

ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОТКРЫТОЙ МАТРИЧНОЙ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СТРУКТУРЫ

TOPOLOGICAL TRANSFORMATION OF AN OPEN MATRIX MULTIPROCESSOR STRUCTURE

**A. Arhangelsky
R. Yukhimuk**

Summary. The article considers the flat matrix structure of a multiprocessor system, which is transformed into a partially closed three-dimensional structure based on a prism. A brief analysis of the main topological structures used to increase the performance of computer systems is carried out. The order of transformation of the matrix structure is described.

Keywords: multiprocessor systems, structure of computing systems, increasing productivity.

Архангельский Алексей Алексеевич

к.т.н., старший научный сотрудник,

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

arhangelsky@yandex.ru

Юхимук Роман Алексеевич

научный сотрудник,

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

mkpostra@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается плоская матричная структура многопроцессорной системы, которая преобразуется в частично замкнутую объемную структуру на основе призмы. Проведен краткий анализ основных топологических структур, используемых для увеличения производительности компьютерных систем. Описан порядок преобразования матричной структуры.

Ключевые слова: многопроцессорные системы, структура вычислительных систем, увеличение производительности.

Введение

Создание многопроцессорных устройств большой производительности идет по нескольким направлениям. Одним из таких направлений является поиск и определение структур для объединения процессоров или компьютеров. Данная работа посвящена рассмотрению матричной структуры с целью ее совершенствования по критерию количества промежуточных узлов между процессорами.

Актуальность темы определяется необходимостью модернизации многопроцессорных систем для увеличения быстродействия.

В работе содержится решение задачи создания из матричной разомкнутой структуры другой, соответствующей критерию количества промежуточных узлов между процессорами.

Целью статьи является описание процесса формирования частично замкнутых структур на основе исходных матричных структур соединения процессоров.

В публикациях, посвященных многопроцессорным системам (МПС), основное внимание уделяется решению прикладных задач [1], параллельным процессам вычислений при заданной структуре вычислительных систем [2, 3], а рассмотрение топологических структур относится алгоритмам вычислений и коммуникационной среде вычислительных комплексов [4–6].

Основные структуры, используемые в многопроцессорных системах

В технической литературе описано множество структур соединения процессоров [7–10], к которым относятся следующие виды:

- шинная;
- кольцевая;
- матричная (плоская);
- тороидальная;
- матричная (объемная);
- многомерные кубические структуры.

На рисунках 1 и 2 показаны линейная и матричная структуры включения процессоров.



Рис. 1. Линейная структура включения процессоров

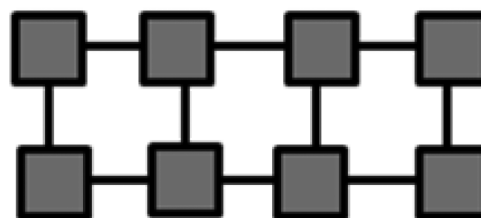


Рис. 2. Матричная структура включения процессоров

Аналогично строится кубическая структура (размерность 3) и гипер-кубическая (размерность 4), процессоры располагаются в вершинах кубов.

Классификация, которая позволяет упорядочить множество структур, предложена в публикации [8]. В ней предлагается ввести размерности структур, при этом последовательное соединение соответствует размерности $n = 1$, матричное соединение размерности $n = 2$, кубическое $n = 3$, гипер-кубическое $n = 4$ и так далее.

Преобразование матричной структуры соединения процессоров

Быстродействие многопроцессорных систем (МПС) во многом определяется максимальным расстоянием в условном пространстве размещения процессоров, под которым понимается количество промежуточных узлов между самыми удаленными процессорами. Опытным путем установлено, что количество последовательно включенных промежуточных процессоров не должно быть больше четырех. При большем количестве переприемов существенно снижается производительность системы в вычислительном плане, поскольку увеличивается доля времени на передачу информации.

Матричная структура часто используется в многопроцессорных системах. Это связано с различными причинами, к которым относятся следующие факторы:

- технология производства с использованием многослойных плат прямоугольной формы, на которых размещаются электронные компоненты;
- использование принципа модульности при формировании многопроцессорных систем (расширение системы на плоскости);
- использование матричной формы данных при вычислениях и обработке цифровых изображений;
- применение прямоугольных коммутационных полей для соединения процессоров.

В результате топологических преобразований плоской матричной структуры, получается система, в которой процессоры являются обычными элементами вычислительной системы такими, как модули памяти и каналы передачи данных. По типу процессоров и алгоритмов обработки эта МПС является однородной. По виду размещения оборудования она занимает промежуточное место между сосредоточенной и распределенной системами. Структура данного вида представляет собой вычислительный узел, который объединяется с такими же узлами в единый кластер. При использовании в качестве каналов волоконно-оптических линий такая МПС приближается по свойствам к распределенным сетям передачи данных.

Преобразование матричной структуры в квази-цилиндрическую производится соединением крайних входов-выходов одноуровневых процессоров левой и правой вертикалей (рис. 3).

Элемент матрицы — процессор, имеющий четыре двунаправленных входа-выхода. Плоская матрица из процессоров размером 6 по горизонтали, 3 по вертикали сворачивается в призму соединением выходов одноуровневых процессоров левой и правой вертикалей. Расположение процессоров до операции сворачивания показано на рисунке 3.

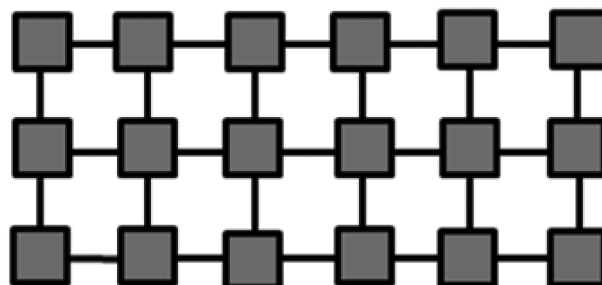


Рис. 3. Расположение процессоров для плоской матрицы

Расположение процессоров после операции сворачивания показано на рисунке 4. Структура представляет собой правильную шестиугольную призму, в каждой вершине которой включен процессор. Кроме этого процессоры включены посередине боковых ребер и соединены между собой параллельно ребрам оснований призмы.

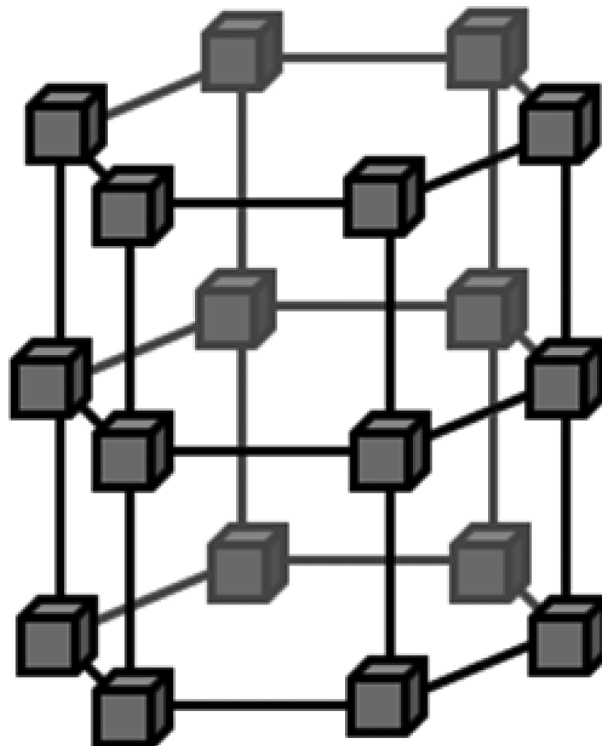


Рис. 4. Расположение процессоров после сворачивания плоской матрицы в шестиугольную прямую призму

В матричной плоской структуре 3×6 максимальное количество промежуточных процессоров, занятых передачей информации при вычислениях $n_1 = 6$. В структуре правильной шестиугольной прямоугольной призмы

максимальное количество промежуточных процессоров, занятых передачей информации при вычислениях $n_1 = 4$.

В этой статье производительность рассматривается со стороны занятости процессора вычислениями или передачей данных. По отношению к вычислениям процесс передачи данных является вспомогательным. Выполненные топологические преобразования позволяют уменьшить количество промежуточных процессоров при передаче данных, следовательно, увеличить количество процессоров для вычислений. При этом общая производительность МПС по этому критерию повышается.

Матричная плоская и свернутая структуры сравниваются между собой по среднему количеству заявок, находящихся в системе при обработке. Для имитационного моделирования процесса обработки используется оболочка *LiteSmo*. В программе имеется возможность установить параметры случайного процесса поступления заявок на обработку для различных видов распределений вероятностей [10].

При моделировании в оболочке *LiteSmo* сделаны следующие установки:

- используется три типа заявок, которые появляются с разными вероятностями;
- интервалы между заявками на обработку имеют нормальное распределение;
- время ожидания обработки в буферном накопителе не ограничено;
- порядок обслуживания «первым пришел — первым обслужен»;
- процесс обслуживания имеет равномерное распределение.

На рисунке 5 показано окно оболочки *LiteSmo*, на котором изображен график плотности распределения вероятности количества заявок в системе массового обслуживания (СМО), для МПС в виде свернутой матрицы.

Возможности одновременной обработки данных для различных структур МПС следующие:

- плоская матричная структура включения позволяет организовать три канала ввода-вывода данных (горизонтальные шины);

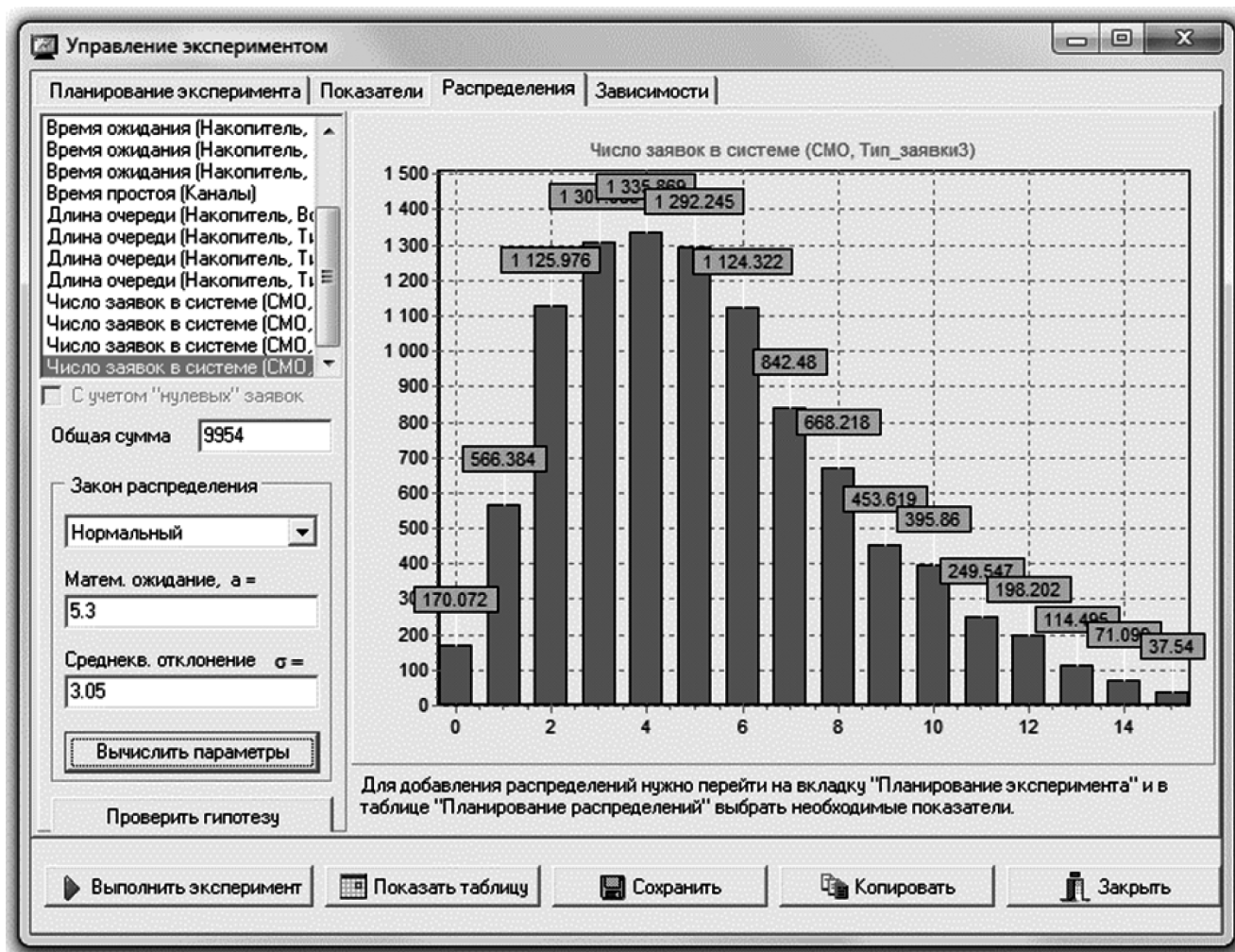


Рис. 5. График плотности распределения вероятностей количества заявок в СМО для МПС в виде призмы

— структура МПС после сворачивания позволяет подключить шесть каналов ввода-вывода данных (вертикальные шины).

После получения средних значений количества за-явок в системе для матричной и свернутой структур определяется их отношение, которое имеет вид $11,9 : 5,3$. Это означает, что при обработке на МПС, имеющей свернутую структуру, среднее значение очереди в буферном накопителе уменьшается в 2,45 раза, что дает ощутимый прирост скорости обработки информации.

Заключение

В статье рассмотрена МПС, полученная объединением входов-выходов матричной системы размером 3×6 , состоящей из элементов (процессоров), имеющих 4 входа-выхода. Эта структура удовлетворяет критерию вклю-

чения не более 4 промежуточных процессоров между наиболее удаленными процессорами. Система является частично замкнутой, что позволяет осуществлять дальнейшие объединения таких структур.

Повышение производительности МПС при прежнем количестве процессоров достигается за счет того, что осуществляется сворачивание матричной структуры, однонаправленные шины заменяются двунаправленными, количество устройств ввода информации увеличивается с 3 до 6. Кроме этого уменьшается с 6 до 4 максимальное количество промежуточных процессоров при внутренней передаче данных. При таком подходе также увеличивается надежность за счет появления дополнительных связей между кольцевыми частями МПС. В совокупности эти факторы делают привлекательным использование многопроцессорных систем на основе объемной структуры призмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бужмакова М.М., Пучинина П.Д., Русаков С.В. Применение технологии параллельных вычислений для решения перколяционной задачи k-меров в континууме // Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии. Труды XXIII Международной конференции (Н. Новгород, 13 — 16 ноября 2023 г.) — Нижний Новгород: Изд. Нижегородского государственного университета, 2023. — С. 37–40.
2. Пинежанин Е.С., Баркалов К.А. Об исследовании параллельных алгоритмов условной глобальной оптимизации на новом классе модельных задач // Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции. 23–24 сентября 2024 г., Москва / Под ред. В.В. Воеводина. — Москва: МАКС Пресс, 2024. — С. 223–225
3. Баркалов К.А., Кудрявцев А.С. Параллельный алгоритм глобальной оптимизации с монотонным преобразованием целевой функции // Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции. 25–26 сентября 2023 г., Москва / Под ред. В.В. Воеводина. — Москва: МАКС Пресс, 2023. — С. 211–214.
4. Андреева Д.Д. Влияние выбора топологической сортировки на качество выполнения процесса, заданного ориентированным ациклическим графом // Труды 64-й Всероссийской научной конференции МФТИ. 29 ноября — 03 декабря 2021 г. Радиотехника и компьютерные технологии / сост.: К.С. Слободчук, С.О. Русскин / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет). — Москва — Долгопрудный — Жуковский: МФТИ, 2021. — С. 125–126.
5. Семенистый С.А. Планирование задач в распределенных вычислительных системах при обработке потоков видеоданных // Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы (МВУС–2022): Материалы Всероссийской научно-технической конференции (Таганрог, 27–30 июня 2022 г.); Южный федеральный университет. — Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2022. — С. 194–197.
6. Востокин С.В. Обзор проекта автоматизации параллельных и распределенных вычислений *templet* // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2022) [Электронный ресурс]: труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. — Электрон. текстовые и граф. дан. (12,5 Мбайт). — Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2022. — С. 235–238.
7. Горнец Н.Н. Организация ЭВМ и систем: учеб. пособие / Н.Н. Горнец, А.Г. Рощин, В.В. Соломенцев — М.: «Академия», 2006. — 320 с.
8. Шпаковский Г.И. Организация параллельных ЭВМ и суперскалярных процессоров: Учеб. пособие. — Минск: Белгосуниверситет, 1996. — 296 с.
9. Богданов А.В. Архитектуры и топологии многопроцессорных вычислительных систем / А.В. Богданов, В.В. Корхов, В.В. Мареев, Е.Н. Станкова — М.: НОУ «ИНТУИТ», 2016 — 136 с.
10. Архангельский А.А., Шемякин В.Н. Сравнение свойств многопроцессорных систем с различными топологическими структурами // Информация и космос № 4/2022 С. 101–105.

© Архангельский Алексей Алексеевич (arhangelsky@yandex.ru); Юхимук Роман Алексеевич (mkpostra@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»