

одинаковых значений, — в А3); операцию «глобальное ИЛИ» (в А1 указывается адрес начала потока значений, объединяемых по ИЛИ, в А2 кодируются другие возможные алгоритмы объединения, результат объединения остается в ЦП в виде признака); операцию, устанавливающую в ЦП и ОП регистры, определяющие размеры обрабатываемых порций данных; операцию, устанавливающую в ЦП разрядность обрабатываемых слов.

Коммуникационные средства, реализованные в СМ при помощи коммуникационной сети типа гиперкуб, в рассматриваемой векторной ЭВМ могут быть реализованы при помощи операции рассылки значений по указателям. В этой операции в А1 указывается адрес начального потока значений, в А2 — адрес начала потока указателей, в А3 — адрес записи результирующего потока значений, полученного путем перетасовки первого потока по А1 в соответствии с пачкой указателей по А2. Указатель представляет собой целое, определяющее номер виртуального ПЭ, на который он указывает.

**Заключение.** Рассмотрена архитектура многопроцессорных вычислительных комплексов, которая позволяет полностью использовать потенциальную пропускную способность кристаллов оперативной памяти и скоростные возможности применяемых логических элементов при решении широкого класса задач, требующих больших объемов вычислений. При этом имеется возможность программно устанавливать количество необходимых виртуальных процессорных элементов, приспособливая таким образом архитектуру МВК к специфике конкретного применения.

Автор выражает благодарность И. К. Хайлову за ценные замечания и советы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Turker L. W., Robertson G. G. Architecture and application of the connection machine // Computer.—1988.—N 8.—P. 26.
2. Fahlman S. E. Connectionis architecture for artificial intelligence // Computer.—1987.—N 1.—P. 100.
3. Stanfil C., Kacle B. Parallel free text search of connection machine system // Commun. ACM.—1986.—N 12.
4. Thinking Machine corporation. Introduction to data level parallelism // Ibid.—N 4.
5. Hillis D., Steele S. Data parallel algorithms // Ibid.—N 12.
6. Stanfill C., Walts D. Toward memory-based reasoning // Ibid.
7. Walts D. Application of the connection machine // Computer.—1987.—N 1.—P. 85.
8. Торчигин В. П. Использование оптических средств для передачи и обработки информации в многопроцессорных вычислительных комплексах // Автометрия.—1992.—№ 1.
9. Филиппов А. Г., Белкин О. С. Проектирование логических узлов ЭВМ.—М.: Сов. радио, 1974.

*Поступила в редакцию 22 апреля 1991 г.*

УДК 681.325.65 : 681.7

**А. А. Вербовецкий**

*(Москва)*

### **СТРУКТУРНЫЕ И СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СВЕТОВОДНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ СУПЕРЭВМ**

Предложены структурные и схмотехнические варианты построения многоканальных световодных логических устройств. Оценка производительности таких устройств показывает, что при логической обработке 50-разрядных парафазных слов она может достигать  $10^{15}$  опер./с. Рассмотрены применения метода и схем для выполнения операций параллельного сложения и вычитания двоичных переменных.

**Введение.** Основным элементом любого вычислительного устройства является пороговый или переключаемый элемент, на базе которого строятся логические и запоминающие элементы. Для построения суперЭВМ, которые разрабатываются в настоящее время, требуется создание новой элементной базы. К числу наиболее перспективных относятся технологии, основанные на лазерной технике, голографии и нелинейных оптических эффектах [1].

Возможность построения устройств для выполнения логических и арифметических операций на основе управляемых транспарантов (УТ) впервые была исследована в [2, 3]. Там же были предложены общие принципы построения арифметических устройств на базе УТ и указаны основные их достоинства: возможность многоканальной параллельной обработки массива данных; хорошая развязка между входом и выходом; высокое быстродействие.

В дальнейшем было предложено много других способов выполнения базовых логических операций оптическим путем [4—9]. Физическое представление цифровой информации при этом осуществлялось с помощью пространственной координаты, амплитуды, фазы и состояния поляризации световой волны. Для выполнения логических операций над оптическими закодированными сигналами использовались интерферометрический, электрооптический и другие эффекты.

В [10] предложены и проанализированы способы и схемы построения многоканальных оптических логических устройств, обладающие повышенной помехоустойчивостью благодаря использованию парафазного представления информации на всех этапах обработки и основанные на поляризационных эффектах [11, 12]. Их важная особенность — легкость и оперативность переключения на вычисление любой булевой логической функции электрическими и оптическими сигналами.

Базовыми элементами волноводной логики являются электрооптические модуляторы и переключатели света. Волноводные логические элементы могут быть изготовлены методами интегральной технологии с большой плотностью размещения элементов на кристалле. Они малочувствительны к электромагнитным и иным помехам. Время переключения волноводного переключателя может достигать 25—50 пс при энергии рассеяния 30 пДж [1]. Сообщается о достижении частоты переключения более 12 ГГц при мощности возбуждения 1,5 мВт/ГГц [13]. Энергия переключения при этом составляет 1,5 пДж. Однако построение матриц активных модуляторов и переключателей, а следовательно, и логических устройств на их основе вызывает в настоящее время значительные трудности.

В данной работе предложены структурные и схемотехнические решения пассивных многоканальных световодных (волоконно-оптических, интегрально-оптических) логических систем, обладающих повышенной помехоустойчивостью благодаря использованию парафазного представления информации на всех этапах обработки и предназначенных, например, для работы в световодных каналах межпроцессорной связи и коммутации суперЭВМ.

Многоканальные световодные логические системы для выполнения полного набора логических операций. Световодное логическое устройство (СЛУ), реализующее выполнение всех 16 логических операций, изображено на рис. 1, где 1 — матрица перестраиваемых парафазных лазерных диодов (МППЛД), 2 — световодные мультиплексоры, 3 — световодные параметрические демультимплексоры, 4 — фотоприемная парафазная матрица. Для этого на МППЛД 1 в зависимости от вычисляемой функции отображается информация согласно рис. 2. Первая страница операндов *A* парафазно модулирует излучение МППЛД 1 (левая колонка парафазных ячеек на рис. 1 и 2), перестраиваемый параметр которой может изменяться в соответствии как с операндами страниц *A* и *B* (вторая страница операндов), так и с информацией вспомогательной страницы *C* (страницы *B* и *C* изображены остальными колонками парафазных ячеек на рис. 1 и 2). В зависимости от того, с какой страницы (*A*, *B* или *C*) поступает управляющий параметрами сигнал, он имеет соответ-

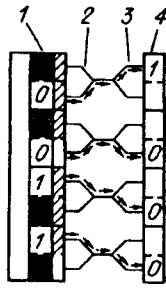


Рис. 1

ственно индекс 1, 2 или не имеет индекса. Заштрихованная область парафазной ячейки на рис. 1 и 2 изменяет перестраиваемый параметр оптического сигнала. Например, при выполнении логической операции «Стрелка Пирса» ( $F = A \vee B$ ) на МППЛД 1 подается первая страница операндов  $A$ , которая преобразуется в парафазные оптические сигналы, а страница  $B$ , от которой подаются только нулевые парафазные знаки, и страница  $C$ , состоящая только из парафазных единиц во всех разрядах, изменяют параметры оптических сигналов страницы  $A$  (например, переключают плоскости поляризации этих сигналов на  $90^\circ$  или изменяют их длину волны, см. рис. 1).

Оптический сигнал от каждого парафазного излучателя МППЛД 1 направляется через мультиплексор 2 на параметрический демultipлексор 3, который в зависимости от состояния изменяемого параметра оптического сигнала направляет его на соответствующий элемент парафазного фотоприемника матрицы (ФПМ) 4. При этом если параметр оптического сигнала в МППЛД 1 меняется, то отображаемая ими информация инвертируется, в противном случае информация не инвертируется. ФПМ 4 считывает информацию, соответствующую логической операции «Стрелка Пирса».

Учитывая, что МППЛД 1 и ФПМ 4 могут содержать по  $10^6 - 10^8$  элементов [14], общее число одновременно обрабатываемых 50-разрядных парафазных слов может достигать  $10^4 - 10^6$ . При этом время логической обработки информации в данной схеме можно оценить временем формирования слов на МППЛД 1. Если, например, МППЛД 1 работает на частоте  $\sim 1$  ГГц, то производительность логической обработки информации может достигать  $10^{13} - 10^{15}$  опер./с.

На рис. 3 и 4 показаны две возможные разновидности описанной схемы СЛУ. На рис. 3 изображена схема СЛУ (1 — матрица перестраиваемых лазерных диодов, 2 — световодные параметрические демultipлексоры, 3 — фотоприемная парафазная матрица), в которой используется однофазная матрица перестраиваемых лазерных диодов (МПЛД) 1, отображающая информацию в манчестерском коде (рис. 5).

Схема СЛУ на рис. 4 (1 — МПЛД, 2 — световоды, 3 — селективная фотоприемная матрица) отличается использованием для индикации

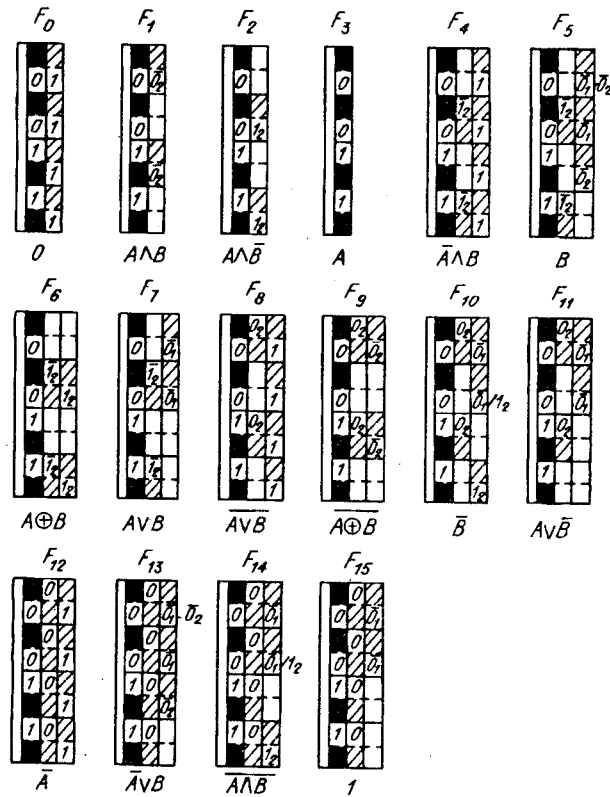


Рис. 2

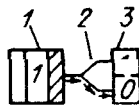


Рис. 3

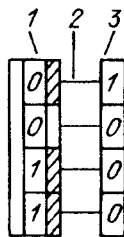


Рис. 4

поляризационно-чувствительной или частотно-чувствительной матрицы, которая разделяет регистрирует оптические сигналы с различной поляризацией или длиной волны.

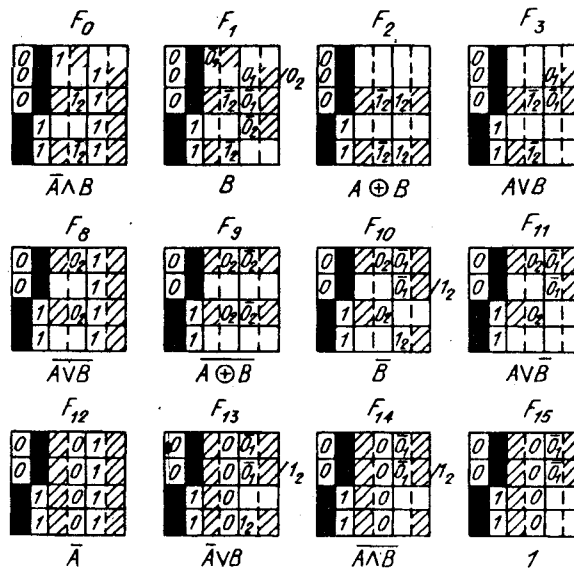


Рис. 5

Параллельный оптический полусумматор и полувычитатель. Параллельное выполнение сложения в двоичной арифметике оптическим методом затруднено из-за сигналов переноса. В [15] изложен метод оптической реализации операции сложения, в котором за счет использования трехградационных чисел 0, 1 и 2 не требуется обработки переносов. Такой метод был использован и в [10]. Применяя аналогичный подход, можно оптически выполнить параллельное суммирование с помощью СЛУ, описанных выше, двух страниц операндов  $A$  и  $B$ . Для этого на МППЛД 1 (см. рис. 1) или МПЛД 1 (см. рис. 3 и 4) одновременно отображается комбинация логических функций  $F_7 = A \vee B$  и  $F_2 = A \wedge \bar{B}$  согласно рис. 2 или 5. При этом функция  $F_2$  отображается таким образом, чтобы соответствующие ячейки матрицы 1 (в зависимости от способа модуляции оптических сигналов) либо поворачивали плоскость поляризации оптических сигналов на  $45^\circ$ , либо одновременно генерировали те длины волн, которые используются в качестве изменяемого параметра оптического сигнала. В этом случае разряды, в которых возникает перенос, будут представляться как «11».

Применяя аналогичный подход, можно исключить сдвиг для параллельного вычитания двух двоичных переменных, используя для модуляции света в СЛУ комбинацию  $F_7 = A \vee B$  и  $F_1 = A \wedge B$  (см. рис. 2 или 5).

**Заключение.** В данной работе предложены структурные и схемотехнические варианты многоканальных световодных логических устройств для логической обработки информации, обеспечивающие высокие быстродействие и надежность выполнения полного набора логических операций. Важной особенностью этих устройств являются легкость и оперативность переключения на вычисление любой булевой логической функции, программируемость, простота, компактность и возможность выполнения методами интегральной технологии. Производительность таких устройств при логической обработке 50-разрядных парафазных слов может достигать  $10^{15}$  опер./с. В зависимости от назначения и характеристик СЛУ суперЭВМ, а

также имеющейся элементной базы для реализации СЛУ может быть выбрана одна из схем, предложенных в работе.

Рассмотренные способы и схемы весьма перспективны для повышения производительности и надежности работы волоконно-оптических систем меж-процессорной связи суперЭВМ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акаев А. А., Майоров С. А. Оптические методы обработки информации.—М.: Высш. шк., 1988.
2. Орлов Л. А., Попов Ю. М. Оптоэлектронное быстродействующее арифметическое устройство на управляемых транспарантах // Автометрия.—1972.—№ 6.
3. Орлов Л. А., Попов Ю. М. Возможность построения арифметического устройства с помощью управляемых световых транспарантов // Квантовая электрон.—1974.—№ 1.
4. Elenret J., Grevey P. Proposals for logical optical operations // Opt. Commun.—1981.—36, N 1.
5. Басов Н. Г., Попов Ю. М., Компанец И. Н. и др. Способы построения оптического процессора с переменными операторами // Квантовая электрон.—1978.—№ 3.
6. Lohmann Adolf W. Polarization and optical logic // Appl. Opt.—1986.—25, N 10.—P. 1594.
7. Итиока Е., Танида Дж. Оптические параллельные логические вентили на основе теневой системы для оптических цифровых вычислений // ТИИЭР.—1984.—72, № 7.
8. Imai Y., Ohtsuken Y. Optical multiple-output and multiple-valued logic operation based on fringe shifting techniques using a special light modulator // Appl. Opt.—1987.—26, N 2.—P. 274.
9. Stucke G. Parallel architecture for a digital optical computer // Appl. Opt.—1989.—28, N 2.—P. 363.
10. Вербовецкий А. А. Принципы создания и схемотехнические вопросы построения многоканальных оптических логических систем // Автометрия.—1991.—№ 1.
11. А. с. 1112926 СССР. Оптоэлектронный преобразователь для оптического запоминающего устройства /А. А. Вербовецкий.—Опубл. 07.02.86, Бюл. № 5.
12. А. с. 1114214 СССР. Оптоэлектронный преобразователь для оптического запоминающего устройства /А. А. Вербовецкий.—Там же.
13. Интегральная оптика и интегральная оптоэлектроника: Малый тематический выпуск // ТИИЭР.—1987.—75, № 11.
14. Maliniak D. Tiny lasers "printed" on silicon may simplify optical communication // Electron. Design.—1989.—37, N 18.—P. 19.
15. Tanida Y., Ichioka Y. Optical logic array processor using shadowgrams // JOSA.—1980.—73, N 6.—P. 800.

*Поступила в редакцию 11 июля 1991 г.*