

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фет Я. И. Параллельные процессоры для управляющих систем.— М.: Энергия, 1981.
2. Shafer D. H., Fisher J. R. Beyond the supercomputer // IEEE Spectrum.— 1982.— 19, N 3.— P. 32.
3. Batcher K. E. Design of massive parallel processor // IEEE Trans. Computers.— 1980.— C-29, N 9.— P. 836.
4. Siegel H. J. A model of SIMD machines and comparison of various interconnection networks // IEEE Trans. Computers.— 1979.— C-28, N 12.— P. 907.
5. Wu C., Feng T. On a class of multi-stage interconnections networks // IEEE Trans. Computers.— 1980.— C-29.— P. 694.
6. Lawrie D. H. Access and alignment of data in an array processor // IEEE Trans. Computers.— 1975.— C-24.— P. 1145.
7. Pease M. C. The indirect binary n-cube microprocessor array // IEEE Trans. Computers.— 1977.— C-26.— P. 458.
8. Lipovski G. J. Light pipe implementation of banyan networks. // Digital Systems.— 1982.— IV, N 4.— P. 367.
9. Stone H. S. Parallel processing with the perfect shuffle // IEEE Trans. Computers.— 1971.— C-20, N 2.
10. Sawchuk A. A., Jenkins B. K., Kaghavendra C. S. Optical interconnection networks // Proc. Int. Conf. Parallel Proces.— N. Y.: IEEE, 1985.
11. Андцыгин В. Д., Косцов Э. Г., Стерелюхина Л. И. Импульсная электрооптическая модуляция в тонких электрооптических пленках // Автометрия.— 1983.— № 5.
12. Егоров В. М., Косцов Э. Г. Перспективы создания оптических высокопроизводительных вычислительных устройств // Автометрия.— 1985.— № 1.
13. Batcher K. E. The flip network in Staran // Proc. Int. Conf. Parallel Proces.— N. Y.: IEEE, 1976.

Поступила в редакцию 6 января 1989 г.

УДК 681.3.01 : 621.378

**Б. В. ВАНЮШЕВ, Н. И. ВЬЮХИНА, И. С. ГИБИН, А. П. ЛИТВИНЦЕВА,
Т. Н. МАНТУШ, Б. Н. ПАНКОВ, Е. Ф. ПЕН, А. Н. ПОТАПОВ,
И. Б. ТАТАРНИКОВА, П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ**

(Новосибирск)

АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ

Введение. К основным достоинствам оптической памяти относятся: большой срок (десятилетия) и надежность хранения информации, высокая плотность записи (до 10^7 бит/см²), низкая стоимость хранения (10^{-7} коп/бит). Голографическая память, кроме того, обеспечивает возможность параллельного ввода-вывода информации.

Размер кадра (страницы) при использовании двумерных голограмм составляет 10^3 — 10^4 бит, что является хорошей предпосылкой для реализации быстрого ассоциативного поиска и других видов обработки информации на оптическом и оптоэлектронном уровнях в самой памяти (распределенная обработка). Поэтому технология голографической памяти на переверсивных носителях ориентирована нами на применение в машинах баз данных и в других информационно-поисковых системах [1, 2].

Использование голографической памяти в практике информационных систем сдерживается пока недостаточным развитием элементной базы (полупроводниковые лазеры, управляемые транспаранты света, дефлекторы, матричные фотоэлектронные СБИС и др.) и отсутствием совершенной оперативной (реверсивной) среды носителя. Тем не менее для многих приложений (космос, геофизика, машиностроение и др.) требуются системы памяти архивного типа, которые можно строить на переверсивных фоторегистрирующих средах. Решающим требованием к таким систе-

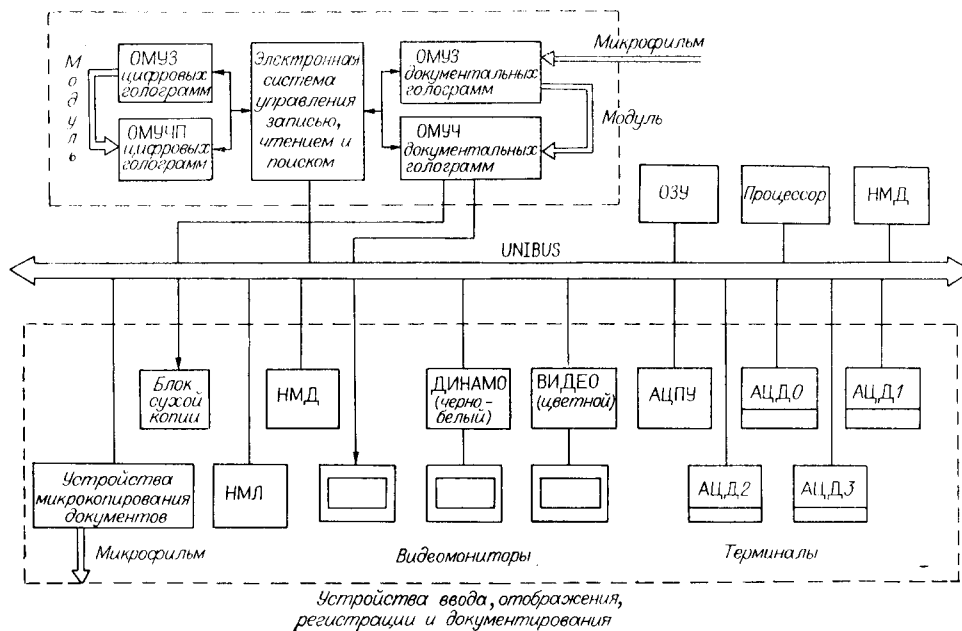


Рис. 1.

мам является обеспечение длительного и надежного хранения данных при непрерывном их накоплении и медленном изменении, например, в информационно-справочных системах и некоторых базах данных.

Системы с переверсивной средой проектируются, как правило, по модульному принципу, обеспечивающему оперативную работу с данными в объеме модуля (единицы — десятки мегабайт). «Оперативная часть» данных переносится на модуль с других носителей или предварительно буферизируется в оперативной среде, например на магнитном диске, в случае сбора данных и их коррекции.

Институт автоматки и электрометрии Сибирского отделения АН СССР и ИИИ отрасли обладают уникальным опытом работ в области технологии голографической памяти на плоских носителях (модули из фотопластинок на стеклянной подложке $76 \times 76 \times 2,65 \text{ мм}^3$). Созданный архив рассчитан на 5—10 Гбайт цифровых и сотни тысяч кадров документальных данных в нецифровом, естественном, виде. Описания имеющихся голографических ЗУ, оптические аспекты технологии и созданные программные средства для их исследований отражены в [3—8].

Рассмотрим функциональную организацию (архитектуру) информационной системы на основе голографических ЗУ — комплекс аппаратных и программных средств, осуществляющих управление устройствами и данными, а также результаты исследований и применения с использованием созданного программного обеспечения*.

Состав и общая структура экспериментальной системы голографической памяти с вычислительным комплексом СМ-4 показаны на рис. 1. К магистрали UNIBUS подключены голографические ЗУ (ГЗУ), представляющие цифровой и документальный архивы: оптико-механические устройства записи (ОМУЗ) голограмм с данными в цифровом и документальном виде (далее «цифровых и документальных голограмм»), оптико-механические устройства чтения и поиска данных (ОМУЧП) цифровых голограмм и чтения (ОМУЧ) документальных данных с электронной системой управления записью, чтением и поиском.

* В проведении экспериментов и разработке аппаратных средств принимали участие А. А. Блок, В. А. Домбровский, С. А. Домбровский, А. В. Волков, К. Б. Тюнюков, В. Е. Бутт, В. И. Козик, В. Д. Бармасов, С. М. Бечаснов, В. И. Шкуратов.

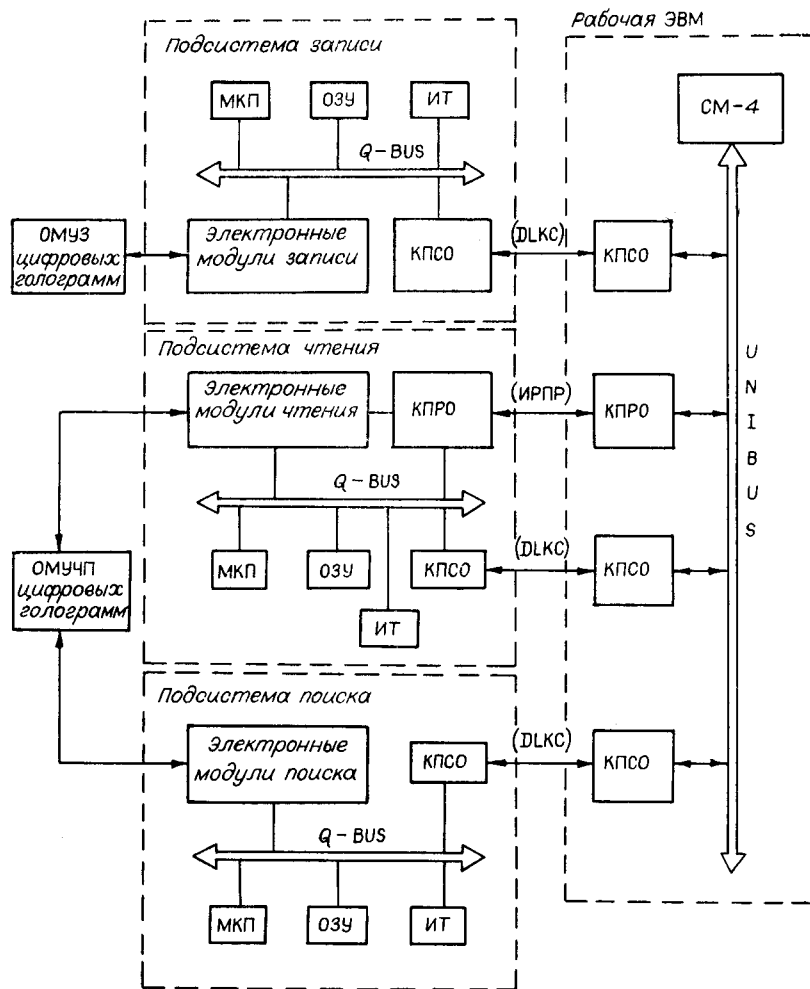


Рис. 2

В состав комплекса ввода, отображения, регистрации и документирования, кроме стандартных устройств вычислительного комплекса (накопители НМЛ, НМД, терминалы на алфавитно-цифровых дисплеях АЦДО—АЦДЗ, печатающие устройства АЦПУ), входят черно-белые и цветные видеомониторы (с управлением ДИНАМО, ВИДЕОбуфер), обеспечивающие отображение графической информации и полутонных изображений, устройства микрокопирования документов и изготовления «сухой копии».

Аппаратные средства. Рассмотрим аппаратные средства экспериментальной цифровой системы как имеющей более сложную по сравнению с документальной организацию и структуру.

Основными составляющими оптико-механических устройств ОМУЗ и ОМУЧП являются узлы двухкоординатного позиционирования модулей и выборки модуля из архива (при чтении), лазер, управляемый транспарант для формирования страниц данных размером 32×32 бит, фотозатвор, отрабатывающий требуемое время экспозиции, фурье-объективы, матричные фотоприемные БИС для преобразования, обработки и чтения восстановленного изображения страницы, дефлекторы для быстрой выборки голограмм и удержания (коррекции) луча по центру голограмм.

Электронные устройства системы обеспечивают управление записью и чтением страниц информации (голограмм) с адресной выборкой, ассоциативный поиск данных на оптоэлектронном физическом уровне, обмен

с рабочей ЭВМ. Они составляют три функциональные подсистемы (будем их также называть контроллерами) — ЗАПИСИ, ЧТЕНИЯ и ПОИСКА.

Электронные подсистемы (рис. 2) строятся на базе микропроцессоров (МКП) от ЭВМ «Электроника 60», управляющих специализированными устройствами записи и чтения, подключенными к магистрали Q-BUS. В составе этих подсистем имеются оперативные ЗУ на 64 Кбайт, используемые программными процессорами физического управления записью, чтением, поиском, и интерфейсы терминалов (ИТ). Терминалы работают с процессорами управления и с операционной системой рабочей ЭВМ.

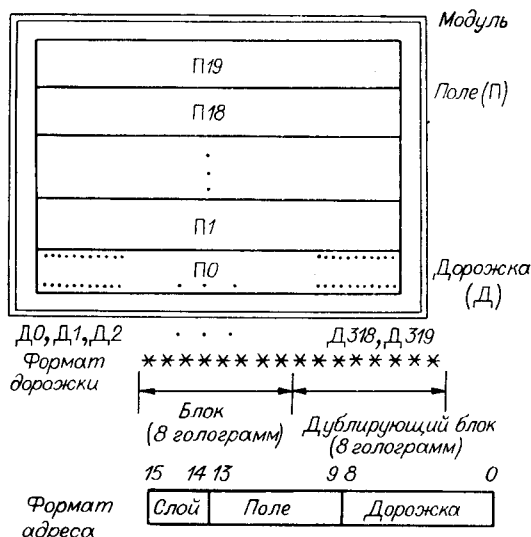


Рис. 3

Последовательный интерфейс DLKS (контроллеры последовательного обмена (КПСО)) связывает рабочую ЭВМ с подсистемами записи и поиска, обеспечивает загрузку в ОЗУ программных процессоров физического управления записью и поиском с дисков рабочей ЭВМ и работу удаленных терминалов.

Подсистема ЧТЕНИЯ использует как последовательный (DLKS), так и параллельный канал (контроллеры параллельного обмена (КПРО) с интерфейсом ИРПР). Первый предназначен для передачи команд контроллеру и загрузки программного процессора управления чтением, второй — для приема данных и статусной информации.

Подсистема ПОИСКА на аппаратном оптоэлектронном уровне реализует ряд функций манипулирования данными и таким образом разгружает основную рабочую ЭВМ от исполнения алгоритмов, требующих значительных затрат процессорного времени и передачи по каналам больших объемов данных. Она ориентирована на поддержку реляционной модели данных.

В модуле можно записать до четырех матриц (слоев) размером 320×320 голограмм. Размерность голограммы равна 32×32 бит.

Голограммы слоя (рис. 3) сгруппированы в 20 полей, каждое из которых содержит 320 дорожек. Дорожка имеет 16 голограмм. Доступ к полю и дорожке осуществляется перемещением модуля, доступ к голограмме (странице) — акустооптическим дефлектором света.

Блок данных, занимающий половину физической дорожки, состоит из 8 голограмм. Запись блока в целях повышения достоверности его чтения дублируется на второй половине дорожки (см. рис. 3).

Формат адресации данных: слой — поле — дорожка.

Для проверки правильности адресации при чтении в начале каждого блока записывается адрес в указанном формате.

Длина блока определяется применяемым способом кодирования на странице: для кода Хэмминга она составляет 672 байт, для парафазного кода — 512 байт (с учетом двух байтов адреса блока).

Данные на странице при использовании систематического кода Хэмминга (22,16) упакованы так, что каждое слово размещается в трех последовательных байтах: два байта информационных и один байт контрольный. В двух последних байтах содержится «единичный маркер», по которому может быть выполнен автоматический подбор режима чтения в зависимости от интенсивности изображения страницы. В коде Хэмминга представляются данные в подсистеме чтения.

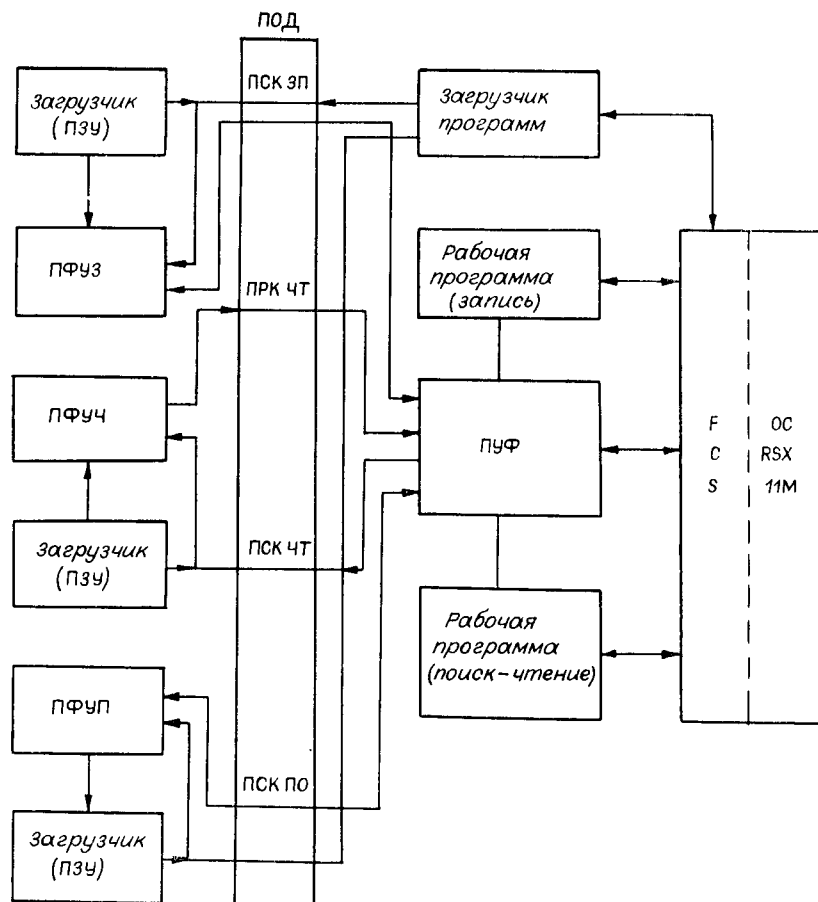


Рис. 4

Данные в подсистеме поиска записываются в парафазном коде (0: 10, 1: 01), и страница упаковывается двухбайтовыми словами.

Система программного обеспечения. Основными функциональными компонентами программной системы управления устройствами и данными (рис. 4) являются процессоры физического управления записью (ПФУЗ), чтением (ПФУЧ) и поиском (ПФУП), процессор управления файлами (ПУФ) и процессор обмена данными (ПОД) между ними.

Процессоры ПФУЗ, ПФУЧ, ПФУП реализованы для микроЭВМ класса «Электроника 60» и осуществляют управление опико-механическими, оптоэлектронными и электронными устройствами памяти. Они хранят на дисках рабочей ЭВМ и загружаются с помощью специального ЗАГРУЗЧИКА ПРОГРАММ (со стороны рабочей ЭВМ) и аппаратных загрузчиков соответствующих контроллеров.

Процессор ПОД образован распределенной программой, обеспечивающей обмен данными между рабочей ЭВМ и контроллерами по соответствующим последовательным (ПСК ЭП, ПСК ЧТ, ПСК ПО) и параллельному (ПРК ЧТ) каналам. В рабочей ЭВМ процессор ПОД использует терминальные драйверы операционной системы (с ними работает и ЗАГРУЗЧИК ПРОГРАММ), а в контроллерах — специальные подпрограммы обмена. Процессор ПОД с обеих сторон осуществляет проверку обмена по контрольной сумме блоков, указывает программам состояние обмена и выдает сообщение в случае ошибки.

Процессор ПУФ обеспечивает ведение пользовательских файлов на модуле. В своей работе он использует возможности системы управления файлами (FCS) рабочей операционной системы (RSX 11M).

Все процессоры выполнены в виде набора объектных модулей подпрограмм, соответствующих командам. Для исполнения команд необходим вызов подпрограмм по инструкции JSR PC, ИМЯ КОМАНДЫ, возврат — по инструкции RTS PC. Обмен аргументами — через блоки параметров, создаваемые в программе пользователя и указываемые в регистре R5.

Рассмотрим коротко команды программных процессоров.

Процессор ПФУЗ выполняет две команды:

INIM — инициация модуля для записи, WRID — запись блока данных по адресу.

Команда INIM имеет следующие параметры: номер слоя, в котором будет вестись запись, вид кодирования данных на странице, энергию экспозиции для регистрации голограмм, шаг записи, указывающий кратность расстояния между соседними голограммами, и двухкоординатные смещения матрицы голограмм от краев модуля. По этой команде производится позиционирование модуля в исходное нулевое положение, определяется необходимое для заданной энергии время экспозиции и запускаются аппаратно-программные средства коррекции этого времени (вследствие дрейфа мощности лазера).

Команда WRID содержит логический номер блока, указывающий адрес его записи, длину блока данных и сам блок. Процессор ПФУЗ преобразует номер блока в его физический адрес, позиционирует модуль, с помощью транспаранта формирует из блока данных двумерное изображение страниц и производит их запись.

Процессор ПФУЧ выполняет четыре команды:

INIR — инициация чтения модуля,
SELM — выборка модуля из архива,
READ — чтение блока по адресу,
RETM — возврат модуля в архив.

По команде INIR устанавливаются в исходное состояние все элементы узла выборки и приема модуля из архива, а также режим чтения: энергия накопления для фотоматрицы, порог усилителей ее сигналов, задающий границу разделения 1 и 0 страницы, шаг чтения (по аналогии с шагом записи), номер канала чтения (в состав архива входят два канала).

Команда SELM содержит номер канала и адрес модуля в архиве. По этой команде модуль выбирается из архива и устанавливается в позиционер канала, определяется режим накопления фотоматрицы, производится коррекция по центру голограмм положения считывающего пучка лазера (юстировка).

По команде READ, содержащей логический номер блока, читается заданный блок и передается в ЭВМ. В случае двойной ошибки по Хэммингу выполняется чтение дублирующего блока с возможным последующим изменением режима чтения (порогов усилителей) дублирующего и основного блоков. Таким образом, по команде READ могут быть введены достаточно эффективные средства для правильного прочтения страницы данных. Кроме того, в процессе последовательного чтения выполняется юстировка считывающего пучка при переходе на новое поле голограмм и после прочтения установленного числа (несколько десятков) дорожек одного поля.

По команде RETM (с параметрами номер канала и адрес) модуль из указанного канала возвращается в архив по заданному адресу.

Процессор ПФУП имеет пять команд:

INIC — инициация канала поиска,
RELB — чтение блока данных,
RERC — чтение записей,
FICO — поиск и подсчет записей по условию,
FINR — поиск номеров записей по условию.

Команда INIC устанавливает в исходное состояние устройства подсистемы поиска и режим работы фотоприемного ассоциативного устройства.

По команде RELB производится чтение блока данных с заданным логическим номером.

Команда REERC имеет параметры: логический номер блока начала файла, длину, номер и количество последовательно размещенных записей. По ним определяются начало и размер области читаемых записей.

Команды FICO и FINR включают параметры для REERC (они задают область поиска), а также условие поиска, определяющее операцию сравнения (равно, меньше, больше, интервал), и ключ (его код, размер, смещение в записи). Команды выполняют просмотр заданной области на основном поле и при необходимости — на резервном. Процессор ПФУП возвращает коды состояний выполнения команд.

Следующим (более высоким) уровнем программного обеспечения является файловый уровень. Описание разработанной для ГЗУ файловой системы выходит за рамки данной статьи. Здесь мы приведем только перечень и назначение команд процессора управления файлами модуля. К ним относятся: OPMW — открыть слой модуля для записи, OPFW — открыть файл для записи, WRIB — записать виртуальный блок, PUTS — вывести запись в режиме последовательного доступа, CLFW — закрыть файл после записи, CLMW — закрыть модуль после записи, OPM — открыть слой модуля (для чтения или поиска), OPF — открыть файл (для чтения или поиска), REAB — прочитать виртуальный блок файла, GETS — прочитать запись в режиме последовательного доступа, GETR — прочитать запись (фиксированной длины) в режиме прямого доступа, FICN — подсчитать записи, удовлетворяющие условию, FIRN — найти номера записей, удовлетворяющие условию, CLF — закрыть файл (после чтения или поиска), CLM — закрыть модуль (после чтения или поиска).

Нетрудно видеть, что обычно применяемый в таких процессорах набор команд дополнен командами ассоциативного поиска данных, которые, как уже сообщалось, поддерживаются аппаратно.

Результаты исследований. Комплекс проведенных исследований включал разработку, изучение и экспериментальную проверку таких способов и режимов записи и чтения голограмм, которые обеспечили бы необходимый уровень достоверности чтения данных. Исследовано влияние нестабильности лазера и управляемого транспаранта, изучены дефекты среды носителя, проверено влияние на характеристики голограмм и восстановленных изображений страниц дефектов среды носителя [3, 5, 7, 8].

Эти исследования проводились с помощью специально созданных тестовых программ, использующих процессоры физического управления устройствами.

В результате введения аппаратно-программных средств коррекции времени экспозиции при записи (дрейф лазера) и времени накопления фотоматрицей оптических сигналов при чтении (разброс интенсивности восстановленных страниц), пространственной коррекции считывающего лучка по центру голограмм после прочтения нескольких десятков дорожек, дублирования блока на дорожке, применения в подсистеме чтения кода Хэмминга, который исправляет одиночную и обнаруживает двойную ошибку (на длине 22,16), вероятность ошибки при чтении модуля удалось довести до уровня 10^{-9} .

Применение в подсистеме поиска парафазного кодирования снижает разброс дифракционной эффективности восстанавливаемых голограмм и, кроме того, позволяет использовать аппаратные средства подстройки времени накопления и контроля возникающих ошибок.

Информационная система оказалась пригодной для хранения реальных данных и проведения на ней экспериментов по ассоциативному опто-

электронному поиску информации. Ввод цифровых данных в систему производится с магнитных носителей (НМЛ, НМД).

В одном модуле памяти при использовании кода Хэмминга можно разместить до 5000 страниц текста (из расчета 3500 знаков на страницу) или порядка 67 одноцветных кадров изображений размером 512×512 элементов с числом градаций яркости элемента, равным 256 (для цветных изображений соответственно 22 кадра). При парафазном кодировании информационный объем модуля меньше на 20—25 %.

Экспериментальная проверка подсистемы поиска проведена на группе файлов, составляющих небольшую базу данных для разновысотных фрагментов структурных формул химических соединений объемом порядка 1 Мбайт (всего 13 файлов). Все файлы состоят из записей постоянной длины, содержащих информационные поля и поля-указатели связей между записями файлов. Файлы записей с полями переменной длины (цепочки символов, повторяющиеся группы, многозначные поля) преобразованы в паборы файлов записей фиксированной длины с использованием указателей связей.

В подсистеме поиска реализован способ физического размещения записей табличных файлов (назовем его странично-поразрядным), ориентированный на выполнение параллельного ассоциативного поиска с помощью специальной БИС с параллельным оптическим входом [9].

Записи файла рассматриваются как строки таблицы, а поля записей — как ее столбцы. При этом фрагмент табличного файла непосредственно отображается на двумерную физическую страницу ЗУ (голограмму) в соответствии с ее размером 32×32 бит (32 строки длиной по 2 байта в парафазном коде). Таким образом, на одной странице ЗУ находятся и могут обрабатываться параллельно 2-байтовые фрагменты одноименных полей из 32 записей, а каждая запись в общем случае хранится в одноименных строках нескольких последовательных страниц [10].

Нетрудно видеть, что странично-поразрядная организация и размещение записей обеспечивают простую реализацию не только параллельного сравнения по любому полю (столбцу), но и прямого доступа к записям. В процессе поиска группа страниц из 32 записей (сегмент) подвергается опросу на соответствие предъявленному ключу и оператору сравнения, и в случае положительного отклика вычисляются номера удовлетворяющих запросу записей. Благодаря тому, что обращения производятся только к тем страницам, которые содержат требуемую запись (выборка) или поле записей (сравнение), существенно уменьшаются затраты времени на доступ и сокращается объем обрабатываемых данных.

Закключение. В рассмотренной системе успешно выполнен комплекс физических экспериментальных исследований устройств перспективных систем оптической (голографической) памяти: отработаны способы и режимы записи и чтения страниц данных, проанализированы возникающие при этом информационные ошибки и найдены пути их устранения для достижения приемлемой достоверности чтения.

Создано базовое программное обеспечение системы голографической памяти, включающее процессоры физического управления устройствами и файловую систему. Пользователю предоставляется набор команд, которые он может применять в своих программах при работе с голографической памятью.

На файловом уровне реализовано хранение информации в виде текстов, графиков, изображений. Создан экспериментальный макет базы данных с параллельным оптоэлектронным ассоциативным поиском информации в приложении к структурным формулам химических соединений. Применение аппаратной поддержки поиска для среднего файла, состоящего из 1000 записей длиной в несколько десятков байт каждая, позволяет на порядок сократить число обращений к страницам по сравнению с традиционным способом, когда записи вводятся и обрабатываются в ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЭВМ пятого поколения: концепции, проблемы, перспективы/Под ред. Т. Мото-Ока: Пер. с англ.— М.: Финансы и статистика, 1984.
2. Данилов Г. А., Шмид А. В. Машины баз данных // Итоги науки и техники. Сер. техн. кибернетика.— 1987.— Т. 22.
3. Блок А. А., Ванюшев Б. В., Волков А. В. и др. Устройство автоматической записи матриц голограмм цифровых данных // Автометрия.— 1984.— № 3.
4. Ванюшев Б. В., Волков А. В., Гибин И. С. и др. Устройство хранения и считывания цифровых данных в голографической системе архивной памяти // Там же.
5. Вьюхина Н. Н., Литвинцева А. П., Мантуш Т. Н. и др. Программные средства для исследований, отладки и тестирования ГЗУ // Там же.
6. Блок А. А., Ванюшев Б. В., Волков А. В. Архивное голографическое ЗУ с емкостью памяти 1 Гбайт // Тез. докл. II Всесоюз. конф. «Проблемы развития радиоэлектроники».— Тбилиси, 1985.— Ч. 1.
7. Блок А. А., Домбровский В. А., Домбровский С. А., Пен Е. Ф. Экспериментальные исследования достоверности считывания данных в голографических ЗУ // Автометрия.— 1984.— № 3.
8. Блок А. А., Домбровский В. А., Домбровский С. А. и др. Практический предел плотности записи данных в голографических ЗУ на плоских носителях.— Новосибирск, 1988.— (Препр./СО АН СССР, ИАиЭ; 386).
9. Коняев С. И., Кащеев Э. Л., Панков Б. Н. Фотоматричное ассоциативное ЗУ — многофункциональный оптоэлектронный элемент, характеристики и вопросы применения // Тез. V Всесоюз. конф. по голографии.— Рига, 1985.
10. Butt V. E., Vyukhina N. N., Kozik V. I. e. a. The search for compounds by the fragments of structural formulae in holographic storage // The Third USSR — JAPAN Symposium ON Computer Chemistry (20—24 July 1987).— Novosibirsk, USSR, 1987.

Поступила в редакцию 14 декабря 1988 г.

УДК 681.327.68 : 621.373.826

**Ю. В. ВОВК, Л. В. ВЫДРИЦ, Н. Н. ВЬЮХИНА, В. Н. ЗАТОЛОКИН,
П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ, И. Ш. ШТЕЙНБЕРГ, Ю. А. ЩЕПЕТКИН**
(Новосибирск)

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ НАКОПИТЕЛЬ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПАКЕТА ОПТИЧЕСКИХ ДИСКОВ

При решении задачи накопления сверхбольших (10—1000 Гбайт) потоков цифровых данных, поступающих со скоростью более 100 Мбит/с (волоконно-оптические линии связи, цифровое телевидение, высокопроизводительные вычислительные комплексы и др.), возникают трудно разрешимые противоречия: во-первых, объем информации в 10 Гбайт превышает предельную емкость одного магнитного или оптического диска; во-вторых, одноканальное устройство оптической записи обеспечивает скорость регистрации не более 30 Мбит/с.

Простым хорошо известным из техники магнитной записи способом решения задачи является использование для этой цели пакета дисков. В этом случае требуемую емкость памяти можно обеспечить путем увеличения количества дисков, а скоростную запись реализовать за счет использования нескольких параллельно работающих головок.

При создании подобного накопителя на пакете оптических дисков принципиально важной задачей является разработка такой оптической головки, которая имела бы малые габариты, вес и при плотности упаковки данных $\geq 2 \cdot 10^5$ бит/мм² обеспечивала бы скорость записи не менее 30 Мбит/с.

Для решения поставленной задачи нами был предложен метод записи цифровых данных в виде линейных, одномерных голограмм Фурье [1]; рассмотрены способы частотного синтеза таких голограмм с помощью акустооптического модулятора (АОМ) и записи излучением полупроводникового лазера [2], параллельного гетеродинамического считыва-