

Г. А. ВОСКОБОЙНИК, И. С. ГИБИН,  
Е. С. НЕЖЕВЕНКО, П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ  
(Новосибирск)

### ПРИМЕНЕНИЕ КОГЕРЕНТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА

Автоматизированные системы, предназначенные для накопления, хранения и поиска информации, получили название информационных поисковых систем (ИПС). Поиск информации в ИПС осуществляется по запросу, составляемому из кодированных графических, буквенных числовых и других признаков. Содержимое запроса сравнивается (в определенном смысле) с содержимым памяти ИПС, после чего оператору выдается либо интересующая его информация, либо ее адрес.

Из содержания задачи информационного поиска вытекает, что ИПС должны располагать большим объемом памяти и обеспечивать быстродействующий поиск информации по одному или нескольким признакам. Поэтому ее решение наиболее часто производится с помощью ЭЦВМ. Однако эксплуатация ИПС на базе ЭЦВМ не всегда экономически оправдана и требует больших затрат времени на числовое кодирование, ввод и обработку информации в тех распространенных случаях, когда в запрос входят признаки-изображения. Эти обстоятельства заставляют искать иные варианты технической реализации ИПС.

В этой связи внимание привлекают оптические варианты ИПС и особенно такие из них, которые основаны на использовании когерентных оптических вычислительных устройств (КОВУ). По сравнению с некогерентными вариантами оптических устройств они обладают существенными преимуществами, такими, как возможность предварительной обработки изображений; повышенная помехоустойчивость, обеспечиваемая голографическим способом хранения информации; возможность вычисления различных функционалов от функций, описывающих запрос и информацию, хранящуюся в памяти; простота одновременного раздельного поиска информации по нескольким признакам и т. д.

Принципиальная схема ИПС с применением элементов КОВУ изображена на рис. 1. На нем указаны: источник когерентного света 1; коллиматор 2; транспарант 3, содержащий запрос в виде составного изображения; объектив 4, с помощью которого в плоскости голограммы получается спектр входного изображения; пластинки 5 с голограммами (постоянная память); объектив 6 и фотоэлектрический считывающий блок 7. В качестве источника когерентного света могут применяться непрерыв-

ные или импульсные лазеры. Коллиматор расширяет лазерный пучок, формируя плоский волновой фронт.

Содержимое запроса вводится в ИПС путем пространственной модуляции когерентной световой волны. С целью повышения точности сравнения и снижения требований к считывающему блоку изображение во входной плоскости может устанавливаться по ориентации и сдвигу в фиксированной системе координат.

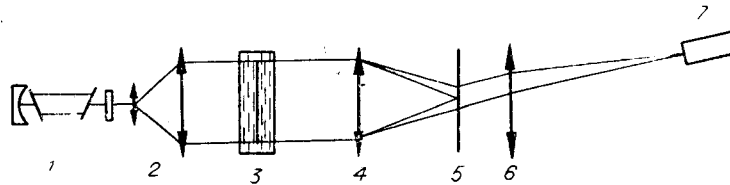


Рис. 1.

Признаки-изображения могут быть заданы в полутоновом или двухградационном виде. Если же признаком является функция одной переменной, то его целесообразно представить в виде контурного или силуэтного изображения. При этом влияние нелинейной характеристики материала, из которого изготавливается транспарант, может быть существенно уменьшено. Для задания числовых признаков целесообразно использовать прямые или косвенные маски, причем для повышения точности сравнения число на транспаранте лучше приводить в коде, обратном к тому, в котором производилась запись чисел в память.

Основной операцией при информационном поиске является операция вычисления функции взаимной корреляции изображений. Пусть  $F(x, y)$  и  $\Phi_m(x, y)$ ,  $m=1, 2, \dots, M$  — функции амплитудного пропускания соответственно изображения на транспаранте и изображений, находящихся в памяти. Тогда изготовление постоянной памяти и работа ИПС (рис. 1) может проходить различными способами.

1. Если  $M$  изображений одновременно или последовательно записать на голограмму, то при предъявлении запроса на входе считывающего блока 7 получим световое распределение, эквивалентное  $M$  функциям взаимной корреляции. Очевидно, что при большом  $M$  уровень выходного сигнала будет чрезвычайно низким. Кроме значительного повышения требований к фотоэлектрическим преобразователям, в этом случае возникают трудности обработки светового распределения с целью извлечения информации о близости  $F(x, y)$  и  $\Phi_m(x, y)$ . Затруднено также проведение поиска по нескольким признакам.

2. Каждое из  $M$  изображений записано в памяти на отдельной голограмме. Тогда вычисление функций взаимной корреляции производится последовательно либо путем перемещения пластинки 5, либо за счет двухкоординатного отклонения пучка, несущего информацию о запросе. Ясно, что в этом случае можно получить выходной сигнал с хорошим отношением сигнал/шум для каждого из  $M$  изображений. Функции корреляции воспроизводятся в одном и том же месте выходной плоскости, что позволяет использовать для считывания коэффициентов корреляции один фотоприемник. Если же перед фотоприемником разместить маску с заранее определенным законом пропускания, то можно вычислять меры близости изображений, отличные от корреляционной.

Считывающий блок ИПС предназначен для преобразования светового сигнала в электрический, определения мер близости, принятия решения и выдачи по запросу информации (либо ее адреса) в виде, удобном

для использования. При этом фотоэлектрическое преобразование может производиться с помощью фотоэлектронных умножителей, диссекторов, видиконов и др. Адрес голограммы, восстанавливаемой дополнительным пучком, может считываться с помощью линейки фотодиодов или фототранзисторов. Решение о соответствии содержимого запроса и содержимого памяти выносится в ряде случаев путем сравнения найденной

меры близости изображений с пороговым значением, вычисленным заранее.

В Институте автоматки и электрометрии СО АН СССР на основе элементов КОВУ разработаны два варианта ИПС. В первом из них последовательное вычисление функций взаимной корреляции достигалось за счет двухкоординатного перемещения фотопластинки с голограммами. Более совершенным, однако, представляется второй вариант ИПС, схема которой приведена на рис. 2.

В качестве источника света 1 использован гелий-неоновый лазер ЛГ-36А. Коллиматор 2 позволяет получить световой пучок диаметром 80 мм. Запрос вводится с помощью транспаранта, который погружен в иммерсионную ванну 3. С помощью проектора 4 с восьмикратным увеличением транспарант можно выставить во входной плоскости с точностью до  $\pm 0,05$  мм. В заданной фокальной плоскости объектива 5 размещен фильтр 6, позволяющий (при необходимости) проводить фильтрацию шумов входного изображения. Объектив 7 проектирует изображение транспаранта на одно из зеркал дефлектора. Дефлектор представляет собой вращающийся барабан, на поверхности которого размещено 20 зеркал под разными углами к образующей. При вращении барабана происходит отклонение сигнального пучка как по вертикали, так и

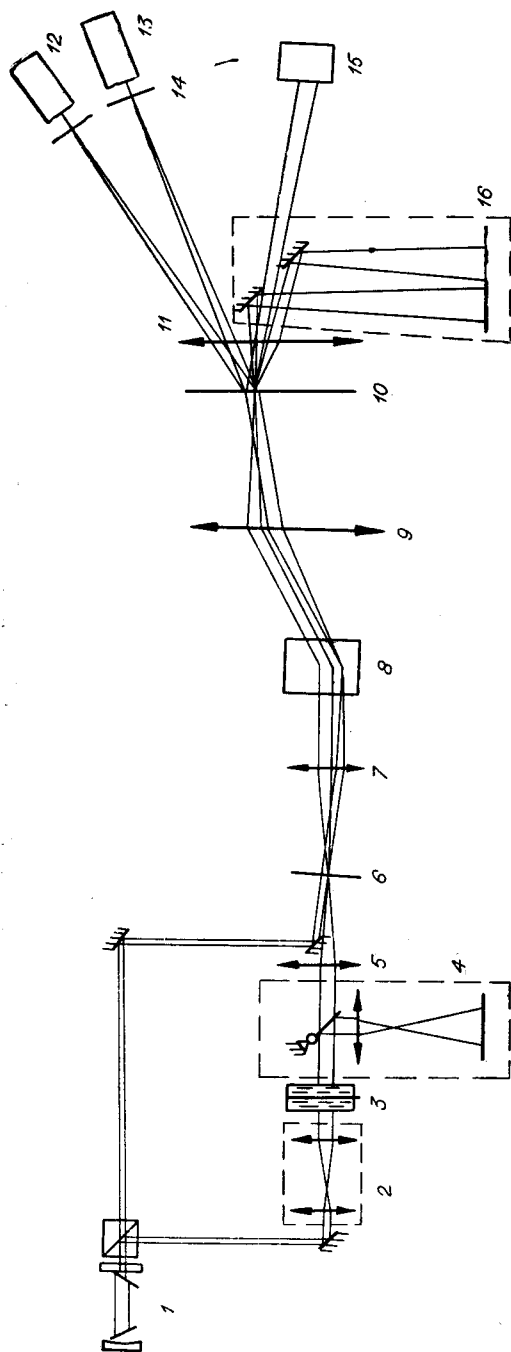


Рис. 2.

ционной расходимости и, следовательно, будут образовывать один и тот же угол с опорным пучком при изготовлении голограммной памяти. Важной характеристикой голограмм является их информационная емкость. Для рассматриваемой системы эта характеристика, выражаемая в числе бит информации, может быть определена по формуле

$$N = \frac{S d^2}{4 m^2 f^2 \lambda^2},$$

где  $S$  — площадь (полезная) на транспаранте;  $d$  — диаметр голограммы;  $m$  — количество регистрируемых порядков спектра наименьшего элемента входного изображения;  $f$  — фокусное расстояние объектива 9;  $\lambda$  — длина волны светового излучения. Очевидно, что при определении информационной емкости голограммной памяти число  $N$  необходимо умножить на количество голограмм, размещенных на фотопластинке заданного размера.

Сигнальный пучок, прошедший через ту или иную голограмму, преобразуется объективом 11 и попадает на фотоприемник 13, перед которым размещена маска 14, с помощью которой вычисляется требуемая мера близости. Процесс считывания мер близости синхронизируется сигналом с выхода фотоприемника 12. Этот сигнал в момент считывания максимален и пропорционален коэффициенту корреляции одинаковых изображений-меток, одна из которых регистрируется на каждой из голограмм памяти, а другая — содержится во входном изображении.

В рассматриваемом варианте ИПС имеется также дополнительный канал. Он предназначен для восстановления информации, содержащейся в той или иной голограмме. Часть этой информации визуализируется на экране 16, а адрес голограммы считывается многоэлементным фотоприемником 15. Сигнал с выхода фотоприемника 13 подается на пороговое устройство (на рис. 2 не показано). Если уровень этого сигнала превышает установленный порог, то адрес голограммы, считываемый фотоприемником 15, переносится на световое табло.

Приведем основные параметры описанного варианта ИПС: длина волны излучения 0,6328 мкм; размер транспаранта 16×60 мм; фокусное расстояние объектива 9—440 мм; размеры фотопластинки голограммной памяти 90×120 мм; разрешение пластины не менее 800 лин/мм; диаметр голограммы 3 мм; максимальное количество голограмм на фотопластинке  $10^3$ ; максимальная емкость одной голограммы  $30 \cdot 10^3$  бит; время смены фото-

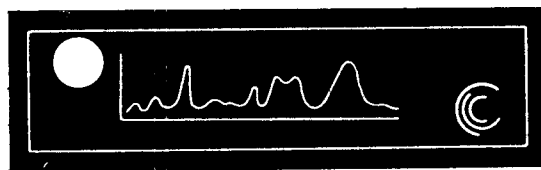


Рис. 3.

пластинки 4—5 с; время информационного поиска в памяти из  $10^3$  голограмм 50 мс; возможен поиск по двум независимым признакам: предусмотрена возможность визуального сравнения изображения запроса и изображения, зарегистрированного в любой из голограмм.

Система разработана с учетом особенностей задачи поиска химических веществ по их спектральным и числовым характеристикам. В этом случае изображение, соответствующее запросу, выглядит так, как пока-

нано на рис. 3 (на рисунке приведено негативное изображение по отношению к действительному). В левой части изображения имеется прозрачный участок. Он предназначен для прохождения светового потока с изображением метки. В центре показано изображение контурной кривой, характеризующей зависимость коэффициента поглощения веществом света от длины волны; в правой части — изображение кода трехразрядного числового признака (температура плавления, удельный вес и т. д.). Число единиц в каждом разряде пропорционально углу поворота соответствующего полукольца.

Таким образом, исходя из быстродействия, информационной емко-

*Поступила в редакцию  
3 сентября 1970 г.*