

СПОСОБ ВЫБОРА ВАРИАНТА ОРГАНИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ОПЕРАЦИЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

О.В. Климова

Институт машиноведения УрО РАН

Россия, 620219, Екатеринбург, Комсомольская ул., 34

E-mail: klimova@imach.uran.ru

Ключевые слова: параллельные вычисления, цифровая обработка сигналов, модель, алгоритм, вариант организации вычислений, алгоритмы с изменяемой структурой, обоснованный выбор.

Key words: parallel computations, digital signal processing, model, algorithm, variant of computation organization, algorithms with variable structure, well-founded choice.

Переход к параллельной обработке данных сделал организацию вычислений объектом исследований, характеризующимся множеством решений. Целью этих исследований является обоснованный выбор варианта организации вычислений, обеспечивающий эффективность обработки в заданных условиях её реализации. Чтобы выполнение таких исследований стало возможным необходимо разработать новую формальную основу организации вычислений в пространственно-временной среде. В докладе предлагается способ выбора варианта организации параллельных вычислений для операций цифровой обработки сигналов. Способ основан на разработанной формальной модели организации указанных вычислений и создан именно благодаря принципиальному изменению основы организации вычислительного процесса, обеспечившему эволюционный переход от алгоритма к модели.

THE CHOICE METHOD OF ORGANIZATION OF PARALLEL COMPUTATION FOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING BASIC OPERATIONS / O.V. Klimova (Institute of Engineering Science, 34 Komsomolskaya, Ekaterinburg 620219, Russia, E-mail: klimova@imach.uran.ru). Transition to parallel data processing has made computation organization the object of the investigations. The object is characterized by set of decisions. The purpose of these investigations is the well-founded choice of a variant of the computation organization. The variant chosen ought to provide efficient processing under the given conditions of computation realization. It is necessary to develop a new formal basis of the organization of computations in the space-time domain to provide a possibility of the investigation realization. The choice method of organization of parallel computation for digital signal processing basic operations is offered in the paper. The method is based on the developed formal model of the computation organization and is created just thanks to change in principle of a basis of the organization of computing process. Precisely this change provides the evolutionary transition from algorithm to model.

1. Введение

Одной из важнейших проблем, стоящих на пути эффективного использования такого современного и мощного резерва повышения быстродействия вычислений как параллельная обработка, является проблема согласования алгоритмических и архитектурных характеристик параллельных вычислительных систем. Цифровая обработка сигналов (ЦОС) является одной из наиболее заинтересованных областей в продуктивном использовании этого резерва, поэтому для её задач поиск решений указанной проблемы представляет особую актуальность и значимость. Для решения этой проблемы необходимо сделать выбор варианта организации вычислений обоснованным. Достичь этого можно на пути создания формальных основ организации параллельных вычислений, изначально ориентированных на описание вычислительных процессов в пространственно-временной среде. Действительно, переход к параллельным вычислениям сделал саму их организацию объектом исследований, характеризующимся множеством решений. Привычная форма алгоритма, как основы

организации последовательного вычислительного процесса, не способна описать многообразие вариантов организации вычислений, предлагаемое параллельным принципом обработки данных. Исследования, связанные с реструктуризацией [1-3] известных последовательных алгоритмов и их программ и направленные на построение параллельных алгоритмов, характеризуются адаптацией структур последовательных алгоритмов к условиям параллельной обработки и не позволяют получить общее описание различных вариантов организации вычислений. Чтобы отразить это потенциальное многообразие и полноценно использовать его возможности необходимо разрабатывать формальные модели, позволяющие синтезировать и анализировать различные вычислительные структуры непосредственно для самой пространственно-временной среды. Создание таких моделей позволит сделать выбор варианта организации вычислений обоснованным. В работе показаны путь построения формальной модели для операций ЦОС и возможность решения на её основе задачи обоснованного выбора варианта организации вычислений.

2. Путь создания формальной основы для организации параллельных вычислений операций ЦОС

Отправной точкой этого пути является создание формального инструмента для перевода вычислений в пространственно-временную среду. В основу создания такого формального инструмента положены принципы преемственности описания вычислительной среды, её модульности и масштабирования. Использование совокупности этих принципов позволило разработать самостоятельное направление развития формальных основ организации параллельных вычислений для базовых операций ЦОС. Соблюдение принципа преемственности в рамках полученного решения означает, что оно формирует единое описание, как для последовательных, так и для параллельных алгоритмов. Последовательная обработка при этом рассматривается как частный случай параллельной, а исходный последовательный алгоритм, являющийся, по сути, простейшей моделью организации вычислений, представляется некоторой композиционной формой, состоящей из детерминированного набора отдельных независимых по времени вычислительных компонентов. Разработанные формальные правила образования таких композиционных форм стали искомым инструментом для синтеза и анализа различных структур параллельных алгоритмов. А наличие такого инструмента привело к созданию новой формальной основы, позволяющей задавать как последовательные, так и параллельные алгоритмы и представляющей собой модель организации вычислений в пространственно-временной среде, характеризуемую набором параметров и их отношений.

2.1. Разработка формального инструмента для перевода вычислений в пространственно-временную среду

Итак, путь создания основы для организации параллельной обработки характеризуется разработкой формального инструмента, позволяющего выполнять перевод требуемых вычислений в пространственно-временную среду. Для создания такой основы - формальной модели организации вычислений операций ЦОС были разработаны взаимно-однозначные процедуры перехода из временной области их представления в пространственно-временную вычислительную среду. Именно эти параметризованные процедуры и стали тем инструментом, который позволил сформировать базис для организации параллельных вычислений. Началом процесса создания таких процедур стало формирование правил декомпозиции входной последовательности данных и композиции их выделенных фрагментов в исходную последовательность. Указанные правила подробно описаны в работах [4-10]. Таким образом, в основе созданного формального инструмента перевода вычислений в пространственно-временную среду лежит декомпозиция данных. В свою

очередь эта декомпозиция базируется на масштабировании входной последовательности $x(t)$, заданной на отрезке $[0, N-1]$. В результате выполнения такого масштабирования область задания данных преобразуется в двумерную решетку размера $N = L \cdot h_1$, то есть сжимается по временному и расширяется по пространственному аргументам. В результате формируется набор укороченных последовательностей данных $x_j(t_1)$, $j = 0, \dots, L-1$, $t_1 = h_1 - 1$, композиция которых приводит к исходной последовательности $x(t)$. Иллюстрация вышеназванных преобразований данных и областей их задания представлена на рис. 1.

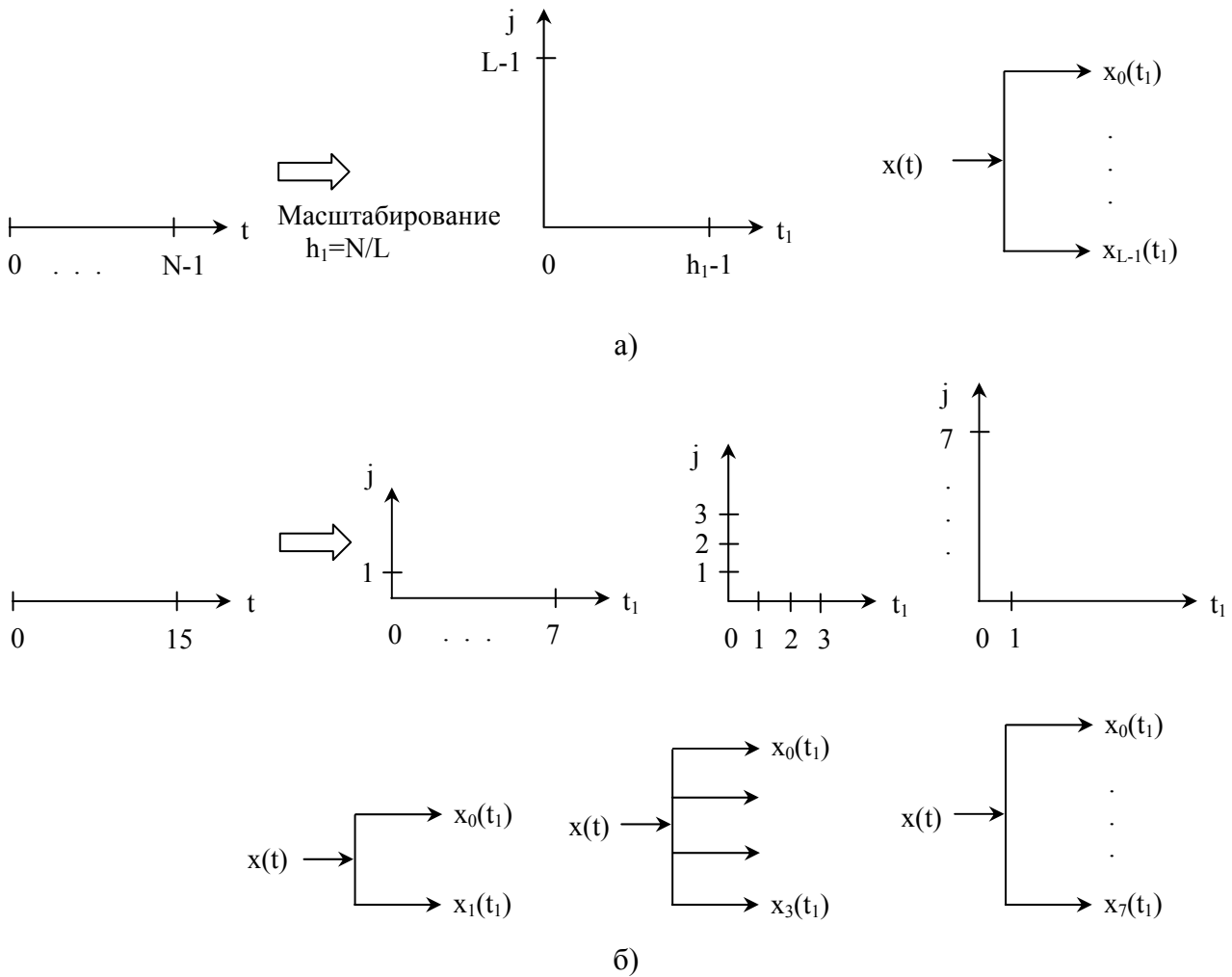


Рис. 1. Перевод отсчетов входной последовательности из временной среды в пространственно-временную (а), варианты перевода для $N=16$ (б).

Полученная композиционная форма задания входной последовательности $x(t)$ стала основой для разработки процедур создания композиционных форм представления базовых операций ЦОС – свертки и дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Такие процедуры были разработаны, описания некоторых из них приведены в работах [4-10]. В результате использования этих процедур были выявлены пространственно-временные композиционные формы представления операций ЦОС, эквивалентные исходным формам их задания и позволяющие их синтезировать, а следовательно, изначально описывающие как последовательную, так и параллельную обработку данных. Разработка инструмента, приведшего к получению новых композиционных форм, позволила внедрить объектно-ориентированный подход в процесс создания формальной основы для организации вычислений операций ЦОС.

2.2. Алгоритмы с изменяемой структурой

Полученные композиционные формы представления операций ЦОС позволили разработать новый класс алгоритмов, названный алгоритмами с изменяемой структурой. Можно сказать, что эти алгоритмы являются моделью организации вычислений операций ЦОС, изначально заданных в пространственно-временной среде. Представленная на рис. 2 пространственно-временная среда сформирована на основе полученных композиционных форм представления операций свертки и ДПФ, описанных в работах [4-10]. Данная

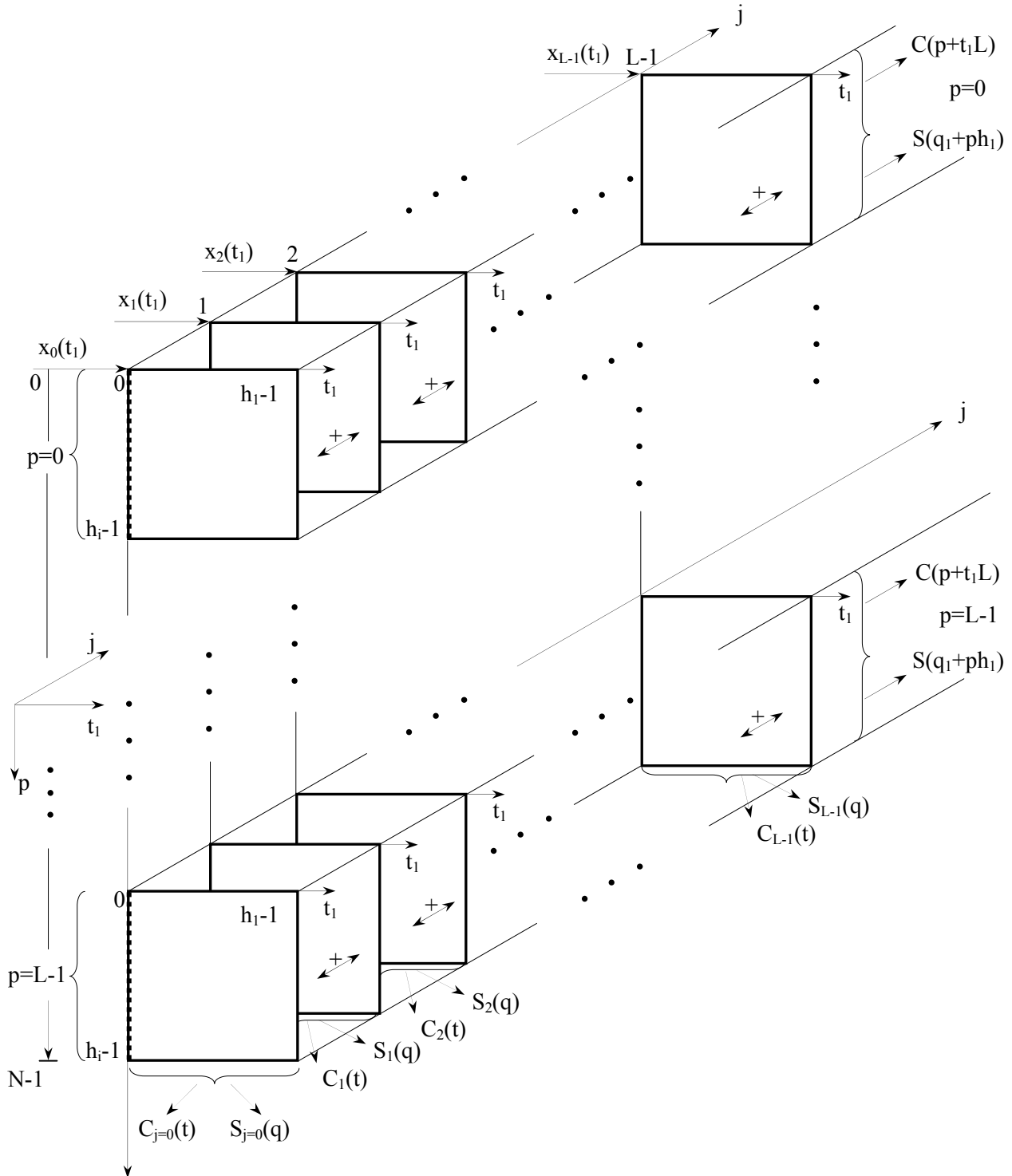


Рис.2. Пространственно-временная среда для организации вычислений операций ЦОС

вычислительная среда характеризуется наличием L независимых по времени вычислительных процессов, занимающихся обработкой соответствующих им наборов входных данных $x_j(t_l)$, $j = 0, \dots, L-1$ длины h_l , $t_l = 0, \dots, h_l - 1$. В каждом j -м процессе вычисляются значения сверток $C_j(t)$ и ДПФ $S_j(q)$ для соответствующих им наборов входных данных. Суммирование результатов, полученных в каждом процессе, позволяет сформировать искомый результат – значения свертки $C(p + t_l \cdot L)$ и ДПФ $S(q_l + p \cdot h_l)$ для всей входной последовательности $x(t)$. Представленная на рис.2 среда для организации вычислений операций ЦОС иллюстрирует полученную возможность управления характеристиками, определяющими её пространственно-временную структуру. Эти характеристики определяются параметрами L и h_l , изменяя значения которых можно синтезировать пространственно-временные среды с различными структурными характеристиками и соответствующие им алгоритмы с изменяемой структурой (АИС). Приведем определение указанных алгоритмов.

Определение. Параллельный алгоритм с изменяемой структурой – это непустое масштабируемое множество последовательных алгоритмов, полученных из исходного последовательного алгоритма, имеющих пространственно-временную локализацию и предназначенных для одновременной реализации, характеризующейся возможностью обоснованного выбора структуры вычислений и быстрым достижением искомого результата.

Одной из основных характеристик АИС является способность к синтезу различных алгоритмических структур, каждая из которых определяется одним из возможных соотношений между значениями параметров L и h_l . Иллюстрация указанной способности для АИС, реализующего операцию свертки длины $N = 16$, представлена на рис.3.

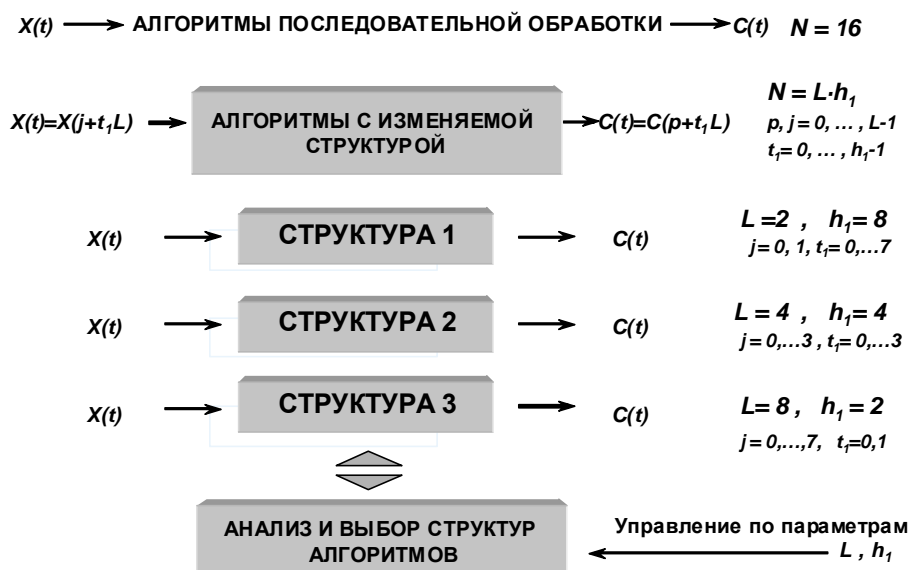


Рис. 3. Базовые варианты структур алгоритма свертки с изменяемой структурой

Варианты организации вычислений операции свертки, иллюстрирующие структуры 1 и 2 АИС (рис. 3), представлены на рис.4 и рис.5 соответственно. В отличие от трехмерной пространственно-временной среды, демонстрирующей все потенциальные возможности организации вычислений операций ЦОС на основе АИС и представленной на рис.2,

указанные варианты структур характеризуются реализацией вычислений в двумерной пространственно-временной среде.

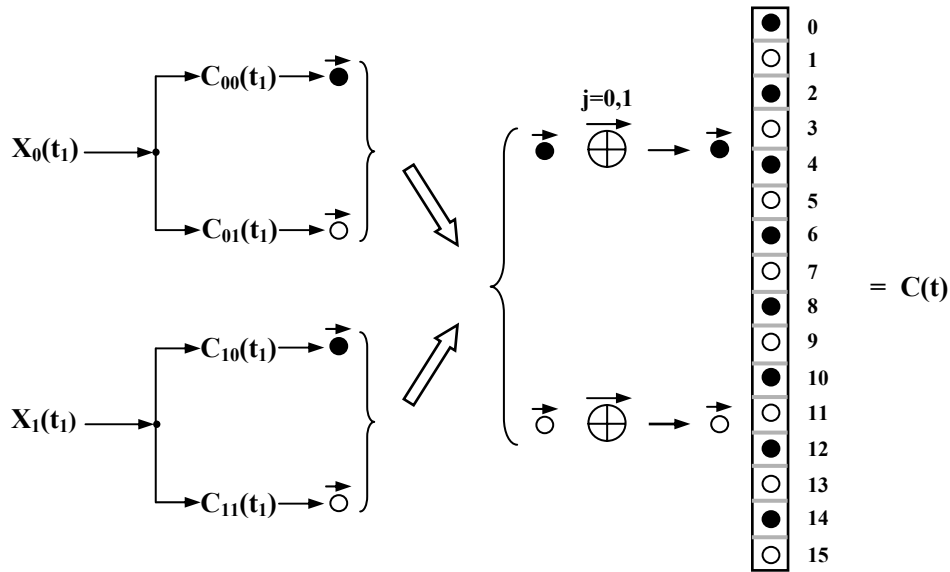


Рис. 4. Структура 1: $L=2$, $h_1=8$

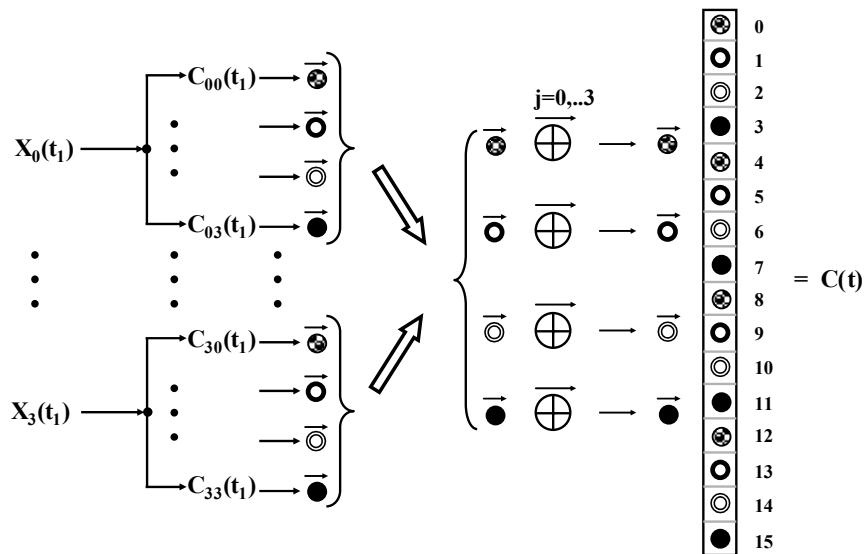


Рис. 5. Структура 2: $L=4$, $h_1=4$

2.3. Модель - основа организации вычислений

Множество алгоритмов с изменяемой структурой, сформированное в рамках разработанного единого подхода к их построению, позволило создать новую формальную основу – модель организации параллельных вычислений операций ЦОС. Так как при разработке процедур, обеспечивших переход к композиционным формам представления

операций ЦОС, были использованы принципы модульности и масштабирования вычислений, то структуры параллельных алгоритмов, полученные в результате применения этих процедур, содержат в качестве своих компонент исходные алгоритмы выполнения рассмотренных операций, сжатые во времени пропорционально расширению пространственной структуры конкретного параллельного алгоритма. Тогда привычный последовательный алгоритм становится лишь компонентой модели, позволяющей формировать, а в последующем и анализировать различные варианты организации параллельных вычислений. Таким образом, переход от последовательной обработки к параллельной привел к качественному изменению самого понимания базиса для организации вычислительного процесса. И если для последовательной обработки таким базисом был алгоритм, то для параллельных вычислений таким базисом стала модель. По сути своей каждый отдельный АИС – это модель организации вычислений соответствующей ему операции в пространственно-временной среде. Вышеописанный путь от алгоритма к модели для целого класса базовых операций ЦОС иллюстрируется схемой, представленной на рис.6.

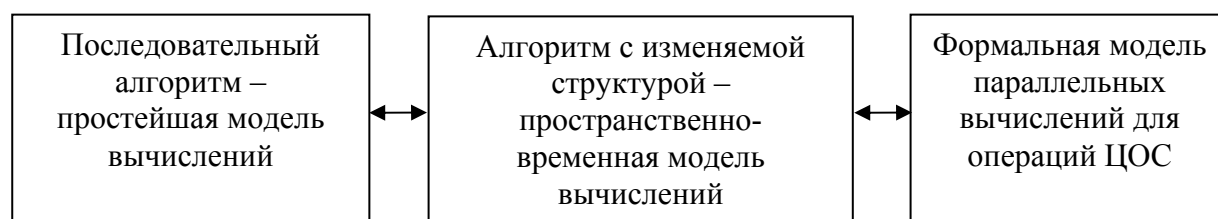


Рис. 6. Путь перехода от алгоритма к модели

Созданная модель определяется множеством параметров, характеризующих организацию вычислительного процесса в пространственно-временной среде, и множеством отношений, связывающих значения этих параметров. Управляя изменениями элементов этих множеств можно синтезировать различные варианты параллельных алгоритмических структур.

3. Возможности модели и способ выбора варианта алгоритма

Полученная формальная модель позволяет исследовать различные варианты организации параллельных вычислений путем синтеза и анализа порождаемых ею вычислительных структур, предоставляя возможность обоснованного выбора варианта реализации вычислений. Эта модель может быть дополнена параметрами, характеризующими заданные условия реализации вычислений, тогда задача обоснованного выбора сведется к поиску вариантов, формируемых в рамках модели и удовлетворяющих этим условиям. Таким образом, решение задачи обоснованного выбора на основе модели, дополненной этими параметрами, будет означать выполнение проектирования требуемых вариантов организации вычислений в пространственно-временной среде. Следовательно, на основе данной формальной модели может быть построена система проектирования вариантов реализации вычислений. Причем, такая система может быть использована как для решения задачи выбора варианта архитектуры для заданного класса алгоритмов, так и при решении более сложной задачи определения структуры алгоритмов, наилучшим образом соответствующей заданной архитектуре. Под алгоритмом здесь понимается конкретный вариант организации вычислений в пространственно-временной среде. Таким образом, полученный инструмент перевода вычислений из временной в пространственно-временную среду и обратно позволил сделать выбор варианта организации вычислений обоснованным.

Предлагаемый способ такого выбора заключается в изменении самой основы организации вычислений, осуществляя переход от алгоритма к модели и меняя тем самым указанную основу, мы построили искомый способ. Иллюстрация этого процесса, а также некоторых возможностей новой основы организации вычислительного процесса – формальной модели представлены на рис.7.

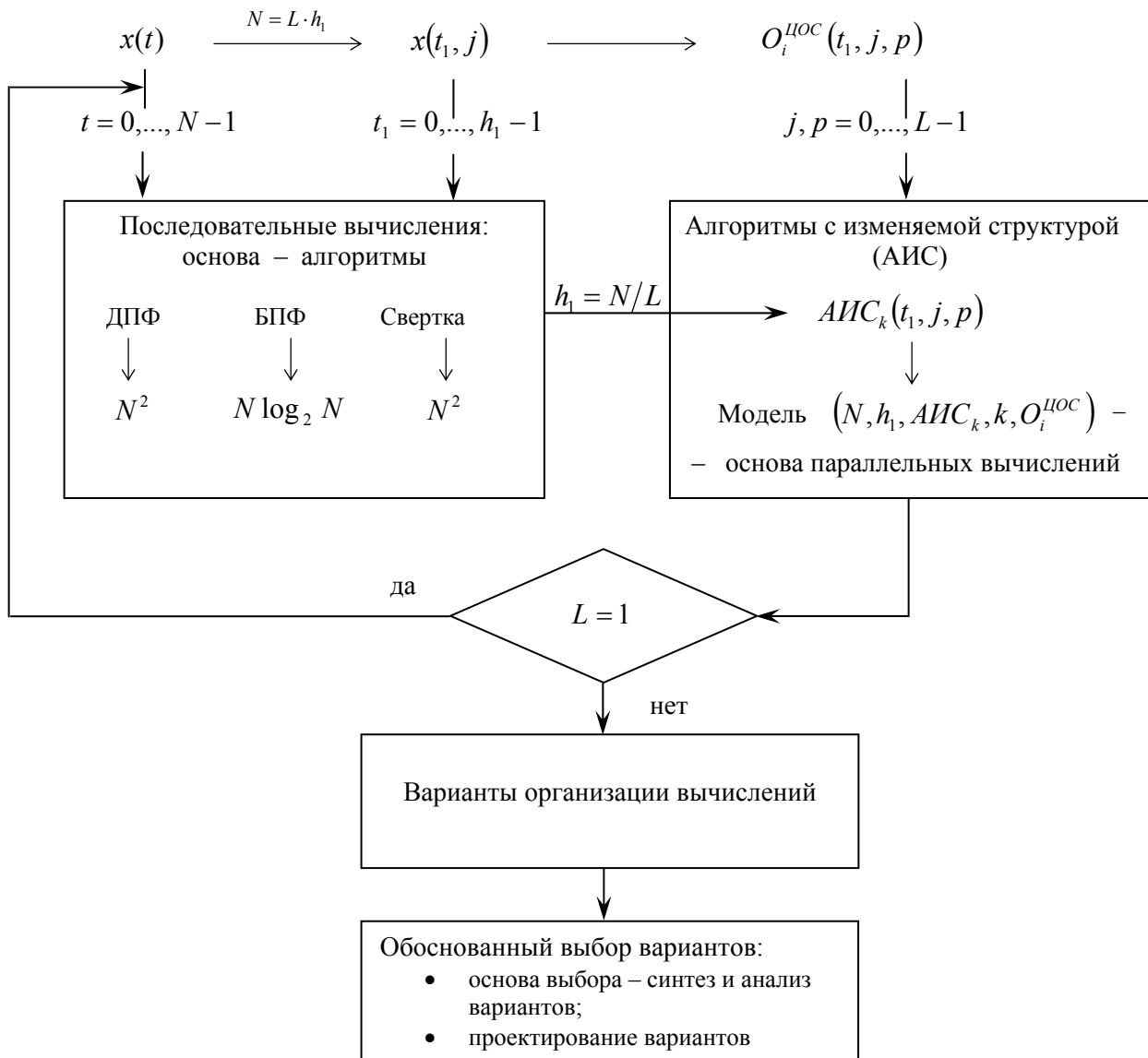


Рис. 7. Переход от алгоритма к формальной модели – способ обоснованного выбора вариантов организации вычислений для операций ЦОС

Следует также отметить, что созданная формальная модель позволяет наметить пути и сформировать правила для использования всех возможностей, предоставляемых параллельной обработкой и характеризующихся не только повышением быстродействия вычислений, но и повышением надежности и гибкости структурных решений вычислительных систем, а также понижением их сложности. Кроме того, созданный формальный инструмент для моделирования вариантов организации параллельных вычислений позволяет сократить саму сложность разработки таких вариантов и предоставляет новые возможности для анализа обрабатываемой информации.

4. Заключение

Предложенный способ выбора варианта организации параллельных вычислений для операций ЦОС заключается в создании формальной основы, позволяющей синтезировать и анализировать множество возможных вариантов реализации вычислений в пространственно-временной среде. В качестве такой основы была предложена формальная модель, предоставляющая потенциальную возможность для обоснованного выбора. Для реализации этой возможности в модель должны быть введены критерии выбора, например, ограничения на аппаратурно-временную сложность реализации вычислений. Тогда конкретную реализацию обоснованного выбора можно назвать проектированием варианта организации параллельных вычислений или структуры пространственно-временного алгоритма (алгоритма с изменяемой структурой). Таким образом, созданная формальная основа организации параллельных вычислений не зависит от возможной платформы, предлагаемой для реализации вычислений, но позволяет при этом выполнять направленное проектирование вариантов благодаря введению в созданную модель параметров, характеризующих выбранную для их реализации архитектурную платформу.

Список литературы

1. Воеводин В.В. Вычислительная математика и структура алгоритмов. М.: Изд-во МГУ, 2006.
2. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ – Петербург, 2002.
3. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. М.: Мир, 1991.
4. Климова О.В. Единый подход к построению быстрых алгоритмов и распараллеливанию вычислений дискретного преобразования Фурье // Изв. РАН. Теория и системы управления. - 1999. - №3. – С. 68-75.
5. Климова О.В. Параллельная архитектура процессора свертки произвольной длины с использованием числовых преобразований Рейдера // Изв. РАН. Техн. кибернетика. - 1994. - №2. – С. 183-191.
6. Klimova O. Decomposition on a Group and Parallel Convolution and Fast Fourier Transform Algorithms. Parallel Computing Technologies 4th International Conference, PaCT-97. Proceedings, p.358-363 Springer-Verlag, Berlin, LNCS1277.
7. Klimova O.V. Pseudo-two-Dimensional Decomposition Methods and Parallel Algorithms of Convolution // International Workshop on Spectral Methods and Multirate Signal Processing. - Tampere, Finland: TICSP Series, June 2001.
8. Климова О.В. Быстрые параллельные алгоритмы и рекурсивная псевдодвумерная декомпозиция свертки // Вестник Томского государственного университета. № 1(II). Томск: Изд. ТГУ, 2002. С.227-232.
9. Климова О.В. Формализованный синтез параллельных алгоритмов цифровой обработки сигналов и параметризованное описание их структур // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2007). Труды международной научной конференции. Том №2. Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2007. С. 77-86.
10. Климова О.В. Способы управления изменениями структуры параллельных алгоритмов цифровой обработки сигналов // Параллельные вычисления и задачи управления РАСО'2008: труды IV международной конференции, г. Москва, 27–29 октября 2008 г. – Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. С. 1033–1041.

