ЛИТЕРАТУРА

1. **Выдрин Л. В. и др.** Экспериментальная оптико-электронная (голографическая) система памяти.— Автометрия, 1980, № 2.
2. **Stewart W. S. et al.** An experimental read-write holographic memory.— RCA Rev., 1973, vol. 34, N 3.
3. **D'Auria L., Huighard T. P., Seera C. S., Spitz E.** Experimental holographic read-write memory using 3-D storage.— Appl. Opt., 1974, vol. 13, N 4.
4. **Кручинин Н. С. и др.** Голограммное запоминающее устройство.— В кн.: Тез. докл. на Всесоюз. конф. «Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ.» Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1977.
5. **Ванюшев Б. В., Орлов Е. М., Тарков В. А.** Устройство автоподстройки луча.— Автометрия, 1984, № 3.
6. **Домбровский В. А., Домбровский С. А.** Требования к аберрациям оптических элементов и точности их установки в голограммных ЗУ.— Автометрия, 1982, № 6.
7. **Домбровский В. А., Домбровский С. А., Пен Е. Ф.** Влияние дифракционного фона на качество восстановленного изображения в ГЗУ.— В кн.: Труды IV Всесоюз. конф. по голографии. Ереван: ВНИИРИ, 1982, т. 2.
8. **Вьюхина Н. Н. и др.** Программные средства для исследований, отладки и тестирования ГЗУ.— Автометрия, 1984, № 3.
9. **Блок А. А. и др.** Устройство автоматической записи матриц голограмм цифровых данных.— Автометрия, 1984, № 3.

Поступила в редакцию 30 декабря 1983 г.

УДК 681.327 : 621.378

Н. Н. ВЬЮХИНА, А. П. ЛИТВИНЦЕВА, Т. Н. МАНТУШ, Е. С. СЕЛИХОВА, Л. Ф. ЧЕРНЫШЕВ

(Новосибирск)

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОТЛАДКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ ГЗУ

Для ввода в действие голографического ЗУ (ГЗУ) [1, 2] создан комплекс программных средств, ориентированных на экспериментальные исследования и опытную эксплуатацию устройства, отладку и тестирование его основных оптико-электронных и электронных блоков и узлов *. Созданные программные средства предназначены для работы в вычислительных системах на базе ЭВМ СМ-4 и «Электроника-60».

Применение двух систем обусловлено большим объемом работ по отладке и запуску отдельных устройств и всей системы. Эти работы могут вестись параллельно и независимо.

В более мощной системе на базе СМ-4 исследуется работа ГЗУ, проводится его опытная эксплуатация как архива цифровых данных. Здесь работает многопользовательская операционная система RSX11M (ОС-РВ 2.0), обеспечивающая одновременное выполнение задач по записи и чтению данных. Кроме стандартных устройств вычислительного комплекса (процессор с диспетчером памяти, ОЗУ емкостью 124 К слов, накопители НМД и НМЛ, АЦПУ, терминалы и др.), в конфигурацию включены 5 крейтов КАМАК с электронными модулями ГЗУ.

Наладка и тестирование блоков и узлов ГЗУ выполняются в системе на базе «Электроники-60». Здесь используется операционная система РАФОС, а в состав аппаратных средств, кроме стандартных (процессор, ОЗУ емкостью 32 К слов, накопитель НГМД, АЦПУ, терминал), входят один-два крейта КАМАК для включения испытуемых модулей и необходимых устройств генерации и отображения данных (ТВ-монитор с приводом, генераторы слов, индикаторы и др.).

---

* В работе принимала участие И. Б. Татарникова.

Сложившееся в процессе работы разделение систем, и в особенности созданных программных средств, достаточно условно. Все средства из второй системы («Электроника-60») легко можно перенести в первую. Однако для удобства изложения сохраним введенное в работе разделение и рассмотрим программные средства с учетом их функционального назначения: исследование, опытная эксплуатация ГЗУ и отладка, тестирование его блоков и узлов. Представленный здесь материал является результатом дальнейшего развития работ по совершенствованию систем голографической памяти и их программного обеспечения [3—5].

1. Программные средства для исследований и опытной эксплуатации ГЗУ. Созданы две автономные программы — ЗАПИСЬ и ЧТЕНИЕ, выполняющие большое количество функций по генерации, обработке, записи/чтению информации, контролю, отображению и получению данных для оценки работоспособности ГЗУ. Программы могут работать отдельно или вместе, что обеспечивается используемой операционной системой и автономностью работы устройств записи и чтения голограмм. Обмен данными с ГЗУ идет в основном на физическом уровне с непосредственной адресацией.

Рассмотрим функциональную структуру программ ЗАПИСЬ, ЧТЕНИЕ и решаемые ими задачи.

1.1. *Ввод данных и параметров записи/чтения, адресация данных.* В начале работы через терминал (в диалоге) вводятся следующие данные:

при записи — номер модуля; адрес и объем массива; содержимое голограмм; шаг записи (чтения); времена стирания и записи строк для транспаранта — формирователя содержимого голограмм; энергия экспозиции, по которой впоследствии вычисляется требуемое время экспозиции исходя из текущей мощности пучка лазера;

при чтении — номер модуля; адрес и объем массива в модуле; шаг чтения (записи); время накопления для фотоматрицы и пороговая уставка для усилителей; режим чтения (см. п. 1.4); указатель вывода содержимого голограмм на терминал (или другое системное устройство).

Номером модуля определяется его адрес в архиве (расположение в карусели), он также используется для ведения каталога плохих голограмм модуля, копия которого, пока не закончена запись, хранится на диске (см. п. 1.5).

Минимальная адресуемая единица данных в модуле — голограмма. Общий формат адреса: голограмма — дорожка — блок (рис. 1). Дорожки (Д) адресуются по координате X, блоки (Б) и голограммы (Г) в дорожке — по Y. Нулевая дорожка нулевого блока является дорожкой каталога (ДК).

Расстояние S между голограммами в блоках, будучи шагом записи/чтения, одинаково для обеих координат. При минимальном программном шаге, равном 1 (что соответствует расстоянию 0,4 мм между центрами голограмм), максимальное число дорожек в блоке 180, а голограмм в дорожке 32. С увеличением шага $1 \leqslant S \leqslant 31$ соответственно уменьшается количество голограмм в дорожке и дорожек в блоке. Зоны размещения блоков при этом сохраняются; общее число блоков 5, а шаг между ними всегда равен 1.

Объем массивов записи/чтения задается начальными адресами и количеством блоков, дорожек (в каждом блоке), голограмм (в каждой дорожке). Программы обеспечивают двунаправленное сканирование заданного массива, как показано на рис. 1, где для примера в блоках выбираются три дорожки и две голограммы в дорожках. Выборка всегда начинается с младшего адреса и при записи заканчивается на последнем блоке (дорожке, голограмме). При чтении после выборки последней голограммы (сверху или снизу) сканирование начинается в обратном направлении и продолжается сколь угодно долго до прерывания с клавиатуры терминала.

1.2. *Средства кодирования, контроля и коррекции данных.* В программы ЗАПИСЬ и ЧТЕНИЕ введены достаточно мощные средства об-

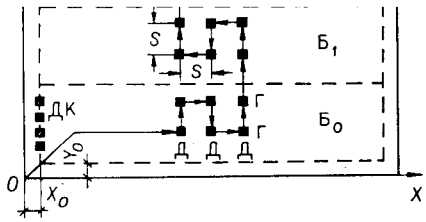

Рис. 1.

кости чтения данные представляются в коде Хемминга, обеспечивающем обнаружение и коррекцию ошибок.

Данные, записываемые в голограммах, которые будем называть страницами, генерируются из двух строк, вводимых с терминала в виде четырех (16-разрядных) восьмеричных чисел: D2, D1 — первая строка, D4, D3 — вторая. Этими чередующимися строками заполняется буфер страницы размерностью 32 × 32 бит. Выбранный способ задания и генерации страниц удобен и позволяет иметь различные необходимые для исследований конфигурации страниц.

Перед записью голограмм данные буфера подвергаются обработке, в результате которой формируются заголовок страницы (текущий адрес голограммы в модуле), контрольные разряды по Хеммингу и контрольная сумма страницы.

Для кодирования и декодирования по Хеммингу длина информационного кода выбрана равной 32 разрядам в соответствии с разрядностью строки страницы. Число контрольных разрядов для строки, включая разряд общей четности, 7, что позволяет исправлять одиночные и обнаруживать двойные ошибки в 32-разрядной информационной строке и в контрольных разрядах.

Контрольные разряды (для удобства и наглядности компоновки страницы) размещены побайтно и вынесены за пределы информационных строк. В таблице представлен формат страницы, где последовательно указаны байты строк (B0 ÷ B3 — строка 0, B4 ÷ B7 — строка 1, ..., B124 ÷ B127 — строка 31), и их содержимое (в скобках).

Информационными являются 25 верхних строк (00 ÷ 24). Два первых байта (машинное слово) содержат заголовок, а остальные информационные строки — вышеупомянутые данные D2, D1, D4, D3, причем D1 первой строки замещается заголовком. Начиная со строки 25 размещаются контрольные байты BK0 ÷ BK24, последовательность которых соответствует строкам. Наконец, в двух последних байтах содержится контрольная арифметическая сумма всех предшествующих байтов, а байт B125 выделен в качестве маркера, включающего все двоичные единицы.

Программное кодирование страниц (при записи) и коррекция ошибок (при чтении) выполнены по известным алгоритмам вычисления контрольных разрядов и ошибок для кода Хемминга [6, 7]. Затрачиваемое при этом время 50 ÷ 60 мс. Программа коррекции ошибок работает не всегда, а только в случае их обнаружения по контрольному суммированию, которое выполняется первым.

В программах реализован еще один вид контроля данных при записи. Учитывая важность безошибочного воспроизведения страницы с помощью управляемого транспаранта, перед его запуском проводится проверка правильности заполнения буфера блока управления транспарантом, куда загружается страница данных. Загруженный буфер читается и сравнивается с содержимым страницы в ЭВМ.

1.3. *Средства контроля среды носителя, коррекции экспозиции и стабилизации пространственного положения пучков лазеров.* Среда носителя ГЗУ, как правило, имеет дефекты. В покрытии фотопластинок встречаются неровности, инородные частицы, трещины и т. п. На дефектных участках среды невозможно сделать качественную запись голограмм, эти участки следует исключить и учесть как плохие страницы модуля.

31	24 23	16 15	8 7	0
00 B3	(D * 2)	*	(ЗАГОЛО * ВОК)	B0
01 B7	(D * 4)	*	(D * 3)	B4
02 B11	(D * 2)	*	(D * 1)	B8
03 B15	(D * 4)	*	(D * 3)	B12
04 B19	(D * 2)	*	(D * 1)	B16
05 B23	(D * 4)	*	(D * 3)	B20
06 B27	(D * 2)	*	(D * 1)	B24
07 B31	(D * 4)	*	(D * 3)	B28
08 B35	(D * 2)	*	(D * 1)	B32
09 B39	(D * 4)	*	(D * 3)	B36
10 B43	(D * 2)	*	(D * 1)	B40
11 B47	(D * 4)	*	(D * 3)	B44
12 B51	(D * 2)	*	(D * 1)	B48
13 B55	(D * 4)	*	(D * 3)	B52
14 B59	(D * 2)	*	(D * 1)	B56
15 B63	(D * 4)	*	(D * 3)	B60
16 B67	(D * 2)	*	(D * 1)	B64
17 B71	(D * 4)	*	(D * 3)	B68
18 B75	(D * 2)	*	(D * 1)	B72
19 B79	(D * 4)	*	(D * 3)	B76
20 B83	(D * 2)	*	(D * 1)	B80
21 B87	(D * 4)	*	(D * 3)	B84
22 B91	(D * 2)	*	(D * 1)	B88
23 B95	(D * 4)	*	(D * 3)	B92
24 B99	(D * 2)	*	(D * 1)	B96
25 B103	(BK3) *	*	* (BK0)	B100
26 B107	(BK7) *	*	* (BK4)	B104
27 B111	(BK11) *	*	* (BK8)	B108
28 B115	(BK15) *	*	* (BK12)	B112
29 B119	(BK19) *	*	* (BK16)	B116
30 B123	(BK23) *	*	* (BK20)	B120
31 B127	(KK. * C.)	B126 * (377)	B125 * (BK24)	B124
31	24 23	16 15	8 7	0

В устройстве записи голограмм [1] имеется несложное контрольное устройство, обнаруживающее дефектные участки среды; его состояние проверяется при записи каждой голограммы. В случае дефекта текущий адрес голограммы учитывается в массиве плохих страниц, который ведет программа ЗАПИСЬ. Массив рассчитан на 320 адресов, что соответствует 1-2% дефектных участков среды в модуле. Он используется для каталога плохих страниц модуля (см. п. 1.4).

Во время работы ГЗУ осуществляются коррекция времени экспозиции при записи голограмм, а также контроль и стабилизация положений пучков лазеров при записи и чтении. Необходимость этих процедур обусловлена дрейфом мощности и пространственных положений пучков лазеров. Величина дрейфа, как показывает опыт, доходит до 20—30%, что недопустимо для нормальной работы ГЗУ. Для снижения разброса характеристик голограмм (интенсивность восстановленных изображений, контраст, отношение сигнал/фон и др.) вследствие дрейфа мощности лазера необходимо во время записи поддерживать постоянной энергию экспозиции, равную Pt (P — мощность пучка лазера, t — время экспозиции). В программе периодически измеряется мощность пучка и вычисляется текущее время экспозиции.

С такой же периодичностью с помощью специальных устройств [1, 2] контролируется и корректируется пространственное положение пучков.

Программы контроля и коррекции являются подпрограммами асинхронных системных прерываний от макродиректив MRKT. Периодичность коррекции ~ 1 раз/мин.

1.4. *Ведение каталога плохих страниц и протокола записи.* Каталог плохих страниц создается в модуле после записи всех данных; он содержит номер модуля и адреса, которые должны быть исключены при чте-

нии модуля. Для каталога выделена нулевая дорожка нулевого блока (см. рис. 1), и если массив адресов плохих страниц удается записать (здесь также могут быть дефектные участки среды), то модуль считается «закрытым».

На дорожке каталога учет плохих страниц не проводится, а делается попытка записи по следующему адресу. Если, однако, несмотря на 5-кратную избыточность дорожки по отношению к наибольшему массиву плохих страниц, разместить его не удается, то в системе фиксируется состояние «модуль закрыть невозможно».

В процессе записи необходимо учитывать еще одно возможное состояние модуля, обусловленное тем, что в большинстве случаев его не удается сразу записать полностью. Модуль может содержать около 30 000 голограмм, время записи которых не менее 8 ч. Поэтому запись приходится вести по частям, отдельными подмассивами. Если запись прерывается, но будет еще продолжена, то «модуль не закрыт», так как каталог плохих страниц можно писать только в конце.

Последнее состояние модуля в самом модуле зафиксировать невозможно, поскольку в ГЗУ используется неоперативная фотосреда. В системе ведется дополнительный малый каталог на диске, содержащий следующие данные: номер модуля, указатель состояния модуля (0 — модуль закрыт, запись закончена; 1 — модуль не закрыт, запись будет продолжена; 2 — модуль не закрыт, запись закончена), число плохих страниц, массив адресов плохих страниц. Когда запись продолжается, текущие данные о модуле берутся из каталога на диске и передаются программе для дальнейшего ведения счетчика и массива плохих страниц.

По окончании записи заданного массива (подмассива) выводится протокол записи, в котором указываются номер модуля, дата, адрес и размеры массива, шаг записи, данные D1, D2, D3, D4 страницы, параметры записи для транспаранта — формирователя страниц, энергия экспозиции, число плохих блоков и их адреса. Если в модуле записан каталог, то в протоколе содержатся сведения о закрытии модуля.

1.5. *Средства визуализации данных, вывода и учета ошибок.* Для визуализации содержимого читаемых страниц используются терминал и ТВ-монитор, на которых страницы могут отображаться в виде восьмеричных чисел и двумерной битовой картины. При этом возможны 4 следующих режима чтения.

В наиболее простом и быстром режиме 0, предназначенном для настройки и юстировки узлов ГЗУ, чтение выполняется без контроля ошибок. Страница отображается на ТВ-мониторе и может быть распечатана на терминале. После такой визуальной настройки вводятся другие режимы с контролем правильности чтения.

В режиме 1 проводятся контроль и коррекция одиночных ошибок в каждой строке страницы (см. п. 1.2), а также диагностика двойных ошибок.

При возникновении двойной ошибки на терминал выводится сообщение вида: адрес (номер модуля, блока, дорожки, страницы, строки) и содержимое информационной строки вместе с ее контрольным байтом. Страница отображается на ТВ-мониторе.

Накопление данных об одиночных и двойных ошибках осуществляется при работе в режиме 2. Сведения о количестве ошибок и числе проходов заданного массива выдаются на терминал по запросу CTRL/E.

Наконец, в режиме 3 чтение модуля идет с учетом каталога его плохих страниц. Каталог читается перед чтением массива, плохие страницы пропускаются; контроль и диагностика ошибок выполняются, как в режиме 1.

Работа во всех режимах продолжается в цикле до прерывания с клавиатуры терминала вводом символа CTRL/D.

Функциональная структура рассмотренных программных средств показана на рис. 2, где *1* — управляющие программы RSX11M; *2* — программы ввода с терминала данных и параметров записи/чтения; *3* — про-

граммы записи/чтения; *4* — программы ведения каталога модуля на диске; *5* — программы вывода протокола записи; *6* — программы сканирования массива данных и каталога (в модуле); *7* — программы выборки страниц; *8* — программы генерации страниц, кодирования, контроля и коррекции; *9* — программы вывода страниц на транспарант и ввода с фотоматрицы; *10* — программы визуализации и учета ошибок; *11* — программы вывода ошибок; *12* — программы коррекции экспозиции и стабилизации положения пучков лазеров; *13* — программы контроля среды носителя и ведения массива плохих страниц.

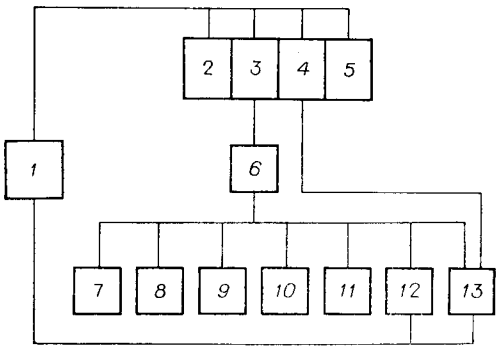

Рис. 2.

Программы *2—5* написаны на ФОРТРАНе, остальные — на Макроассемблере.

2. Программные средства для отладки и тестирования элементов и подсистем ГЗУ. Для отладки и проверки отдельных электронных (оптико-электронных) модулей ГЗУ и подсистем на их основе создано тестовое программное обеспечение. Тест-программы охватывают все основные устройства ГЗУ. По своей структуре они идентичны: каждая из тест-программ состоит из двух частей — головной и исполняющей. Головная часть обеспечивает ввод и интерпретацию данных, а исполняющая — реализует процедуры тестирования и выводит их результаты.

Возможны два вида подтестов — статические подтесты, проверяющие регистры модулей, буферные ЗУ, декодирование КАМАК-функций, и подтесты функционирования, выполняющие последовательности рабочих команд модулей.

Головные программы у всех тестов идентичны. В ответ на запрос «NN подтестов?» необходимо указать их номера (можно получить подсказку, введя вопросительный знак); по умолчанию будут исполнены все подтесты данного теста. Для выполнения подтестов функционирования, как правило, требуются дополнительные данные, которые можно получить с диска, указав имя файла, или ввести с терминала, указав «TT», в последующем диалоге. Программа в этом случае обеспечивает три достаточных для проверки функционирования модулей типа диалога: ввод констант, задание итераций по переменной (начальное значение, шаг, конечное значение) и задание строки из четырех 16-разрядных слов.

Имеются восемь тестовых программ, предназначенных для отладки и проверки в отдельности модулей управления шаговыми двигателями, блоков управления жидкокристаллическим управляемым транспарантом, фотоматрицей, электромеханическими устройствами выборки, фотозатвором, дефлектором, а также для подсистем записи/чтения данных. Программы написаны на ФОРТРАНе и Макроассемблере.

Все рассмотренные программные средства используются для исследований работы ГЗУ и его элементов. Они будут развиваться и модифицироваться в процессе опытной эксплуатации ГЗУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Блок А. А. и др.** Устройство автоматической записи матриц голограмм цифровых данных.— Автометрия, 1984, № 3.
2. **Ванюшев Б. В. и др.** Устройство хранения и считывания цифровых данных в голографической системе архивной памяти.— Автометрия, 1984, № 3.
3. **Мантуш Т. Н., Тарасов А. В.** Управляющая система для экспериментальных исследований ГЗУ.— Автометрия, 1976, № 6.
4. **Мантуш Т. Н.** Использование интерпретатора BASIC M400 в системе автоматизации исследований голографической памяти.— Автометрия, 1979, № 1.

5. **Чернышев Л. Ф.** Программирование экспериментальных исследований оптико-электронных систем с использованием концепций *Р*-технологии.— В кн.: *Р*-технология программирования и средства ее инструментальной поддержки задач. Киев: ИК АН УССР, 1982.
6. **Харкевич А. А.** Борьба с помехами.— М.: Госфизматиздат, 1963.
7. **Питерсон У., Уэлдон Э.** Коды, исправляющие ошибки.— М.: Мир, 1976.

Поступила в редакцию 16 января 1984 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ СЧИТЫВАНИЯ ДАННЫХ В ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ЗУ

В последнее время создано несколько экспериментальных образцов голографических ЗУ (ГЗУ) [1—4]. Испытания этих устройств выявили недостаточную степень надежности их работы и, в частности, низкую достоверность фотосчитывания. Причины такого положения заключаются главным образом в несовершенстве элементной базы ГЗУ и в недостаточном внимании разработчиков к вопросам надежности работы этих устройств.

Цель настоящей статьи — изложить результаты экспериментальных исследований достоверности фотосчитывания, полученные в ходе испытаний опытного образца архивного ГЗУ [4]. Выполненная работа была направлена на получение статистических данных о характере и частоте ошибок считывания; на исследование зависимости достоверности фотосчитывания от характеристик и режима работы фотоматрицы, качества восстановленных изображений, аберраций оптики, дефектов голограмм; на оценку эффективности методов и устройств повышения достоверности фотосчитывания данных.

Аппаратура и методика эксперимента. Экспериментальные исследования по фотосчитыванию проводились на устройствах [3, 4], содержащих автоматизированные накопители модулей памяти, оптические и электронные системы считывания данных [5, 6]. Управление работой этих устройств осуществлялось от ЭВМ СМ-4, при этом обеспечивались автоматическая адресная выборка модулей памяти из накопителя, выборка заданной голограммы (или подмассива голограмм) из модуля, считывание и ввод данных в ЭВМ, контроль, диагностика и отображение результатов считывания [7].

Эксперименты по фотосчитыванию проводились в несколько этапов. Вначале с помощью фотоматричной измерительной системы (ФМИС) [8] были исследованы характеристики фотоматрицы МФ-14. Измерения показали, что среднее значение и относительное среднеквадратическое отклонение темнового тока используемой нами фотоматрицы соответственно равны 550 мкА и 3%, средняя крутизна фотоэлектрических характеристик $\sim 7 \cdot 10^7$ А/Дж, а разброс этих характеристик незначителен. Модули памяти (матрицы голограмм размерностью 32×32 и более) предварительно просматривались под микроскопом с целью выявления дефектных голограмм. В среднем их наблюдалось $\sim 1 \div 2\%$ от общего количества голограмм. Далее проводилось измерение статистических характеристик восстановленных изображений с учетом шумов оптического канала считывания (шумы рассеяния, аберрации считывающего пучка,