англ.* /Р. Бэбб, Дж. Мак-Гроу и др.; под ред. Р. Бэбба II. – М.: Мир, 1991. – 376 с.

7. Поляков Г.А. *Глобально – параллельные времяпараметризованные программы – новый подход к синтезу и выполнению параллельных программ в АСУ реального времени* / Г.А. Поляков // *Всесоюзная научно – техническая конференция «Программное обеспечение вычислительных сетей и систем реального времени»*. – К., 1981.- С. 15-18.

8. Поляков Г.А. *Синтез время – параметризованных параллельных программ – новый подход к параллельному программированию для специализированных многопроцессорных вычислительных комплексов АСУ реального масштаба времени* / Г.А. Поляков // *Всесоюзная научно – техническая конференция «Программное обеспечение АСУ»* / Калинин, 1980. – С. 21-23.

9. Поляков Г.А. *Методика программирования для высокопроизводительных систем с многократным распараллеливанием вычислительного процесса* // Г.А. Поляков. Е.М. Мейль / XXI Военно – научная конференция академии. Часть 3 / ВИРТА ПВО. – Х., 1970. – С. 18.

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

11. Поляков Г.А. Проблемы многоверсионного проектирования высоконадежных параллельных программных средств для систем управления критическими технологиями и объектами / Г.А. Поляков, В.В. Скляр, Д.А. Толстолужский, Е.Г. Толстолужская, В.С. Харченко // Радиозлектронные и компьютерные системы. – 2006. – Вып. 7 (19). – С. 7-16.

12. Поляков Г.А. Синтез параллельных программ для VLIW-процессоров. проблемы информа-

тики и моделирования / Г.А. Поляков, Е.Г. Толстолужская // Материалы седьмой международной научно – технической конференции. – Х., 2007. – С.11.

13. . Поляков Г.А. Формальный синтез параллельных программ для высокопроизводительных VLIW – процессоров / Г.А. Поляков, Е.Г. Толстолужская. // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2007. – Вып. 8 (66). – С. 72-80.

Поступила в редакцию 21.02.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. научн. сотр., ведущий научный сотрудник научного центра Воздушных Сил В.В. Баранник, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков, Украина.

## ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЧАСОПАРАМЕТРИЗОВАНИХ МУЛЬТИПАРАЛЕЛЬНИХ ПРОГРАМ, ЯК СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ПАРАЛЕЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

*Г.О. Поляков, О.Г. Толстолузька*

Констатується, що для традиційних паралельних програм характерна відсутність у їх конструкціях часового параметра й, як наслідок, неможливість розробки паралельних програм, що задовольняють заданим часовим вимогам й обмеженням (україн важливих для існуючих і перспективних інформаційно-керуючих систем). Визначається новий клас програм - часопараметризовані мультипаралельні програми. Представлено методи паралельної обробки даних і состав факторів, що підлягають урахуванню при проектуванні програм даного класу. Описуються підходи до архітектурно - і проблемно-орієнтованого проектування програм даного класу. Розглядається архітектура технології проектування часових паралельних програм й алгоритми їх формального синтезу для паралельних ВР класів SMP, NUMA, MPP. Наводяться приклади для ілюстрації. Формулюється висновок про напрямок розвитку систем паралельного програмування в першій половині XXI століття.

**Ключові слова:** часова мультипаралельна програма, технологія, обчислювальна система, що самоорганізується, ефективність розпаралелювання.

## TECHNOLOGY OF TIMEPARAMETERIZED MULTIPARALLEL SOFTWARE DESIGN AS A STRATEGY OF PARALLEL PROGRAMMING SYSTEMS EVOLUTION

*G.A. Polyakov, E.G. Tolstolyzkaya*

Established, that for the traditional parallel programs absence in their constructions of time parameter and, as a result, impossibility of parallel program design satisfying the given time specifications and limitations (utterly important for the present and perspective information-management systems). The new program class – the timing multiparallel programs is defined. The methods of the parallel processing of the data and combination of factors, which necessary for designing of the programs of this class, are presented. The approaches to architectural oriented and problem oriented designing programs of this class are described. The architecture of technology of design timing parallel programs and algorithms of their formal synthesis for parallel systems of classes SMP, NUMA, MPP. The illustrating examples are given. It is concluded the basic development trend of systems of parallel program design at the beginning of XXI century.

**Key words:** timing multiparallel program, technology, self-organizing system, the efficiency of paralleling.

**Поляков Геннадий Алексеевич** – д-р техн. наук, проф, академик Академии Наук Прикладной Радиоэлектроники, Москва, Россия, e-mail: tda\_ua@pochtamt.ru.

**Толстолужская Елена Геннадиевна** – канд. техн. наук, ст. научн. сотр. научного центра Воздушных Сил Харьковского университета Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков, Украина, e-mail: tda\_ua@pochtamt.ru.