

Метод распределения операций в распределенной вычислительной среде для построения живучего бортового процессора линейных преобразований потоков данных дистанционного зондирования

С.В. Блажевич, В.Н. Винтаев, Н.Н. Ушакова

*Белгородский государственный университет,
308015 г.Белгород, Россия ул. Победы, д.85,
E-mail: blazh@bsu.edu.ru*

Предлагается метод организации распределенной вычислительной среды, обеспечивающий устойчивость функционирования операций линейного преобразования потоков данных в процессорах, построенных на его основе, в условиях деградации или выхода из строя отдельных элементов среды.

Ключевые слова: Распределенные вычислительные среды, распределение операций в среде, живучесть процессора.

Введение

Методы преобразования традиционных линейных многомерных систем обработки данных в системы с распределенным алгоритмом развиваются достаточно интенсивно на основе LON-технологии (технологии управляющих сетей LonWorks). При этом особенности LON-технологии и лежащего в ее основе сетевого протокола приносят в решаемую задачу требования и ограничения, преодолеваемые часто с большим трудом, и требуют разработки программных средств высокой сложности для наладки распределенного алгоритма обработки. Большинство алгоритмов обработки данных (ДЗ), таких как преобразование Фурье (Фурье-Мэллина, Фурье-Бесселя) и алгоритмов, представимых свертками потоков данных с собственными векторами или ядрами линейных преобразований, эффективно реализуются в конвейерно-параллельных структурах, т.е. на распределенных вычислительных средах [1-5].

В данной работе для таких структур на борту предлагается метод обеспечения высокой живучести за счет синтеза машинно-ориентированных образов операций алгоритма обработки многомерных потоков данных, выполняемых не на отдельном операционном элементе каждая, а парциально таким образом, что каждая операция распределяется по всем элементам вычислительной среды [6].

Основные положения метода

В качестве одного из методов построения распределенных операций достаточно рассмотреть простую цифровую линейную систему обработки общего вида, описываемую дискретной переходной функцией Q (откликом на функцию Хевисайда), потоком входных данных X и выходным результирующим вектором R , для которой в силу теорем о представлении линейных систем выполняется соотношение в виде свертки

$$R=X*Q \quad (1)$$

Характеристика Q поддерживается в цифровой технике некоторой программно (микропрограммно)-аппаратной системой с распараллеливанием (или матричного, систолического или вида произвольного многовершинного графа). Пусть на объект Q необходимо подать воздействие $D(s)X$, где $D(s)$ – оператор дифференцирования порядка s , который может быть и нецелым в общем случае. Воспользуемся теоремой о дифференцировании свертки и запишем соотношение (тождество)

$$D(s)(X*Q) = (D(s) X)*Q = X* D(s) Q \quad (2)$$

В соотношении (2) центральная часть равенства описывает только что сформулированную задачу, левая часть равенства означает, что это равносильно дифференцированию результата работы объекта или, что и результат работы объекта будет получен продифференцированным, а правая часть соотношения говорит о том, что можно не дифференцировать воздействие на объект, а перейти к новой структуре с характеристикой $D(s)Q$. Синтез линейных систем по заданной для них переходной функции – это основная задача (решаемая уже много лет) синтеза линейных фильтров с заданными свойствами (линейные фильтры также представимы сверткой).

Соотношение (2) означает, что с переходом к объекту с характеристикой $D(s)Q$ мы нигде не выполняем явно операцию $D(s)$, однако результат работы системы соответствует тому, что операция $D(s)$, предусмотренная нами, внедрена в систему, причем спрятана как неявная в объекте, и при выходе из строя операционных элементов объекта операция $D(s)$ не отказывает в работе, как при локальном ее исполнении, а только деградирует, т.е. является распределенной в объекте (с новой переходной функцией, но в нем не прописанной, как не прописанной и нигде в системе). Некоторое новое воздействие X – с разложением в ряд Тейлора по степеням дифференциального оператора на единичном интервале, определяет операцию более общего вида, на основании соотношения (2) распределенную, не прописанную явно в системе, которая обладает почти всеми достоинствами LON-технологии. Единичный интервал разложения определяется в общем случае нормировкой интервала, на котором задан сигнал (дело в том, что предлагаемые в работе выкладки справедливы и для входных сигналов, моделируемых обобщенными функциями медленного роста (Шварца), т.е. сингулярных на мере нуль: все свертки в этом случае выполняются в виде расчетов скалярных взвешенных произведений над полем основных функций класса C [3] для всех состояний взаимных сдвигов функций-участников операции свертки), а в ординарном случае величина интервала задания сигнала приводится к единице простейшим образом. При этом следует считать, что спектральное разложение сигнала претерпело преобразование за счет масштабирования оси (осей в многомерном варианте) частот (базисных осей ортонормированного пространства функций, предназначенных для разложения многомерного сигнала). Разумеется, при этом производится соответствующее масштабирование спектрального представления переходной функции Q . На выходе из системы, если это необходимо, производятся обратные масштабные манипуляции с результатом.

Развитие обсуждаемой проблемы на многомерные системы преобразует соотношение (2) в систему соотношений с индексами при каждой строке, определяемыми инцидентиями графа системы управления, и ничего радикально в предпринятых рассуждениях не меняет.

В [7] разработана и апробирована на реальных системах концепция эффективных вычислимых представлений $D(s)$.

Для характеристики Q и соответствующей этой характеристике структуры строится ряд наследных характеристик и соответствующих структур при целочисленных значениях s вида $D(1)Q$, $D(2)Q$, $D(3)Q$, ..., каждая из которых, начиная с $D(0)Q$, может быть родительской при построении аналогичных рядов с нецелочисленными значениями приращения s . Можно строить ряды характеристик и соответствующих структур, не используя соотношение (2), т.е. исходя из других требований, подлежащих удовлетворению. Но, так или иначе, потребуется система обработки потоков данных, многопроцессорная (под процессором здесь следует понимать, в принципе, любой элемент, реализующий набор или единственную необходимую операцию) и с перестраиваемой (управляемой программно) архитектурой, причем наиболее «однородное и паллиативное» решение для процессоров системы – это реализация их в виде «перезакачиваемых» таблиц на элементах памяти (например, блок умножения, блок двухточечного Фурье-преобразования вполне легко реализуются прописыванием по адресу $\langle ab \rangle$ того, что должно быть при задуманном взаимодействии a и b). Вопросы масштабирования и наращивания системы – это уже вопросы второго порядка, но для определенных рядов характеристик достаточно легко решаемые. В работах [8, 9] описанное выше (но без использования соотношения (2)) в основных аспектах представлено и показано, что работа конвейерно-параллельных систем с реконфигурируемой программно архитектурой, с представлением потоков данных в виде Z -преобразования, а числовых данных – в системе остаточных классов, при отказе элемента в системе, например, с ресурсом из 32×32 элементарных процессоров, характеризуется вызываемой в корректности обработки данных деградацией, оцениваемой в $0,1\%$, если не предпринимать никаких мер, кроме вывода некорректного элемента из последовательной цепи (шунтированием средствами имеющегося коммутатора), чтобы сохранить работоспособность всего звена. Соответствующим «перезакачиванием» таблиц операционных элементов и реконфигурацией архитектуры указанная цифра деградации сводится к нулю с потерей коллективной производительности системы на величину $0,1\%$ от суммарной производительности. Моделирование ситуаций в технологии, определяемой соотношением (2) на процессоре, представленном в [8], разработанном с реализацией репрограммирования конфигурации процессора в конвейерно-параллельные структуры показывает, что соответствующая деградация в $0,1\%$, например, распределяется парциально между $D(s)$ и Q . Таким образом реализуется способ нейтрализации деградации Q , принятие же мер по нейтрализации деградации операции $D(s)$ не укладывается в такую прозрачную для описания схему, но последние исследования на эту тему указывают на соответствующую возможность (Процессор ориентирован на поточное выполнение линейных преобразований в любой базисной системе функций, а также на нелинейные преобразования, выполняемые на табличных элементах, организуемых из секций оперативного запоминающего устройства и т.п.).

Следует отметить, что предлагаемая схема построения распределенных по вычислительной среде операций, опирается на разложение Тейлора ядра интегрального представления (в виде свертки) алгоритмов линейного класса, причем это ядро в достаточной степени произвольно по значениям отсчетов, т.е. моделирует в принципе операции, отличные от дифференциальной, которую, собственно, мы и погружаем в среду неявным образом. Легко вычислить получаемую для такого погружения характеристику Q : т.к. погружаемая операция U над входным вектором X представляется как $UX = X * Z$, где Z - яд-

ро соответствующего интегрального представления, то ряд Тейлора для указанного ядра на единичном интервале будет иметь вид

$$UX = X * Z = a(0) D(0) X + a(1) D(1) X + a(2) D(2) X + a(3) D(3) X + \dots, \quad (3)$$

(здесь при получении выражения использовалось соотношение (2), а именно, в свертке $X * Z$ дифференциальные операции перенесены с Z , для которого строится ряд Тейлора на X), а соответствующая излагаемой методике переходная характеристика $Q(U)$ будет равна, соответственно

$$Q(U) = a(0) D(0) Q + a(1) D(1) Q + a(2) D(2) Q + a(3) D(3) Q + \dots, \quad (4)$$

по которой в соответствии с методикой синтеза линейных систем и будет синтезироваться распределенная среда с учетом предусмотренной и описанной выше реконфигурации и возможности перезакачивания таблиц функциональных элементов.

На базе положений, выдвинутых в [10-12], разработана модель вероятностного описания значимости субблоков предлагаемой распределенной системы в корреляции их с элементами распределенной операции, а также модель оценки деградации операции при сбоях в субблоках.

Можно и обойтись без привлечения дифференциальных операторов, а работать с характеристикой:

$$Q(U) = Z * Q, \quad (5)$$

однако следует учитывать, что процесс «извлечения» на выходе из системы «чистого» результата выполнения операции UX в случае с рядом Тейлора при решении средой фоновой задачи с характеристикой Q несколько проще.

Заключение

В представленной работе предложен способ реализации алгоритмов и операций поточного класса, соответствующих линейным преобразованиям, путем соответствующего возмущения переходной (дискретной) характеристики, поддерживаемой в вычислительной среде (в том числе и многопроцессорной) первоначально по решаемой этой средой задаче. Показано, что такое возмущение характеристики может осуществляться в среде с репрограммируемой структурой и перепрограммируемыми функциональными элементами. При этом выполнение заданных алгоритмов осуществляется в отсутствие конкретной и локальной прописки их структурных и функциональных элементов в конкретных операционных элементах вычислительной среды, что является фактором поддержки высокого уровня живучести решаемой в среде задачи, поскольку в этом случае выход из строя одного функционального элемента среды приведет лишь к деградации алгоритма, а не к полному его разрушению (отказу).

Все выше изложенное может стать основой для реализации предлагаемого метода интеграции алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения задач при построении бортовых средств обработки данных.

Литература

1. *Воеводин В.В.* Вычислительные основы линейной алгебры. // М.: Наука, 1977, 303 с.
2. *Каппелини В., Константинидис Д.* Цифровые фильтры и их применение. // М.: Энергоатомиздат, 1983, 360 с.
3. *Владимиров В.С.* Уравнения математической физики. // М.: Наука, 1967, 436 с.
4. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений // М.: Мир, Кн.2, 1982, 790 с.
5. *Коллатц Л.* Функциональный анализ и вычислительная математика. // М.: Мир, 1969. – 447 с.
6. *Винтаев В.Н., Рубанов В.Г.* Метод преобразования структуры информационно-управляющей системы с интегро-дифференциальными операторами. // Тезисы докладов международной конференции РЭТСМ, ч.4, Белгород, БелГТАСМ, 1995, с.77-78.
7. *Ушакова Н.Н.* Коррекция цифровых космических изображений на основе верифицирующего моделирования. // Дисс. на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004, 255 с.
8. *Алиева М.А., Винтаев В.Н., Исмаилов К.Х.* Моделирование архитектуры бортового процессора с проблемной ориентацией // Исследование Земли из космоса, №2, Москва, Изд. АН СССР, 1987, с.112-117.
9. *Винтаев В.Н., Константинов И.С., Ушакова Н.Н.* Процессор целеуказания с матричным сенсорным полем // Сб. докладов технологического конгресса «Современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения», Омск, 2001, с.330-333.
10. *Vintaev V.N., Gadzhiev M.G., Urazbachtin A.I., Ushakova N.N.* Modeling of Verification Operation Modes of Radio-Technical Systems // Vol. 64 '2005 - Telecommunications And Radio Engineering C/C Of Elektrosviaz' And Radiotekhnika, Begell House, Inc., New York, 393-406 pages.
11. *Vintaev V.N., Urazbachtin A.I., Ushakova N.N.*, Structure of the a Priori Probability of Error of the First-Genus Recognition. // Vol. 65 '2006 - Telecommunications And Radio Engineering C/C Of Elektrosviaz' And Radiotekhnika, Begell House, Inc., New York, 413-417 pages.
12. *Блажевич В.С., Бекназаров М.Н., Гришин В.К.* Распределение вероятностей событий в условиях низкой интенсивности набора статистики // Научные Ведомости, Серия физико-математическая, 2004, т.1, №3(20), вып. 9, с. 147-150.

Method of operation distribution in a distributed computing environment for construction of durable onboard linear conversion processor of remote probing data flows

S. Blazhevich, V. Vintaev, N. Ushakova

*Belgorod State University
308015 Belgorod, Pobedy str. 85
E-mail: blazh@bsu.edu.ru*

A method is proposed for distributed computing environment organization which provides the stable operation of data flow linear conversions in the conditions of degradation or outage of separate elements of the environment in the processor constructed on the basis of this method.

Keywords: Method of operation distribution, distributed computing environment, durable onboard linear conversion processor.