

В. П. Торчигин

(Москва)

ОРГАНИЗАЦИЯ ЧИСТО ОПТИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕД В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Рассматриваются различные типы чисто оптических коммуникационных сетей для организации связи между различными процессорными элементами в многопроцессорном вычислительном комплексе. Показано, что на основе широкополосных логических вентилях с относительно большими задержками может быть реализован оптический связной процессор, который выполняет функции коммуникационной сети, состоящей из n связных процессоров, где n — отношение времени задержки элемента к периоду поступления оптических логических сигналов.

Введение. В настоящее время известно достаточно много типов различных коммуникационных сетей (КС), по которым составлены подробные обзоры и произведена их классификация [1]. Общеизвестно, что КС составляет большую часть стоимости многопроцессорного вычислительного комплекса (МВК) и в решающей степени определяет такие его показатели, как объем, масса, потребляемая мощность, общая длина линий связи [2]. Отличие одного МВК от другого характеризуется главным образом спецификой используемой КС. Объясняется это тем, что большая доля времени работы МВК относится к подготовке данных для параллельных вычислений и эта работа выполняется при помощи КС.

Структурными блоками, из которых собирается КС, являются автономные переключающие элементы, называемые связными процессорами (СП). СП связываются друг с другом линиями связи некоторым регулярным образом, который определяет топологию КС.

Кроме традиционных приемов реализации КС с помощью связных процессоров, как это делается в большинстве известных МВК, и в частности в Connection Machine (СМ), и рассмотренного в [3] способа реализации с помощью запоминающего устройства с произвольной выборкой (ЗУПВ), весьма перспективна реализация КС оптическими средствами. Известно, что оптические линии связи имеют, по крайней мере, на три порядка большую пропускную способность, чем проводниковые в виде полосковых линий на печатных платах или коаксиальных кабелей. В них практически полностью отсутствуют перекрестные помехи. Гораздо меньшие габариты, стоимость, отсутствие необходимости в омических контактах и устранение связанных с ними проблем окисления разъемов, механического их износа и т. п. также являются несомненными достоинствами оптических линий связи.

Ниже рассматривается реализация КС на основе перспективных сверхбыстродействующих чисто оптических логических элементов, использующих относительно длительное взаимодействие коротких оптических импульсов в процессе их распространения вдоль нелинейно связанных световодов. На основе этих элементов может быть реализован полный набор логических функций. Отличительная схемотехническая особенность таких элементов состоит в том, что период следования τ обрабатываемых логических импульсов в 10^2 — 10^4 раз меньше задержки T в получении результирующих выходных сигналов ($\sim \tau = 10$ пс, $T = 1$ — 100 нс).

Сначала рассматриваются принципы реализации и свойства различных логических схем на таких элементах, а затем способы реализации различных типов КС и их преимущества перед традиционными.

Особенности организации логических схем на основе широкополосных вентилях с относительно большими задержками. Рассмотрим некоторое устройство, состоящее из совокупности взаимосвязанных оптических элемен-

тов, имеющих одинаковые задержки T . Пусть на эти элементы поступают логические сигналы каждые τ с ($T = N\tau$, где N целое). Для определенности будем полагать, что длительность этих сигналов равна $\tau/2$.

Если на вход такого устройства при $t = 0$ поступают некоторые входные сигналы, то в моменты времени $T, 2T, 3T \dots$ преобразованные логическими элементами сигналы длительностью $\tau/2$ будут появляться на выходах логических элементов и поступать на входы других связанных с ними логических элементов (ради простоты предполагается, что элементы соединены таким образом, что задержка в распространении сигнала от выхода одного элемента к входу другого равна 0).

Через некоторое количество шагов логических преобразований P результат появится на выходных шинах устройства в момент времени PT .

Заметим, что если в момент времени $t = \tau$ на логические входы устройства подать новый набор входных логических сигналов, то они будут преобразованы по точно тому же алгоритму и результат появится на выходных шинах с задержкой τ , т. е. в момент времени $PT + \tau$.

Аналогичным образом результаты логических преобразований над наборами входных сигналов, поданных в моменты времени $2\tau, 3\tau, \dots$, появятся на выходах устройства в моменты времени $PT + 2\tau, PT + 3\tau, \dots$

Таким образом, собирая из рассматриваемых элементов некоторое устройство, мы автоматически получаем не одно, а N никак не связанных между собой устройств, совмещенных в одном и том же месте пространства и использующих одни и те же материальные объекты для выполнения логических преобразований над поступающими сигналами. Можно представить, что каждый элемент выделяет для i -го устройства не какую-то свою часть в пространстве, а предоставляет себя полностью, но не на все время своего существования, а только на интервалы времени $i\tau, (i+1)\tau, T + i\tau, T + (i+1)\tau, \dots$, которые в сумме составляют $1/N$ долю от того времени, которое он имеет.

Другими словами, рассматриваемый физический объект, реализующий работу N устройств, распределяет между этими устройствами не отведенное ему пространство, а отведенное ему время. Возможность получать в одном месте пространства не одно, а N устройств оказывается весьма привлекательной, поскольку при этом степень интеграции автоматически повышается в N раз.

Если на базе рассматриваемых элементов реализован некоторый процессорный элемент (ПЭ), то автоматически получается N виртуальных ПЭ, каждому из которых приписан свой временной интервал. Таким образом, на таких элементах может быть построен оптический многопроцессорный компьютер по принципу MIMD — много потоков команд, много потоков данных.

Методы организации оптических коммутационных сетей. Чтобы создать компьютер на основе таких виртуальных ПЭ, необходимо организовать соответствующую связь между ПЭ. Для этой цели следует передавать сигналы из одного виртуального ПЭ в другой. Такая передача может быть организована при помощи некоторой линии связи с задержкой, не кратной T .

Для того чтобы передать информацию из одного ПЭ (с номером q) в другой (с номером p) в таком оптическом МВК, достаточно передать через СП данные через задержку, отличную от T и равную $iT + (p - q)\tau$ (i целое).

Следует отметить, что передача данных через эту задержку может осуществляться во всех временных интервалах, т. е. для всех номеров виртуальных ПЭ. Таким образом, рассмотренная схема передачи сигналов также разделяет свое время на N временных интервалов. Это обстоятельство ведет к появлению N виртуальных СП на основе одного физического.

Итак, методы построения логических схем на рассматриваемых элементах для реализации различных устройств вычислительной техники не отличаются от обычных, используемых для электронных элементов. Однако результат от применения этих методов получается совершенно другим.

При реализации на основе рассматриваемой схмотехники некоторой комбинационной схемы автоматически получается N одинаковых комбинационных схем. При реализации СП автоматически получается N СП с соот-

ветствующей КС, обеспечивающей передачу информации между ними. При этом количество линий передач в такой КС в N раз меньше, чем в аналогичной электронной. Это обстоятельство может сыграть решающую роль для перспективы применения рассматриваемого подхода.

Организация коммуникационных сетей в виде n -мерных массивов. Наиболее просто организовать коммуникационную среду для двухмерной решетки из $m \times n = N$ ПЭ. Эта КС соединяет любой ПЭ со своим соседом на севере, востоке, западе, юге. Реализация такой КС показана на рис. 1 при допущении, что нумерация ПЭ в матрице $m \times n$ выполняется слева направо сначала в нижней первой строке (на юге), затем в следующей строке и т. д. Номер ПЭ соответствует номеру временного интервала, в котором работает виртуальный ПЭ.

Рассмотрим передачу данных из регистра $R1$ (см. рис. 1) в тот же самый регистр. Пусть некоторый управляющий сигнал поступает в течение времени T . Проходя через одну из задержек, соответствующих одному из четырех управляющих сигналов, данные принимаются тем же самым регистром, но в другом временном интервале. Данные от ПЭ на западе, востоке, юге, севере передаются через задержки $T + \tau$, $T - \tau$, $T + m\tau$, $T - m\tau$ соответственно и поступают во временной интервал того ПЭ, для которого они предназначаются.

Передача данных между $m \times n \times p = N$ ПЭ, объединенных в трехмерную решетку, может быть реализована аналогичным образом. Для этого достаточно добавить в схему на рис. 1 линии задержки размером $T + m\tau$, $T - m\tau$ и соответствующие им управляющие сигналы «Вверх», «Вниз».

Следует отметить, что общее количество задержек в СП равно количеству линий связи, выходящих из каждого СП в обычной КС.

Добавление еще двух задержек размером $T + q\tau$ ($q^2 = mnp$) к рассматриваемой схеме приводит к образованию 2-мерной и 3-мерной решеток одновременно. Реализация такой КС традиционными средствами связана с разработкой сложной КС с большим количеством проводниковых линий связи и сложной топологией межсоединений для СП.

Организация коммуникационных сетей в виде n -мерного гиперкуба. Преимущества рассматриваемого подхода к реализации КС более ярко проявляются при организации КС типа n -мерного гиперкуба, состоящего из $N = 2^n$ ПЭ. Основное отличие этой КС от рассмотренных выше заключается в использовании промежуточных временных интервалов в процессе передачи данных. При этом различные данные могут быть переданы в один и тот же временной интервал одновременно и требуются специальные меры, чтобы это предотвратить. Следовательно, при передаче данных в регистр некоторого виртуального СП необходимо иметь уверенность, что данные будут записываться в незанятый регистр.

Существенным отличием является также то обстоятельство, что номер временного интервала, в который должны быть переданы данные, определяет-

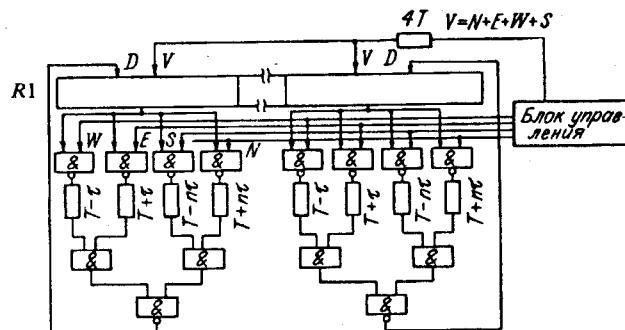


Рис. 1

ся номером ПЭ-приемника, который хранится в локальной памяти ПЭ-передатчика и передается вместе с данными.

С учетом этих замечаний простейшая схема КС типа гиперкуб показана на рис. 2. Каждый из регистров R_0, \dots, R_{10} имеет следующие поля: DATA содержит данные, которые должны быть переданы в другой ПЭ; TOPE — номер ПЭ, в который передаются данные; BUSYBIT — признак того, что в соответствующем регистре в соответствующем временном интервале имеются данные. Кроме того, имеется глобальный регистр CURRENTPE, в котором в каждом временном интервале записан номер этого интервала.

Передача из R_0 в R_1 происходит через одну из следующих задержек: $T, T - \tau, T + \tau$. Аналогичным образом передача из регистра R_i в R_{i+1} осуществляется через одну из следующих задержек: $T, T - 2^i\tau, T + 2^i\tau$. В регистре R_{10} передаваемые данные оказываются в нужном интервале.

Передача данных в очередной регистр производится только в том случае, если он свободен. Решение о передаче данных и выбор задержки осуществляются управляющим блоком на основе текущего анализа BUSYBIT в регистрах, между которыми происходит передача, и соответствующих разрядов в полях CURRENTPE и TOPE. Блок управления собран на таких же вентилях и также разделяет время своей работы на N временных интервалов.

Например, при передаче информации из R_0 в R_1 в них анализируются в указанных полях младшие разряды. Если они совпадают, то передача производится через задержку T ; если они равны соответственно 0 и 1, то через задержку $T + \tau$; если они равны 1 и 0, то через задержку $T - \tau$. Передача осуществляется только в том случае, если BUSYBIT в R_1 равен 0, а в R_0 — 1. После передачи информации BUSYBIT в R_0 «обнуляется». При передаче данных из R_1 в R_2 анализируется 1-й разряд и т. д.

Индикатором окончания процесса передачи данных может служить наличие BUSYBIT во всех 1024 временных интервалах регистра R_{10} . Этот факт может быть обнаружен при помощи схемы, показанной на рис. 3, путем опроса содержимого 1023-го временного интервала. Действительно, присутствие хотя бы одного нуля в каком-то временном интервале ведет к появлению двух смежных нулей на выходе первой схемы И, которые, в свою очередь, ведут к появлению четырех смежных нулей на выходе второй схемы

и т. д. Наконец, 1024 смежных нуля появятся на выходе 10-й схемы И. С другой стороны, 1024 смежных единицы вызывают появление единицы на выходе 10-й схемы в 1023-м временном интервале.

Передача данных может выполняться в конвейерном режиме. Следующая порция данных может быть загружена в регистр R_0 , если поле BUSYBIT равно 0 во всех 1024-х временных интервалах. Этот факт также может быть определен при помощи схемы, показанной на рис. 3, если на ее вход подавать инвертированный сигнал BUSYBIT.

Рассмотренная КС может быть модифицирована следующим образом. При передаче из одного регистра в другой вместо рассмотренных задер-

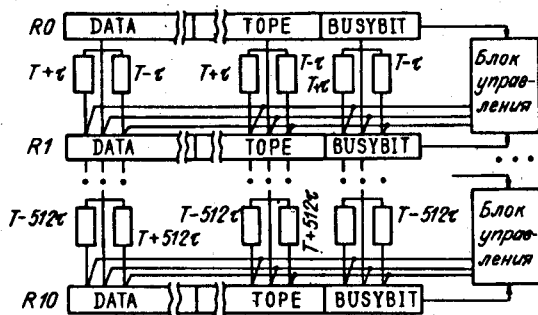


Рис. 2

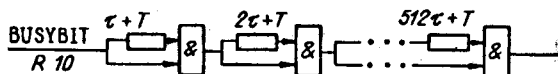


Рис. 3

жек вставляется полный комплект из $2n + 1$ задержек величиной $T, T + 2^i\tau, T - 2^i\tau$ ($i = 0, 1, \dots, n - 1$), а блок управления в реальном времени должен определять, по какой из задержек можно и нужно передавать данные в соответствующий временной интервал. В этом случае по алгоритму работы СП она близка к КС, используемой в Connection Machine.

Таким образом, 2^n связанных процессора с $n2^n$ линиями связи между ними заменяются одним оптическим связным процессором, на основе которого реализуется 2^n виртуальных связных процессора, а передача данных по той или иной линии связи из одного СП в другой заменяется передачей данных из одного виртуального процессора в другой через ту или иную линию задержки. При этом количество линий связи сокращается в $2^n/(2n + 1)$ раз.

Последнее обстоятельство является даже более существенным, чем сокращение количества требуемых логических элементов в N раз. Сочетание миниатюрных и широкополосных оптических линий связи, пикосекундных оптических логических элементов с отмеченными обстоятельствами дает основание предполагать, что оптические КС могут иметь самостоятельное значение и использоваться для широкополосной связи между многими полупроводниковыми микропроцессорами. Для этого достаточно сигналы от микропроцессоров объединить в один или несколько скоростных каналов при помощи мультиплексора, пропустить через оптическую КС, а затем снова разъединить на несколько каналов при помощи демультиплексора.

Обобщенная оптическая коммуникационная сеть. Рассмотренный метод реализации КС позволяет сформулировать подход, из которого как частные случаи следуют все типы известных регулярных КС, а также много других. При этом появляется возможность выбрать необходимый компромисс между количеством аппаратуры и скоростью работы. Пусть имеется СП, который может передавать информацию во временные интервалы, номера которых отличаются от его собственного номера на величины $D_i\tau$, где $i = 1, \dots, p, |D_i| < N, p < N, N$ — количество виртуальных ПЭ.

Тогда случай при $p = 1, D_i = 1$ соответствует КС типа замкнутой однонаправленной одномерной цепочки. Информация из СП может передаваться только его соседу справа с большим номером.

При $p = 2, D_i = 1, -1$ получается КС типа замкнутой двунаправленной одномерной цепочки. Информация из каждого СП может быть передана его соседям с меньшим и большим на единицу номером.

При $p = 4, D_i = 1, -1, q, -q$ получается КС типа замкнутой двунаправленной двумерной решетки. Ускоренная передача информации между СП с номерами k и l достигается тем, что имеются каналы, по которым разность $k - l$ уменьшается за одну передачу не на 1, а на q .

При $p = 2n + 1, D_i = \pm 2^i$ ($i = 0, 1, \dots, n - 1$) получается рассмотренная выше КС типа n -мерного гиперкуба — аналог КС в ФМ.

Рассматриваемый подход позволяет получить самые различные модификации, в которых сокращено количество транзитных передач за счет увеличения количества оборудования либо наоборот.

Например, при $p = 4n + 1, D_n = 0, D_i = \pm 1 \times 3^i, \pm 2 \times 3^i$ ($i = 0, 1, \dots, n - 1$) получается КС типа n -мерного гиперкуба, в каждом измерении которого находится не 2, а 3 СП. Общее количество ПЭ равно 3^n . Например, при $n = 7$ имеем $N = 3^7 = 2187$ ПЭ. Максимальное количество транзитных передач равно 7, количество альтернатив при передаче из любого СП равно $7 \times 4 + 1 = 29$. Для обычного гиперкуба с приблизительно таким же количеством СП $n = 11$, максимальное количество транзитных передач равно 11, количество различных альтернатив в каждом СП равно 21. Таким образом, увеличение в каждом узле количества линий задержек с 21 до 29 ведет к уменьшению максимального количества транзитных передач с 11 до 7. Кроме того, общее количество задержек уменьшается с 231 до 203.

Используя рассматриваемый подход, можно приспособить КС к специфике конкретного применения. Например, если в рассматриваемый n -мерный

гиперкуб добавить линию задержки величиной $D = T + 3\tau$, то максимальное количество транзитных передач уменьшится на 1, поскольку при этом последовательность двух передач через задержки $D = T + \tau$, $D = T + 2\tau$ заменяется одной передачей через введенную задержку $D = T + 3\tau$. При помощи этого приема, добавляя или исключая задержки, можно получить необходимый компромисс между временем передачи и количеством используемой аппаратуры. Алгоритм работы связанных процессоров при этом изменяется весьма незначительно.

Отображая алгоритмы передачи информации и топологию связей на традиционные КС, получаем множество типов традиционных КС, из которых на основе компромисса между временем передачи информации и количеством используемого оборудования можно выбрать наиболее приемлемую для конкретного применения КС.

Заклучение. Рассмотрен метод реализации различных коммуникационных сред при помощи сверхбыстродействующих оптических элементов, результирующий сигнал в которых получается через время, в 10^2 — 10^5 раз превосходящее период следования обрабатываемых оптических импульсов. Показано, что количество линий связи для реализации такой КС в N раз меньше, чем при использовании традиционных методов (N — количество объединяемых процессорных элементов). Применение широкополосных миниатюрных линий связи, свободных от различных наводок и помех, позволяет реализовать оптическими средствами наиболее громоздкую, трудоемкую и дорогостоящую компоненту МВК — коммуникационную сеть. Другая компонента МВК — набор процессорных элементов — также может быть реализована оптическими средствами в виде одного оптического процессорного элемента, который выполняет функции N традиционных процессорных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Perra P. B. et al. // Proc. of the IEEE.—1989.—77, N 12.—P. 17.
2. Hillis D. The Connection Machine.—Cambridge, Mass.: MIT Press, 1985.
3. Торчигин В. П. Организация многопроцессорных вычислительных комплексов с переменным количеством процессорных элементов // Автометрия.—1992.—№ 1.

Поступила в редакцию 22 апреля 1991 г.

УДК 681.325 : 535. 8

О. К. Колесницкий, В. Г. Красиленко

(Винница)

АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КАРТИННОГО ТИПА ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЦЕССОРОВ

(Обзор)

Систематизированы сведения о различных подходах к построению аналого-цифровых преобразователей изображений картинного типа (АЦП КТ) с оптическими картинными (параллельными) входом и выходами, предназначенных для преобразования входного полутонового изображения в набор бинарных разрядных срезов. Обсуждается возможная элементная база для их построения и принципы классификации. На основе анализа различных структур и их реализаций приводятся количественные оценки параметров АЦП КТ и формулируются задачи для дальнейших исследований.

Введение. В последнее время в области обработки изображений наблюдается переход от использования точных и функционально гибких, но не обеспечивающих требуемой производительности универсальных ЭЦВМ, с одной