

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ АВИАЦИОННЫЙ
ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

А. А. Болтянский

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
НА ЭКРАНАХ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ
Т Р У Б О К

*Утверждено редакционно-издательским советом института
в качестве учебного пособия*

Болтянский А. А. *Методы и средства генерации изображений на экранах электронно-лучевых трубок: Учебное пособие.*—Куйбышев: КуАИ, 1986. — 91 с.

В работе рассматриваются вопросы организации систем отображения информации, используемых для автоматизации научных исследований. На основе обобщенной функциональной структуры СОИ проводится анализ важнейших проблем, решение которых позволяет эффективно с помощью ЭВМ визуализировать, преобразовывать и обрабатывать изображения различного вида и формы.

Ил. 62. Библиогр. — 9 назв.

Рецензенты: доц. И. И. Волков, инж. О. А. Зуев

ВВЕДЕНИЕ

Одно из самых замечательных изобретений XX века — системы отображения информации. Они позволяют бесконечно расширить возможности вычислительной техники и установить тот удивительно благоприятный и комфортный режим взаимодействия между ЭВМ и человеком, о котором ранее нельзя было и мечтать. Человек 90% информации об окружающем мире получает с помощью органов зрения. Зрительные образы по богатству, колориту, объему информации невозможно даже приблизительно сравнить ни с одним видом представления, а скорость и эффективность восприятия зрительных образов в 100 и 1000 раз более любых других образов. Такой простейший пример очень ярко демонстрирует мощь зрительного восприятия. Человек среди множества лиц узнает вдруг лицо знакомого, с которым не виделся многие годы. Но существу изменился весь облик бывшего знакомого, но по каким-то ассоциативным, едва уловимым, признакам в памяти вдруг восстанавливается цепь событий, связанных с этим человеком и происходит «чудо узнавания».

Для того, чтобы выполнить подобную процедуру, машина должна совершить несколько миллиардов операций, и все же надежность узнавания будет намного ниже, чем у человека. А ведь акт узнавания, мозг человека совершает практически мгновенно, как бы играючи.

Бесконечные возможности восприятия зрительных образов используются в технике еще очень слабо. Пока все задачи формирования и представления видеобразов на экранах систем отображения решаются лобовым путем, без учета специфики и блестящих перспектив зрительного восприятия. На экраны выводятся относительно простые изображения (тексты, графики, рисунки, картинки), которые конечно же значительно облегчают работу оператора или исследователя, но далеко не в той мере,

в какой это возможно. Многие годы более эффективное использование систем отображения тормозилось уровнем технической базы. Системы отображения информации, призванные формировать, обрабатывать, преобразовывать и визуализировать различные зрительные образы, технически были маломощными и не могли оперативно и достаточно точно оперировать с большими массивами данных. Специальные системы отображения, которые строились с учетом этих требований, оказывались дорогими и малодоступными. В настоящее время положение резко изменилось. Интегральная элементная база, микропроцессорная техника и современные ЭВМ дают возможность конструировать системы отображения для решения любых практических задач. Однако чем совершеннее становится техника, тем более сложные и трудоемкие задачи ставятся на повестку дня, и процесс этот бесконечен.

В данном пособии сделана попытка проанализировать основные проблемы в области применения, оценки и разработки систем отображения, работающих на выходе вычислительных машин, определить специфику задач в этой предметной области и рассмотреть методы и средства их решения.

Построение курса, его структура и содержание отличаются от традиционных построений, характерных для большинства учебников и монографий по системам отображения. Сделан упор на методы, принципы и подходы к решению задач и постановке проблем, а материал справочного характера (описание устройств, их схемы, характеристики и т. д.) лишь иллюстрируют методику. Ограниченный объем пособия объясняет краткость и фрагментарность многих рассматриваемых вопросов, с которыми более детально можно познакомиться на лабораторном практикуме.

Оператор с помощью систем решает следующий комплекс целевых задач:

- наблюдение;
- конструирование изображений;
- контроль за состоянием динамического объекта;
- управление работой объекта;
- исследование изображений;
- преобразование изображений;
- обработка изображений;
- процесс обучения.

Кратко рассмотрим содержание целевых задач.

Наблюдение — получение дополнительной информации, расширение кругозора, эстетическое воспитание, эмоциональные воздействия. Специфика данной целевой задачи — требование максимально точной передачи изображения.

Конструирование изображений — оптимальное по некоторым критериям формирование изображений с помощью ЭВМ из элементов с определенными отношениями между ними. Особенность данной целевой задачи состоит в том, что на основе выделенных и заранее определенных свойств, характеризующих различные отношения между элементами (точками, векторами, образами), по определенной технологии конструируются изображения с заданными параметрами.

Контроль за состоянием динамического объекта — динамический объект представляется оператору в виде динамически изменяющегося образа (модели), параметры которого (размер, форма, яркость, цветность и т. д.) характеризуют его состояние. Этот образ воспринимается оператором, у которого заранее определены нормальные значения этих параметров (допустимые значения). Оператор должен фиксировать выход режима из нормы. Требования: максимальная наглядность, исключение избыточности, простота и надежность восприятия.

Управление работой объекта — контроль за состоянием и дополнительные расширенные возможности оператора по оперативному изменению режимов, параметров и управляющих воздействий. Требования: должны быть обеспечены достаточно точные, простые и надежные средства обратной связи, с помощью которых оператор осуществляет управление работой объекта после принятия решений. Необходим также контроль за выполнением принятых решений.

Исследование изображений — получение числовых и качественных показателей, характеризующих исследуемое изображение, определение важнейших свойств, общая оценка изображения и т. д. (спектральные характеристики, коэффициенты оптической плотности, выделение фрагментов по эталонам, статистические характеристики и т. д.). Исследование изображений тесно связано с целевыми задачами их преобразования и обработки. Специфика данной целевой задачи в том, что должно быть развито мощное алгоритмическое обеспечение с возможностью параметрической настройки алгоритмов и процедур оценки по условиям и требованиям конкретной ситуации.

Преобразование изображений — изменение изображений, не влекущее за собой изменения его сущности и содержания (элементы изображения с признаками и отношениями между ними не меняются — масштабирование, перемещение, поворот, кодирование и т. д.).

Обработка изображений — выполнение различных вычислительных операций с изображениями с целью их упрощения, выделения важнейших свойств, фильтрации, оценки и т. д. Специфика: разнообразие алгоритмов и процедур обработки,

широкий диапазон обрабатываемых параметров, большое число методов и средств обработки. С этим связаны трудности унификации и стандартизации средств обработки, которые возможны лишь для заданного и ограниченного класса задач.

Процесс обучения — препарированное исследование изображения с обоснованием альтернативных вариантов, разложение изображений на элементы и изучение отношений между ними, изучение факторов, влияющих на выбор моделей и способов представления изображений в памяти, исследование методов и средств генерации изображений и т. д.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ

К системам отображения информации относятся очень разнообразные по своим свойствам и назначениям устройства, аппаратные блоки, подсистемы и даже комплексы устройств, начиная от простейших лампочных указателей «свободно-занято», до весьма сложных и дорогих специальных телевизионных аппаратов, радиолокаторов и графических дисплеев.

Системы отображения информации (СОИ) — это аппаратно-программные средства, предназначенные для формирования, обработки и представления оператору всей необходимой информации для решения конкретных задач в том виде, форме и объеме, которые обеспечивают максимально эффективное ее восприятие человеком.

В области разработки и применения систем отображения решаются две основные проблемы:

рациональная организация аппаратно-программных средств со всеми входящими вопросами использования вычислительных устройств и периферийной техники;

проблема эргономики, изучающей методы оптимального восприятия человеком зрительной информации.

Учитывая чрезвычайно широкий диапазон СОИ, следует в первую очередь провести классификацию устройств и систем и определить те из них, которые будут объектом нашего изучения. Среди большого числа классификационных признаков, которые используются для разделения СОИ на классы (системы с трубками и без них, методы управления СОИ, целевое назначение систем и т. д.), наиболее общим и конструктивным подходом является классификация по типу источников входной информации для СОИ. По этому признаку системы отображения достаточно четко делятся на пять классов:

1. Системы дальнего видения, работающие с передающими телевизионными камерами (открытые и кабельные системы).

2. Системы, используемые на выходе вычислительных машин.

3. Системы радиолокационного типа.

4. Системы контроля за сигналами.

5. Системы считывания.

К первому классу СОИ относятся самые распространенные телевизионные устройства открытого вещания и специализированные телевизионные мониторы с передачей изображений по кабельному каналу. Основные особенности этого типа СОИ следующие.

Формирование изображений производится с помощью различных аналоговых преобразователей, которые вначале реальный физический объект преобразуют в некоторую электрическую модель, а затем — электрическую модель в видеонизображение этого объекта.

В такого рода системах устанавливаются жесткие стандарты на все параметры преобразования, передачи и визуализации изображений.

Важнейшими критериями качества СОИ являются надежность и точность воспроизведения объекта на экране.

СОИ этого типа, как правило, работают в режиме реального времени, т. е. воспроизводят изображение реально существующее в данный момент.

Системы второго класса, работающие на выходе вычислительных машин, также обладают существенной спецификой.

Изображения синтезируются электронным путем, т. е. формируются изображения реально не существующие, создаваемые с помощью расчетов, моделирования и конструирования.

Производится синтез изображения на основе цифровой техники, как правило, без аналоговых устройств.

Важнейшей проблемой в системах данного класса является проблема эффективного хранения изображений в памяти ЭВМ и их преобразования.

Системы этого класса призваны обеспечить высокую эффективность взаимодействия человека с ЭВМ и могут существенно повысить возможности вычислительной техники.

Ввиду очень широкого применения систем в самых разных предметных областях встает вопрос об их доступности, невысокой стоимости и простоте эксплуатации.

Системы данного класса, получившие название дисплеи, находятся только в самом начале своего развития. В недалеком будущем должны быть созданы принципиально новые, чрезвычайно эффективные и разнообразные системы, работающие на выходе ЭВМ, которые коренным образом могут изменить орга-

низацию работ в области машинной обработки данных. Для того, чтобы представить перспективы и возможности систем отображения этого класса, необходимо разобраться в проблемах и сложностях, возникающих при создании и применении СОИ.

Третий класс С О И иногда называют *классом систем отображения с преобразованием частоты сигналов*. Все дело в том, что принцип работы радиолокационных систем заключается в измерении частотных характеристик сигнала (эл. магнитной волны), посылаемого к объекту и возвращаемого после отражения от объекта. Частота отраженной электромагнитной волны зависит от скорости объекта, а время движения волны определяет расстояние до него. На радиолокационном экране, имеющем круговую развертку, посылаемая и отраженная волна фиксируется в виде двух всплесков на окружности и все параметры этой волны (время и изменение частоты) автоматически рассчитываются локатором. С О И радиолокационного типа специфичны, имеют довольно узкое применение и не будут рассматриваться в пособии.

Четвертый класс систем отображения включает широко применяемые устройства типа мнемосхем, назначение которых довольно точно отражено в названии — *контроль за сигналами*. На мнемосхеме, например, железных дорог, автомобильных путей изображаются узловые станции, города, места остановок транспорта и фиксируется состояние этих объектов в данный момент времени. Точно так же на мнемосхеме какой-то физической установки изображаются все важные устройства и элементы управления — вентили, краны, задвижки, переключатели и т. д. В каждый момент времени можно наблюдать за состоянием всех элементов установки, которые на мнемосхеме повторяют все происходящие изменения — включения, отключения, движения и т. д.

Мнемосхемы рассматриваются как вполне самостоятельный класс систем со своими особенностями и спецификой. Определенные сведения о строении мнемосхем могут пригодиться при конструировании изображений на экранах электронно-лучевых трубок (ЭЛТ).

Наконец, последний, пятый класс С О И, наиболее простой, включает всевозможные устройства, подсистемы типа расписаний полетов, поездов, путешествий и т. д. Эти вопросы далеки от наших интересов и не будут затрагиваться в курсе.

Подводя итог сказанному выше, отметим, что только один класс С О И будет объектом изучения — это системы на выходе вычислительных машин, все остальные системы и устройства будут упоминаться только в плане их частного применения для решения задач в области вычислительной техники. Так, на-

Пример, системы телевизионного типа с определенными изменениями широко используются на выходе вычислительных машин для синтеза изображений самого разного вида. Некоторые принципы локации также применяются для синтеза изображений, но это лишь частности. Класс интересных нас систем широк и многообразен. Рассмотрим основные направления работ, где активно используются системы этого класса:

обработка и анализ сложных полутоновых и графических изображений с помощью СОИ и вычислительной техники;

машинная графика или изобразительная машинная графика, которая имеет дело с искусственно созданными достаточно сложными графическими объектами, состоящими обычно из линий. Эти изображения конструируются, преобразуются, рассчитываются, визуализируются;

оперативное формирование и преобразование самых различных изображений в виде таблиц, графиков, текстов, рисунков и т. д. для повышения эффективности научных исследований и в системах автоматизированной обработки данных (АСИИ).

Каждое из перечисленных выше направлений характеризуется целым рядом особенностей, определяющих специфику алгоритмического, программного и технического обеспечения, а также диктует особые требования к характеристикам и возможностям СОИ. Особо выделяются в этом отношении СОИ, изменяемые в системах обработки данных.

Если системы обработки изображений и машинной графики являются специализированными, сложными и мощными средствами, все ресурсы которых целиком и полностью отданы для реализации процессов обработки и формирования изображений, то подсистемы отображения в АСИИ решают задачи прикладного характера (важные, но не основные), так что ресурсы ЭВМ, работающих с СОИ, заняты реализацией основных задач обработки данных (вычислительные операции, преобразование и обработка данных, полученных в ходе научного исследования).

В АСИИ особо важными и определяющими требованиями к подсистемам отображения являются гибкость, возможность быстрой и простой перестройки на ту или иную конкретную задачу; невысокая стоимость, простота использования, при которой не требуется высокой профессиональной подготовки в области машинной обработки данных; доступность этих средств для массового применения и ряд других требований. Многие из этих требований противоречивы, и найти оптимальные компромиссные решения можно, лишь хорошо разобравшись в вопросах эффективного построения и применения СОИ в АСИИ.

Необходимо научить самим и научить машину эффективно и рационально хранить информацию об изображениях в своей

памяти, причем кодирование данных об изображении, построение цифровых моделей и структур данных должно учитывать оптимальную последующую обработку кодированных изображений и особые требования к выполнению процедур обработки. Проблем в этой области много, они достаточно сложны, но их анализ облегчается тем, что для любой системы отображения можно построить простую обобщающую функциональную схему, на основе которой легко систематизировать и упорядочить все проблемы в этой области, указать факторы, влияющие на их решение и примерно оценить сложность и трудоемкость возникающих задач. Описание и анализ такой обобщающей функциональной схемы приводится в следующем разделе.

2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОИ

Требования к СОИ формируют, исходя из условий решаемых задач, особенностей отображаемой информации и общего предназначения систем. По данным зарубежной печати [1] наиболее важные факторы, определяющие эффективность СОИ, выражаются следующим уравнением:

$$P = f(O, M, T, E, I, D, K),$$

- где O — характеристика оператора,
- M — способ формирования изображений,
- T — задачи, решаемые оператором,
- E — внешние условия,
- I — тип информации,
- D — важность информации,
- K — требования к точности воспроизведения.

Все факторы условно разделяются на три группы:

технические, характеризующие СОИ, средства и методы отображения;

информационные, отражающие характер перерабатываемой информации, статическую сложность, тип, поток и значимость отображаемых данных;

психологические, учитывающие особенности восприятия зрительной информации оператором.

Важными показателями эффективности являются время, наглядность, полнота, светотехнические характеристики, гибкость, простота эксплуатации, стоимость и доступность, надежность, точность. В системах с вызовом или автоматической выдачей результатов по мере решений задачи на ЭВМ время вызова (времени выдачи данных) должно быть менее 0,5 с.

Время вызова — это интервал от момента запроса до появления на экране видимого изображения. Оно зависит от

выбранного способа формирования изображения, от скорости воспроизведения элементов и фрагментов, времени стирания ранее показанного изображения. До настоящего времени далеко не все системы обеспечивают необходимое быстродействие, особенно при формировании и отображении графических, сложных контурных и цветных изображений.

Фактор наглядности определяется видом, формой, содержанием, объемом и светотехническими характеристиками СОВ. Четкое, сфокусированное изображение, высокий контраст и яркость, выделение важнейшей информации, отделение разными способами (цветом, мельканием, контурным обозначением и т. д.) фрагментов изображения, продуманность надписей и пояснений — вот основные возможности повышения наглядности представляемой информации.

Полнота отображения данных в определенной мере зависит от информационного объема экрана, его светотехнических характеристик и от важности и сложности решаемых задач. Хороший современный дисплей (формат экрана 512×512 или 1024×1024 элементов) обеспечивает формирование достаточно объемных и сложных изображений. Вопросы компоновки данных, их полноты и важности зависят от структуры изображения, продуманности размещения изображения на экране и последовательности его представления.

Светотехнические характеристики определяются двумя классами параметров — фотометрическими и нефотометрическими. К первому классу относятся параметры, характеризующие количественные потоки излучения: яркость, контрастность, цветность, насыщенность, тональность.

Яркость, по упрощенному определению [2], характеризует интенсивность свечения экрана любого дисплея. *Психологическую яркость* (которая часто смешивается с первой характеристикой) правильнее отнести к свойствам восприятия.

Контрастность — отношение яркости фона и яркости изображения.

Освещенность — плотность светового потока, падающего на единицу поверхности экрана.

Официальная единица яркости — кандела на квадратный метр. Освещенность измеряется в люксах (лк). К нефотометрическим характеристикам относятся следующие. *Разрешающая способность* определяется размером наименьшей различимой или измеренной детали изображения и характеризуется числом деталей на единицу длины или площади (первое — чаще).

Мелькание — восприятие изменяющегося уровня яркости. Этот фактор оказывает существенное влияние на качество

восприятия. Мелькание даже при очень малых диапазонах вызывает сильное раздражение у оператора. При частоте регенерации выше 25 Гц мельканье становится неощутимым.

Четкость — это возможность точного распознавания элементов и фрагментов изображения.

Цвет может кодировать информацию и значительно повышает эстетические, эргономические характеристики восприятия.

Размер символьных изображений определяет минимальную величину символа при условии его надежного опознавания. Этот параметр связан с разрешением дисплея, яркостью и контрастом и измеряется в минутах. Так, если используется предел разрешения 1 мин (угол наблюдения минимально распознаваемого элемента), то размер знака должен быть равен 7 мин.

Ниже приведена спецификация системы отображения, полученная в результате анализа требований к СОИ на ЭЛТ. Характеристики и параметры СОИ определяли, исходя из характеристик зрительного восприятия и опознавания, и любой дисплей, отвечающий таким требованиям, будет эффективен настолько, насколько это вообще возможно для данного типа дисплеев. Данные таблицы взяты из работы [1].

Требования к системам отображения на ЭЛТ

Окружающая освещенность:	
вертикально к столу	минимум 500 лкс
горизонтально к столу	минимум 300 лкс
Яркость данных	минимум 50 кд/м ²
Коэффициент контраста	5 : 1 (не менее)
Размер экрана	30×24
Высота символа	минимум 5 мм
Набор символов	не менее 64—128
Формат символа	5×7 (8×8)
Количество строк кадра	25 (4 цвета); 32 (черно-белые)
Количество символов на строку	64...72
Плотность символов	от 1600 (4 цвета) до 2048 (черно-белый)
Мелькание — частота регенерации	50 Гц

3. ОБОБЩЕННАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СОИ

3.1. БЛОКИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Любая система отображения независимо от того, на каком принципе построена, какие изображения формирует и какие имеет характеристики, может быть представлена в виде

обобщенной функциональной схемы (рис. 3.1.). Несмотря на простоту (всего 6 блоков), обобщенная схема наглядно отражает функциональную структуру систем отображения и помогает выделить основные факторы, влияющие на построение, организацию и характеристики СОИ.

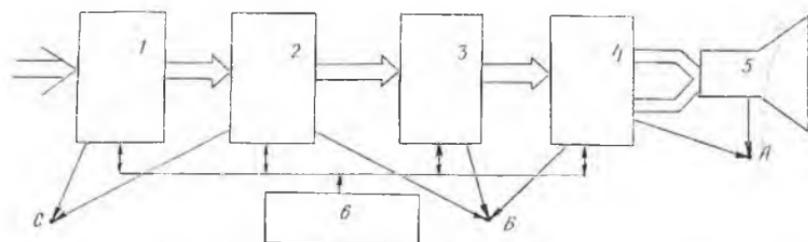


Рис. 3.1. Обобщенная функциональная схема СОИ: 1 — блок приема данных (БПД); 2 — генератор дисплейного файла (ГДФ); 3 — память дисплейного файла (ПДФ); 4 — генератор элементов изображения (ГЭИ); 5 — блок визуализации (БВ); 6 — подсистема управления СОИ (ПУ)

Начнем рассмотрение с оконечного блока визуализации, назначение которого — создание на экране СОИ видсодела изображения.

В качестве блоков визуализации в большинстве СОИ используются ЭЛТ самых разных конструкций и назначений. ЭЛТ — наиболее универсальное, совершенное по своим характеристикам устройство индикации, получило в настоящее время преимущественное распространение. Вместе с тем, использование ЭЛТ связано с рядом неудобств — большие размеры, недолговечность, большая потребляемая мощность и др. Поэтому ведутся интенсивные поиски других средств преобразования кодовой информации в форму, удобную для восприятия. Достигнуты определенные успехи в области создания устройств с твердотельными экранами и табло (электролюминесцентные, светодиодные, плазменные, лазерные). Однако пока их характеристики уступают ЭЛТ по многим показателям. Электролюминесцентные, светодиодные устройства имеют недостаточную разрешающую способность, невысокие светотехнические характеристики, недолговечны и пока нашли применение только в СОИ символьного типа специального назначения. Лазерные устройства, имеющие в будущем хорошие перспективы, в настоящее время относительно сложны, требуют высокого уровня обслуживания, имеют низкий КПД и в ближайшие годы не могут быть внедрены в СОИ.

Авторы работы [3], анализируя современное состояние разработок средств индикации, приходят к заключению, что в об-

ласти СОВ ЭЛТ будут доминировать всецело еще по крайней мере 20 лет. Изобретение голографии (1948 г.) и практическое создание первой голографической установки (1962 г.) поставили по-новому вопрос получения изображений по данным, обрабатываемым с помощью ЭВМ. Однако после первого восторга разработчики столкнулись с большими трудностями, связанными с восстановлением по голограмме воспроизводимой объемной картины и, главное, с проблемой расчета огромных информационных массивов. В ближайшие годы голографические установки не смогут конкурировать с другими устройствами воспроизведения изображений. Кроме того, для голографии несвойственно одновременное отображение большого числа объектов, что характерно для СОВ, работающих на выходе ЭВМ.

Конструкция ЭЛТ, их возможность и характеристики определяются, с одной стороны, физическим принципом действия ЭЛТ, с другой — методами формирования изображений и требованиями к качеству формируемых изображений. Из большого числа существующих методов получения изображений можно выделить основные, наиболее распространенные и перспективные: функциональный, растровый, дискретный, функционально-растровый, голографический.

3.2. ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Модель изображения, которая генерируется ЭВМ, может быть только дискретной (машина оперирует кодами). Для того, чтобы машина имела возможность синтезировать и обрабатывать изображение, его необходимо разбить на конечное множество дискретных элементов (точек, векторов, символов, знаков, фрагментов), а каждый элемент представить множеством признаков, задаваемых количественно, с помощью кодов. Так, например, признаками точки являются яркость, цветность, координаты расположения на экране. Вектор кодируется двумя точками и т. д. Коды признаков элементов хранятся в памяти. Генератор элементов, принимая на вход закодированные признаки элемента, должен сформировать на выходе электрические сигналы определенной амплитуды, длительности и формы, которые с помощью ЭЛТ воспроизведут на экране изображение элемента с данными признаками.

Генератор элемента включает в себя различные цифроаналоговые преобразователи, согласующие устройства, логические блоки и т. д. и реализуется всегда в виде аппаратного блока. Это связано с тем, что скорость работы генератора должна быть очень высокой (десятки мегагерц), и потому никакие программные средства, даже самые быстродействующие, не могут обеспечить этих требований.

Простой расчет показывает, какое время отводится генератору на формирование выходного сигнала элемента.

В большинстве случаев изображение, сформированное ЭЛТ с помощью электрических сигналов, сохраняется на экране 10—15мс, и если периодически не повторять процесс визуализации, то человеческий глаз это изображение не увидит. Поэтому с частотой 50 Гц (частота выбрана по техническим соображениям) генератор элемента должен последовательно повторять формирование всего изображения, состоящего из 200 000 и более точек. Это означает, что за 20 мс генерируются сигналы 200 000 точек и на каждый элемент приходится менее десятой доли микросекунды. За это время необходимо принять код признака, преобразовать его и сформировать выходной сигнал. Ни один программный генератор не способен работать с такой скоростью.

Аппаратный генератор элементов, работающий в составе любой СОИ, строится с учетом следующих основных факторов:

- метода формирования изображений;

- способа представления всего изображения через элементы (одно и то же изображение можно представить самыми разными способами);

- метода кодирования элементов в памяти;

- характеристик блока визуализации.

Изучение технического обеспечения СОИ сводится в основном к анализу устройств, блоков, модулей, комплексов средств, реализующих генераторы элементов и управление блоками визуализации. Кроме того, к техническим средствам относятся стандартные и специальные ЗУ, блоки управления СОИ, блоки питания, блоки приема данных.

3.3. ПАМЯТЬ ДИСПЛЕЙНОГО ФАЙЛА И МЕТОДЫ КОДИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Генераторы элементов и фрагментов изображения являются специфичными устройствами, характерными для СОИ. Для того, чтобы с помощью таких генераторов синтезировать все изображение, которое может состоять из множества отдельных элементов, на их вход необходимо подавать в определенной последовательности с определенной скоростью признаки отдельных элементов или фрагментов. Эту процедуру, по идее, должен выполнять некоторый генератор кодированного изображения, который в режиме реального времени формирует коды признаков элементов изображения по их цифровой или другой модели. Анализируя требования к генераторам подобного рода, приходим к выводу, что их быстродействие должно соответствовать скорости генератора элементов (режим реального времени), но при этом они должны обладать чрезвычайной гибкостью и воз-

16

возможностями перестройки при переходе от формирования одного изображения к другому. Последнее требование возможно обеспечить только программными средствами, а первое — только аппаратными. Соответственно совмещение этих требований создает неразрешимую проблему при построении генераторов кодированных изображений. Именно это обстоятельство диктует другой подход к организации СОИ с учетом характеристик современной элементной базы.

Генерацию кодированного изображения осуществляют в другом временном режиме, который в сотни и тысячи раз продолжительнее, чем это необходимо для работы с генераторами элементов. Для этого кодированное изображение вначале записывают в специальную память СОИ (или стандартную память ОЗУ), а затем хранящую информацию считывают с необходимой для генератора элементов скоростью.

Память, в которой хранится кодированное изображение, называют *памятью дисплейного файла*, а само кодированное изображение соответственно *дисплейным файлом* (ДФ).

Разделение во времени этапов генерации кодированной модели и ее визуализации позволяет существенно упростить разработку СОИ и применять более дешевые и доступные технические средства для их реализации.

Считывание информации из памяти дисплейного файла проводится в режиме высокой частоты (10—20 МГц), а формирование ДФ реализуется в режиме 50 Гц и менее.

Возможности СОИ, характеристики и область применения в основном определяются методами кодирования ДФ, объемом и структурой памяти ДФ, средствами, с помощью которых генерируется дисплейный файл. Для каждого класса изображения, для каждого класса задач по обработке и преобразованию изображений можно построить ДФ и выбрать соответствующий метод кодирования, который в наибольшей степени помогает эффективно решать поставленную задачу.

Рациональный выбор метода кодирования в зависимости от вида изображения и процедур его обработки является наиболее актуальной проблемой при разработке и применении СОИ.

3.4. ГЕНЕРАТОРЫ ДИСПЛЕЙНОГО ФАЙЛА, ИХ ПОСТРОЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Как отмечалось ранее, генератор дисплейного файла (ГДФ) должен обладать очень высокой гибкостью, так как задачи по формированию и обработке изображений разнообразны и разнохарактерны. Роль ГДФ выполняет дисплейный процессор, который включает в себя арифметическое логическое устройство (АЛУ), ряд устройств оперативной и сверхоператив-

ной памяти, ряд преобразователей информации и другие средства. Генерирование дисплейного файла производится в основном программным путем, но в настоящее время с появлением микропроцессорных средств многие процедуры и операции, составляющие процесс генерации, могут быть выполнены и реализованы аппаратным методом или на основе микропрограммного управления.

Построение ГДФ, их возможности и характеристики, алгоритмы формирования ДФ, программные и аппаратные средства реализации генераторов и разделение функций между ними во многом зависят от методов кодирования, конкретных условий и требований реальных задач, существующих технических и вычислительных средств.

Возможности дисплейного процессора, его структура, гибкость, точность, быстрдействие и надежность практически определяют возможности и характеристики СОИ. Все проблемы технического обеспечения СОИ на современном этапе можно считать решенными на высоком уровне совершенства. Однако в области разработки дисплейных процессоров остается еще множество сложных проблем.

3.5. БЛОКИ ПРИЕМА И ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ ДЛЯ ГДФ

Информация об изображении, поступающая на вход СОИ, может иметь самый разный вид: аналоговые или импульсные сигналы, специальные цифровые коды, сочетания сигналов и кодов, изменяющиеся во времени электрические параметры (сопротивления, емкости, индуктивность) и т. д. Каждый из перечисленных видов сигналов должен быть принят, преобразован в соответствующую форму, приведен к нормированному виду. Эту функцию подготовки входных данных осуществляет специальный блок, который на вход ГДФ должен выдать нормированный и соответствующим образом организованный входной массив целых, вещественных, литерных или других значений.

В состав блока подготовки данных включены, как правило, различные аналого-цифровые, логические устройства, ЗУ, блоки преобразования и многие другие устройства. Развитые средства подготовки данных значительно упрощают пользование СОИ, снимают с пользователя заботу о согласовании СОИ с объектами исследования, существенно повышают уровень автоматизации научных исследований.

В последних работах по системам отображения данных появилась новая терминология — сечения S , на которые рассчитаны средства отображения /3/. Выделяются 4 основных сечения — физический параметр, электрический параметр, электри-

ческий сигнал, цифровой код. Если СОИ рассчитывается на все сечения, это означает, что в его состав включены многочисленные средства преобразования, измерения и нормирования данных, которые можно гибко и оперативно менять в зависимости от условий конкретной задачи. В этом случае система отображения становится удобным средством автоматизации научного эксперимента на всех его этапах — связь с объектом, связь с операторами, преобразование и обработка данных, управление и т. д. Считается, что в недалеком будущем развитие СОИ, работающих на выходе ЭВМ, пойдет по пути совершенствования не только средств отображения, но и включения в их состав самых разнообразных средств подготовки данных.

3.6. БЛОКИ УПРАВЛЕНИЯ СОИ

Взаимодействие человека с ЭВМ с помощью СОИ удобнее и чаще всего осуществляется в режиме диалога. В процессе диалога производится ввод информации в систему, запрос информации и получение ответа, контроль за функционированием системы, задание команд и параметров, работа с архивами данных и другие операции и процедуры. Все эти функции выполняются под контролем подсистемы управления дисплеем, которая, кроме того, обеспечивает информационный обмен данными между отдельными функциональными блоками СОИ и функционирование каждого блока.

В СОИ можно вводить информацию, представленную в виде текста, таблиц, рисунков, графиков, схем. Процедура ввода, как правило, выполняется в два этапа: вначале оператор вводит данные в буферное ЗУ, проверяя правильность ввода по изображению на экране и исправляя ошибки, и затем дает команду на передачу информации в систему для ее исполнения. Как отмечалось ранее, ввод данных может производиться непосредственно с объекта через измерительные и преобразующие устройства с разных сечений и в различном режиме. И в этом случае процесс ввода осуществляется под контролем оператора, которому представляется нужная информация о ходе процесса.

Разные дисплеи имеют разнообразные устройства ввода, ориентированные на определенный вид вводимой информации. Алфавитно-цифровая информация проще всего вводится с помощью клавиатур, имеющих набор стандартных литерных и специальных управляющих клавиш.

Для ввода графической информации необходимо иметь средства передачи в ЭВМ или буферные ЗУ СОИ данных в виде геометрических, топологических моделей, а также множеств цифровых данных с определенными отношениями между ними. К устройствам ввода относятся средства трех классов:

клавишные панели;

устройства ввода на основе прямого контакта с поверхностью ЭЛТ;

ввод с помощью подвижных приспособлений.

Клавишные устройства являются электромеханическими приспособлениями. Входные сигналы клавишных устройств в большинстве случаев соответствуют коду *ASCII*, и любая система отображения строится с расчетом приема и обработки литер этого набора. Перечислим другие методы ввода графической информации: световое перо, планшет для ввода данных, сенсорная панель, записывающий шар (джойстик), рукоятка управления, перемещающийся физический маркер (мышь). В лабораторном комплексе, разработанном на кафедре АСУ КуАИ, используется световой карандаш (пли, точнее, световой указатель), позволяющий вводить в систему сложные функциональные команды при нажатии на световые кнопки клавиатуры, выводимые на экран *TV*-дисплея. Содержательные надписи к кнопкам обеспечивают взаимодействие оператора с ЭВМ на языке той предметной области, к которой относится проводимое исследование.

Алгоритм действия оператора, работающего с СОИ, определяется правилами и инструкциями, которые зависят от типа СОИ, математического обеспечения (системного), математического обеспечения (прикладного), а также от конкретных условий и требований системы управления.

Описанная выше функциональная обобщенная структура СОИ позволяет выделить функциональный базис систем отображения информации, т. е. набор тех процессов, которые составляют основу функционирования СОИ.

Анализ и изучение систем отображения через призму базисных процессов значительно упрощает восприятие материала, так как появляется возможность на необходимом уровне абстракции акцентировать внимание на важнейших проблемах построения, применения и оценки СОИ, оставляя в стороне множество менее значимых вопросов (разбор существующих готовых систем, принципиальные схемы известных устройств, описание готового программного обеспечения и другие справочные материалы).

В большинстве учебников и монографий по системам отображения информации /1, 3, 5—8/ сделан акцент именно на разборе технических и программных средств существующих дисплеев, а не на анализе проблемных задач в этой предметной области. Обилие схем, характеристик, программ, описаний затрудняют понимание того, что является главным и что второстепенным, какие проблемные задачи стоят перед разработчиками и пользователями терминальных систем, как повысить эффективность, как оценить качество дисплеев, используемых для решения кон-

кретных задач. Несомненно, сведения о существующих системах, их описание и характеристики необходимы и полезны, но они должны служить скорее иллюстрацией к решению той или иной проблемы, так как техника и программирование быстро прогрессируют и описательные материалы стареют. При изложении курса в пособии сделана попытка выделить те вопросы, которые менее подвержены влиянию времени.

4. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ БАЗИС СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ. БАЗИСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для однозначности восприятия излагаемого материала дадим определения основным понятиям.

Процесс — динамическая категория, характеризующая выполнение определенных действий, развернутых во времени.

В данной, самой общей, формулировке отсутствуют указания на то, выполняются ли действия по заранее заданному алгоритму или без алгоритма? Над какими объектами выполняются действия? Планируется ли результат процесса или он может быть любым? В какой среде происходит процесс? Ограничиваются ли временные рамки процесса?

Процессами являются такие действия, как игра в шахматы, бег по стадиону, выполнение программы в ЭВМ, слушание лекции, сдача экзаменов и т. д.

Если в формулировке будут конкретизированы ответы на перечисленные вопросы, то мы получим целый ряд определений различных по своей сущности процессов.

Функциональный процесс — процесс, выполняемый по заранее заданному алгоритму с планируемым результатом. Процесс реализует некоторую целевую функцию, отсюда и название (сокращенно ФП).

Процесс обработки данных (ПОД) — всегда функциональный процесс, в котором действия производятся над определенными объектами: некоторыми данными, представленными на физическом уровне — бумаге, перфоленте, магнитной ленте, аппаратном устройстве (регистрах) и т. д., и эти действия совершаются в определенной аппаратно-программной среде /9/.

Игра в шахматы, бег, дискуссия и т. д. — это не процессы обработки данных. ПОД — это выполнение программы, вычисления, преобразование данных, ввод в ЭВМ, отображение на

экране и т. д. Если процесс обработки данных ограничивается временными интервалами, т. е. результат (результаты) процесса должен быть получен в пределах заданного времени, то такой процесс будем называть процессом обработки данных реального времени (ПОД РВ).

Процессы могут быть элементарными (вырожденными) или более сложными, высокого уровня. Элементарные процессы могут состоять из одного простейшего действия (операции), например: присвоение, сложение, сдвиг и т. д.; сложные процессы могут иметь многоуровневую структуру, содержащую различные операции действия, процедуры и процессы более низкого уровня.

В системах отображения можно выделить ряд ПОД высокого уровня, которые необходимо реализовать практически в каждой системе. Эти процессы правильнее называть функционально-ориентированными, так как целевая функция каждого из процессов определена заранее, но содержание функции не раскрывается — оно абстрактно. Направленность процесса определяет его название: формирование алфавита, дисплейного файла, преобразование дисплейного файла, визуализация, хранение дисплейного файла, управление.

Каждый из процессов может быть реализован во множестве вариантов, иметь различные структуры, характеристики, но общая целевая задача определена для каждого из них. Предлагается эти основные процессы систем отображения называть *базисными*, а совокупность этих базисных процессов — *функциональным базисом систем отображения*. Аксиоматически устанавливается конечное число базисных процессов для систем отображения, а функциональный базис определяется при этом как полный и достаточный для анализа любой системы отображения. Выделение функционального базиса есть первый, но очень важный шаг к автоматизации анализа и синтеза систем отображения /9/.

Каждому из базисных процессов дается достаточно строгое определение с тем, чтобы любой сложный процесс, встречающийся в системах отображения, мог быть разложен на базисные, а любая простая операция — отнесена к тому или иному базисному процессу.

Разделение на базисные процессы имеет глубокий смысл, который заключается в следующем: базисные процессы специфичны и их анализ, изучение и исследование позволяют более глубоко и подробно выявить основные свойства, характеристики и особенности каждого из них и, соответственно, более эффективно подобрать или создать средства для реализации. Другими словами, выделяются свойства и особенности, характеризующие целый класс процессов, объединяемых под названием *базисного*.

Связь между базисными процессами существует, но она значительно слабее, чем между подпроцессами внутри базисных, поэтому каждый из базисных процессов можно анализировать и синтезировать автономно.

Сложная задача анализа всей системы отображения в целом сводится к значительно более простым задачам анализа ряда базисных процессов.

Следует заметить, что, в свою очередь, системы отображения реализуют базисный процесс более высокого уровня, который получил название *процесс вывода данных* (ПОД вывода). ПОД вывода является составляющим базисным процессом систем обработки данных.

Темой наших дальнейших обсуждений является анализ функционального базиса систем отображения, а также изучение ряда систем, построенных на основе этого базиса.

4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЗИСНЫХ ПРОЦЕССОВ

Процесс формирования алфавита — это ПОД, цель которого заключается в создании алфавита стандартных или специальных образов (символов, знаков, примитивов и т. д.), с которыми затем можно работать как с целыми элементами, вызывая их по имени, задавая признаки и формируя из них нужные изображения.

Процесс формирования дисплейного файла — это ПОД, результатом которого является построение некой структуры данных, представляющей в кодированном виде формируемое на экране терминала изображение. Способы кодирования изображения, методы хранения кодов, средства формирования дисплейного файла могут быть различные, и эти вопросы являются объектом специального изучения.

Процесс хранения дисплейного файла — сформированный дисплейный файл должен быть размещен на непродолжительное или на длительное хранение в памяти ЭВМ или терминала, или некой внешней памяти. Способы упаковки дисплейного файла, обращение к нему, методы и средства распаковки, перезапись с одного вида носителей на другой вид — это и составляет сущность ПОД хранения ДФ.

Процесс преобразования дисплейного файла — изображение, представленное в кодированном виде, с помощью специальных средств и особых методов может быть обработано или преобразовано в другое изображение. Методы и средства обработки и преобразования дисплейного файла с заданной целью получения другого изображения (изменение формы, вида, содержания, масштаба и т. д.) являются предметом

изучения базисного процесса преобразования дисплейного файла.

Процесс визуализации — это процесс обработки данных, конечная цель которого — преобразование закодированной информации об изображении в электрические сигналы соответствующей амплитуды, длительности и последовательности, что обеспечивает появление на экране системы отображения видео-модели нужного изображения.

Процесс управления — базисный процесс управления системой отображения заключается в организации обмена данными между всеми базисными процессами системы, т. е. формирование сигналов и команд управления, служебной информации и параметров, задающих режимы работы дисплея, контроль за состоянием и функционированием стандартных и программных средств.

Изучение систем отображения информации сводится в пособии к анализу методов и средств построения, реализации и оценки базисных процессов.

4.2.1. Процесс формирования алфавита

Любые сложные изображения, включая объемные, цветные, полутоновые и т. д., можно построить из точечных элементов. В этом смысле точка является функционально полным набором элементов.

Однако большое число изображений (тексты, схемы, геометрические фигуры, карты и т. д.) нерационально формировать из точек, так как при этом неэффективно используется память, описание изображения получается чрезвычайно избыточным, а программное обеспечение — объемным и ненаглядным. Поэтому для таких изображений заранее готовят фрагменты, т. е. кирпичики, панели, блоки, из которых затем собирают более сложные изображения. Набор таких элементов (примитивов, стандартных символов, специальных знаков и т. д.) называют *алфавитом*. Особенно характерно подобное построение для изображений в виде текста, формул, принципиальных, монтажных и функциональных схем, блок-схем. Процесс формирования алфавита реализуют, как правило, аппаратным путем. Каждый символ, знак, примитив имеет свою аппаратную матрицу, вызов которой по коду и считывание обеспечивают отображение этого символа на экране ЭЛТ.

Современная элементная база позволяет весь алфавит (или несколько алфавитов) разместить в одной микросхеме, которая обычно представляет собой программируемое ПЗУ. Символы стандартного набора литер (*ASCII, ISO*) имеют постоянный и неизменяемый код выбора в соответствии с требованиями стан-

дарта. Символы специального набора могут иметь самые разные коды выбора, которые определяются требованиями пользователя.

В стандартном наборе 128 символов, а код выбора имеет постоянную длину 7 бит.

4.2.2. Процессы хранения и формирования дисплейного файла

Основным исполнительным устройством любого дисплейного терминала является генератор элемента (независимо от способа формирования изображения). Для систем отображения, построенных на основе ЭЛТ, генератор элемента (точки, вектора, образа) всегда аппаратный блок, на вход которого подаются кодированные признаки элемента, а на выходе формируется электрический сигнал, амплитуда и момент появления которого соответствуют входным кодам признаков (рис. 4.1).

Для того, чтобы сформировать сложное изображение, состоящее из множества элементов, на вход генератора элементов в режиме реального времени должны подаваться в определенном порядке коды признаков этих элементов. Функцию формирования кодов признаков элементов изображения выполняет генератор отношений между элементами или генератор дисплейного файла. На вход генератора данные об изображении могут поступать в самом различном виде — это зависит от того, какой тип изображения нужно сформировать, в какой форме это изображение представлено (какие элементы и какие отношения), и от ряда других факторов.

ГДФ в подавляющем большинстве случаев строится на основе программной реализации, а основными требованиями к ним являются гибкость и возможность быстрой перестройки для формирования различных изображений. При более детальном анализе оказывается, что программный генератор отношений не может работать непосредственно на вход генератора элемента, так как скорость формирования кодов признаков на порядок

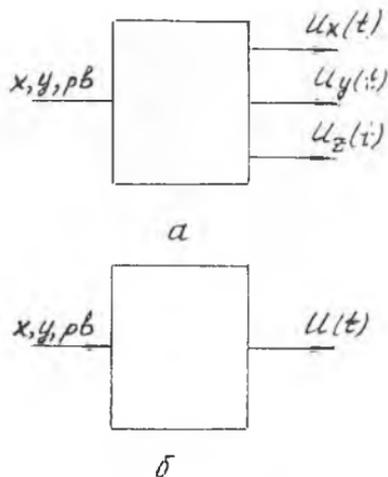


Рис. 4.1. Графическое представление генератора элементов: *а* — для функциональной системы; *б* — для растровой системы

меньше необходимой для генератора элементов. Кроме того, такой режим неэффективен, так как периодическая регенерация изображения требует постоянной работы процессора, который занимается только повторением процедур формирования кодов признаков.

Во всех дисплейных системах, как правило, процесс формирования кодов признаков разделен по времени от процесса генерирования элементов. Такое разделение возможно, если ГДФ будет работать на буферное запоминающее устройство (БЗУ), в которое записывается весь дисплейный файл. Это устройство называется памятью дисплейного файла (ЗУ ДФ). Для записи дисплейного файла могут быть использованы самые разные ЗУ: оперативное (ОЗУ), постоянное (ПЗУ), буферное (БЗУ), сверхоперативное (СОЗУ), внешнее (ВЗУ). Таким образом, основной спецификой проблемы формирования изображений являются способы и средства генерирования дисплейных файлов, способы и средства их преобразования и визуализации.

Генерирование дисплейных файлов реализуется, как правило, программно, так же, как и преобразование дисплейных файлов, а процесс визуализации в большинстве случаев — аппаратно.

Структура и вид дисплейного файла, затраты на его хранение, способы обращения (записи и считывания) определяются пятью основными факторами:

заданной структурой ЗУ, где хранится дисплейный файл, и дисциплинами доступа к элементам ЗУ;

типом изображений, кодированное представление которых хранит дисплейный файл (тип элемента и тип отношений между ними);

действиями и процедурами, которые должны быть выполнены над изображениями или над фрагментами этих изображений;

особыми условиями и требованиями к выполнению этих действий и процедур (с максимальным быстродействием, минимальным объектом памяти, с гибкой функциональной структурой и т. д.);

методом формирования изображений, если он выбран или определен заранее.

Анализ этих факторов позволяет более или менее определенно указать на метод кодирования изображения в памяти ДФ, который наиболее эффективен для конкретной задачи. Для того, чтобы такой анализ мог быть произведен автоматически или автоматизированно, требуется каждый из перечисленных выше факторов проклассифицировать. В свою очередь, структура и вид дисплейного файла, определяемые выбранным методом кодирования и параметрами изображения, достаточно опреде-

ленно характеризуют особенности и специфику генератора дисплейного файла (методы и средства генерации, приемы построения этих средств, критерии их качественной оценки и т. д.). ГДФ называют также *дисплейным процессором*.

Методы кодирования изображений следует разделить на 2 основные группы:

методы кодирования элементов изображений и отношений между ними, ДФ в этом случае представляет собой совокупность цифровых кодов, представляющих в некотором виде само изображение. Эта группа методов может быть названа *статическим кодированием*, так как кодируются статические изображения;

кодируются не элементы, а операторы, которые необходимо реализовать дисплейному процессору, чтобы сформировать изображение. Дисплейный файл будет представлять собой последовательность операторов, записанную на любом языке с идентификаторами, указателями и параметрами, выполнение которой дисплейным процессором приведет к появлению нужного (закодированного) изображения.

Методы второй группы в настоящее время особо распространены, так как позволяют чисто программным путем создавать любые изображения. Однако эффективность такого кодирования значительно ниже, так как оптимизировать сложные программные средства довольно трудно, а вводить аппаратные средства в структуру практически невозможно.

Функцию генератора дисплейного файла в системах отображения выполняет дисплейный процессор. Изучение проблем построения дисплейного процессора, исследование его эффективности и других характеристик, анализ вариантов программной реализации имеет смысл начинать с рассмотрения методов кодирования информации в памяти ДФ, свойств и специфики каждого из них. Эти вопросы являются ключевыми при выборе и оценке методов кодирования.

4.2.3. Процесс преобразования дисплейного файла

Процесс преобразования ДФ осуществляет ГДФ, задачи и условия работы которого были описаны. Всякое изменение вида, формы и содержания изображения производится с помощью ГДФ. В результате дисплейный файл может измениться по структуре, виду и форме, и эти процедуры генератор реализует с той или иной затратой времени и памяти. Изучение факторов, от которых зависят эти затраты, исследование методов оптимизации процедур преобразования одного файла в другой, формулирование требований, которым должны соответствовать средства дисплейного процессора — вот перечень основных вопросов, подлежащих анализу и обсуждению.

Как было отмечено ранее, методы кодирования информации могут сыграть решающую роль для эффективного построения ИДФ и рационального его применения.

4.2.4. Процесс визуализации

Процесс визуализации реализуется генератором элементов и блоком визуализации. В разделе «Обобщенная функциональная структура СОО» достаточно подробно рассмотрены проблемы, существующие в плане оптимальной организации, разработки и применения этих устройств. Грубки, устройства ввода, генераторы элементов составляют самостоятельный раздел работы, где изучаются в основном методы организации технического обеспечения СОО, иллюстрируемые многочисленными примерами.

4.2.5. Процесс управления СОО

Проблемы построения и реализации процессов управления достаточно подробно были перечислены (см. «Блоки управления СОО»).

5. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ

5.1. МЕТОД ОТНОШЕНИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Разбиение изображений на классы только тогда конструктивно, когда каждый выделенный класс существенно отличается друг от друга и требует при этом особого подхода при хранении, обработке и преобразовании изображений. Число классов не должно быть слишком большим, иначе трудно будет использовать классификацию. На рис. 5.1 представлена классификация изображений (граф-классификатор), которая отвечает поставленным требованиям. Каждый из классов изображений получает свое кодовое имя:

Изображение	Коды
A1	— 0 — статические
A2	— 1 — динамические
A11	— 00 — плоскостные
A12	— 01 — объемные
A111	— 000 — бинарные (статические, плоскостные)
A112	— 001 — полутоновые (— — — — —)

число типов элементов с заранее определенными возможными признаками (элементный базис) и конечное число типов отношений между элементами (базис отношений). При описании изображений можно пользоваться только элементами базиса и базисными отношениями. Определены правила формирования и описания любых классов изображений через элементы и отношения. Эти правила создают основу для формализации описаний, что является первым необходимым шагом к автоматизации процессов формирования изображений с помощью средств вычислительной техники. Главной же целью формального описания изображений является *построение специфичных структур данных*, с помощью которых можно было бы хранить цифровую модель изображения, учитывая при этом оптимальное по некоторым важнейшим критериям хранение в памяти и оптимальную последующую обработку изображений.

Выбранный способ и используемые средства описания изображения должны однозначно определять способ хранения цифровой модели в памяти ЭВМ, вид цифровой модели и эффективность выполнения определенных операций и процедур над этой моделью. Выполнение этих требований означает фактически построение технологии автоматизированного конструирования изображений по заданным условиям и заданным процедурам обработки (естественно, если обеспечить аппаратно-программную поддержку метода отношений).

Метод отношений реализует цепочку описаний: изображение → описание семантики → отображение на множестве семантических элементов и отношений → отображение на множестве ячеек памяти с отношениями между ними → однозначная интерпретация с учетом эффективности обработки и визуализации.

Прежде чем перейти к анализу метода отношений, приведем ряд определений, обозначений и правил, чтобы последующее изложение воспринималось однозначно.

5.2. ИЗОБРАЖЕНИЕ НА УРОВНЕ СЕМАНТИКИ

Изображением будем называть совокупность определенных в пространстве элементов, которым присущ определенный набор признаков (яркость, цветность, размер, координаты и т. д.) и между которыми существуют вполне определенные отношения и связи. Элементы, из которых состоят изображения, могут быть простейшими, примитивными: точка, вектор и составными, более сложными: фрагмент, подкартинки, состоящие, в свою очередь, из элементов более низкого уровня.

Примитивные элементы никогда не разбиваются на части, они не имеют внутренней структуры. Составной элемент имеет внутреннюю структуру, но на определенном уровне он рассмат-

ривается как единое целое, как элемент с набором признаков.

Структура изображения характеризуется типом элементов, признаками элементов и типом отношений между ними. Прimitives элементы обладают полнотой, т. е. любое изображение можно построить только из примитивных элементов. Этот факт очевиден и не требует доказательств.

Для повышения эффективности описания изображений в базисный набор элементов включен, кроме примитивных элементов, еще один абстрактный элемент типа образ. Образ—это некая совокупность элементов с признаками и отношениями, которая рассматривается на определенном уровне как элемент более высокого порядка. Образ на уровне семантики должен отражать информационную сущность и смысл некоторого фрагмента с учетом его свойств и характеристик. Одно и то же изображение можно представить различными образами, выделяя те или иные свойства изображения, важнейшие с точки зрения решаемой задачи.

Работа с образами заключается в выполнении над образами некоторых операций и процедур, таких, например, как изменение масштаба, фильтрация, выделение фрагментов, движение по экрану или просто визуализация образа на экране. При выполнении этих процедур накладываются определенные требования (быстродействие, экономия ресурсов, модифицируемость, наглядность), которые учитываются при формировании образа.

Образ однозначно определяется выбором элементов, признаков и типом отношений, устанавливаемых между элементами.

Изображения по классификации разделяются на статические и динамические. *Статические* изображения не изменяются во времени. *Динамические* изображения воспринимаются глазом как постоянно изменяющиеся, причем изменяться могут и элементы, и отношения, и признаки или только один из этих факторов. Изображения плоскостные имеют только две координатные системы отсчетов, полностью определяющие их расположение в пространстве. Изображения объемные состоят из элементов, распределенных в трехкоординатной системе отсчетов по осям x , y , z .

Описание плоскостных изображений принципиально отличается от описания объемных изображений, и методы работы с образами этих классов изображений существенно различны.

Бинарные изображения состоят из элементов, которые определяются двумя градациями яркости — черный, белый. Соответственно полутоновые имеют значительно более широкий диапазон уровней яркости.

Бинарные, статические, плоскостные изображения делятся на шесть основных подклассов, для каждого из которых можно

выделить элементы и отношения, наиболее полно и точно отражающие свойства этих изображений. Однако не существует однозначной связи между классом изображений и методом построения его образа, так как на выбор элементов и отношений сказывают влияние еще такие факторы, как метод формирования изображений, требования по выполнению определенных процедур и особые условия задачи (ограниченные технической базы, существующие вычислительные средства, существующее программное обеспечение и т. д.).

Изображения, состоящие из типовых элементов — это текстовые, символьные, буквенные, числовые изображения, а также различные типы схем — принципиальные, функциональные, монтажные, чертежи, блок-схемы и т. д. Типовой элемент изображения отличается просто от фрагмента тем, что он может присутствовать в том же очертании в изображениях самого разного вида. Для типового элемента раз и навсегда установлено графическое обозначение, не изменяющееся от изображения к изображению (буквы алфавита, цифры, специальные символы, графические примитивы и т. д.).

Образы, описывающие изображения, будем считать *однородными*, если все элементы этого образа одного типа и уровня и между всеми элементами существуют одинаковые отношения.

Введем понятие *порядок образа*. Порядок определяется уровнем элементов, из которых состоит образ. Если все элементы являются примитивами (точками или векторами), то такой образ будем называть *образом первого порядка*. Соответственно, *образ второго порядка* состоит из элементов, которые, в свою очередь, являются совокупностью примитивов.

Если образ по условию задачи не имеет внутренней структуры (или она не рассматривается) и определяется как элемент со своим набором признаков, то такой образ будем считать *образом нулевого порядка*. Точка, вектор и готовый символ — это образы нулевого порядка.

При построении образа в первую очередь принимается во внимание то, как эти образы будут храниться в памяти ЭВМ. Для того, чтобы наглядно представить структурную организацию данных, содержащих информацию об изображении, следует описать его в виде цифровой модели. *Цифровая модель изображения представляет собой совокупность кодов, характеризующих признаки элементов изображения и кодов, определяющих отношения между элементами*. Элементы, признаки которых кодируются, и кодируемые отношения могут быть только из базиса элементов и базиса отношений. Только в этом случае цифровая модель может быть строго описана и однозначно интерпретируема.

5.3. ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ-ОБРАЗОВ

Формализация описания изображений позволяет строго и однозначно интерпретировать содержание образа, определить его структуру, свойства и особенности. Известны способы формального или полужормального описания изображений /6/, использующие аппарат теории множеств. Но в силу своей универсальности аппарат теории множеств, используемый без изменений, не позволяет наделять элементы, фрагменты и сложные образы специфичными признаками и рассматривать особые отношения, существующие между элементами изображения. Здесь невозможно обойтись только такими понятиями, как величина элемента, упорядоченность элементов (в определенном смысле по величине), групповые операции над множеством элементов и т. п. категориями.

Без специальной символики, без введения аксиом, присущих именно изображениям как объектам анализа, невозможно раскрыть смысл и содержание, выявить особенности конкретного изображения, построить его цифровую модель.

Изображение является специфичным объектом, у которого и элементы, и признаки, и отношения, и свойства особые, отличные от других объектов. Без цифровой модели изображения трудно выбрать рациональные способы хранения и обработки изображений с помощью ЭВМ, сложно подобрать или разработать наилучший алгоритм обработки и рекомендовать эффективные средства их реализации. Цифровая модель помогает выделить закономерности в структуре, характер и особые свойства изображения, возможности его обработки. Цифровую модель образа-изображения будем обозначать большими буквами латинского алфавита. Эти буквы могут иметь индекс A_i, A_j, A_k или указание на явное наименование образа, обозначаемое индексом в скобках $A_{(i)}, A_{(j)}, A_{(k)}$ и т. д. или вообще использоваться без индекса A, B, C, P и т. д. (абстрактный, непоименованный образ). Индексация образа указывает на то, что образ находится в определенном порядке очередности с другими подобными образами:

$$A_{j-1} \leq A_j \leq A_{j+1}.$$

Поименование образа говорит о наличии личного, глобального имени, которое не изменяется при изменении отношений между образами. В этом случае ни один другой образ в пределах рассматриваемых описаний и процедур не должен иметь такого же имени: $A_{(m)}$ — единственный образ, A_i — индексированный образ, которых в одном описании может быть много.

Цифровая модель образа — это четверка:

$$A_{(m)} | A_j | B_j | A_{(k)} ::= \langle a; pb; a \times a; pA_i \rangle ,$$

где a — некоторый элемент образа, обозначаемый малыми буквами;

pb — некоторый признак элемента, для которого введено специальное обозначение « p » — признак;

$a \times a$ — тип отношений между элементами;

pA — признак всего образа (его свойство).

Обозначения элементов и признаков могут меняться — a, b, ab, bc, l, m и т. д., так же как pb, pc, pj и т. д., $a \times a; \bar{a}b \times \bar{a}b$.

Элементы и признаки могут иметь индексы, интерпретируемые точно так же, как при обозначении образов: $ai; a_j$ — индексированный элемент с локальным именем, действительным только в пределах определенных отношений $a_{j-1} \leq a_j \leq a_{j+1}$ $b_i > b_{i-1}$; $a_{(i)}; b_{(j)}, b_{(m)}$ — элемент с личным именем: a, b, c — абстрактный элемент, обращение к которому возможно только по признакам или вообще невозможно.

Конкретные описания цифровых моделей различных изображений, определяемые методом их кодирования, рассматриваются в разд. 8.

6. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

6.1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Существует четыре основных метода формирования изображений с помощью ЭЛТ и без них, которые широко используются или могут быть использованы в СОИ, работающих на выходе вычислительных машин. До недавнего времени доминирующим был *функциональный* метод. Его достоинства: большая разрешающая способность, универсальность, высокое качество изображения, широкий диапазон форматов экрана — от 256×256 до 2048×2048 и т. д., обеспечивали построение СОИ функционального типа самых разнообразных назначений. Но функциональные дисплеи имеют и недостатки — они, как правило, дороги, требуют большого объема памяти для хранения формируемых изображений, сложно реализуют процедуру наложения изображений друг на друга.

В последние годы широко распространение получили *растровые* методы формирования изображений, особенно на основе телевизионных приемников. Телевизионные СОИ просты, дешевы, имеют хорошие светотехнические характеристики и представляют собой удобные и доступные средства связи с ЭВМ.

Растровые дисплеи имеют ограниченное разрешение и формат до 512×512 элементов.

Весьма перспективным направлением в области СОВ является разработка дискретных методов. Основа этих методов — многочисленные физические эффекты, такие как электролюминесценция, газовый разряд, жидкокристаллическое свечение и др.

Пока что дискретные методы используются для отображения алфавитно-цифровых изображений: символьные индикаторы, табло, указатели и т. д.

Огромные и интереснейшие возможности открывают *голографические* методы формирования изображений, но на данном этапе развития технических средств их применение для задач вычислительной техники трудно реализуемо — это системы будущего.

Кроме четырех названных существует еще целый ряд методов: кинопроекционные, знакочечатающие, на ЭЛТ с запоминанием и т. д. Их мы не будем затрагивать, так как в интересующей нас предметной области они используются редко.

6.2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

На основе этого метода построено большое число самых разнообразных систем отображения. Сущность его заключается в следующем: формируются специальные напряжения (или токи), которые обеспечивают движение луча или любого другого рисующего элемента по контуру рисунка (знака, линий, вектора). В графопостроителях рисующим элементом является перо. Могут быть использованы также различного рода химические, электрохимические, механические устройства нанесения линий. В дисплеях используется функциональное управление лучом в ЭЛТ. ЭЛТ бывают с электромагнитным отклонением луча (за счет токов, протекающих в отклоняющих катушках) — это так называемые кинескопы, и электростатическим отклонением луча (за счет напряжений, подаваемых на отклоняющие пластины) — это осциллографические трубки. В ЭЛТ отклонение луча производится по двум координатам x и y , т. е. отклоняющие напряжения или токи являются параметрически связанными функциями $x = \int_x(t)$, $y = \int_y(t)$.

Действительно, любой знак, линию можно представить как некоторую функцию вида $y = f(x)$.

Для многих случаев эти зависимости очень сложны, неоднозначны. Параметрическое задание проще: $x = x(t)$, $y = y(t)$, где t — общий параметр «время». Эти функции определяют непрерывное движение точки по контуру знака (изображения) до полного его формирования. Если $x = x(t)$ и $y = y(t)$ предста-

вить с помощью двух напряжений $u_x = u_1(t)$, $u_y = u_2(t)$ и приложить эти напряжения к пластинкам x и y ЭЛТ, то на экране получим соответствующий знак (рис. 6.1, 6.2, 6.3).

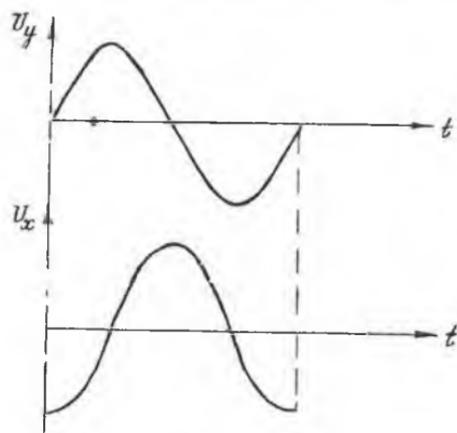


Рис. 6.1. Функциональные напряжения, формирующие символ «0»

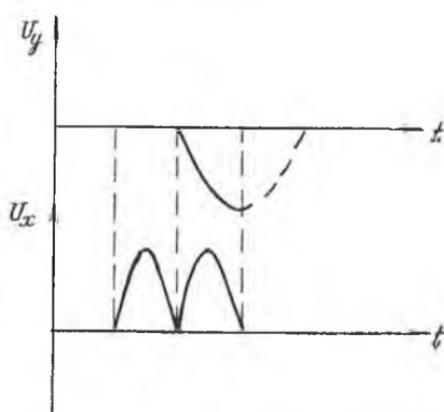


Рис. 6.2. Функциональные напряжения, формирующие символ «5»

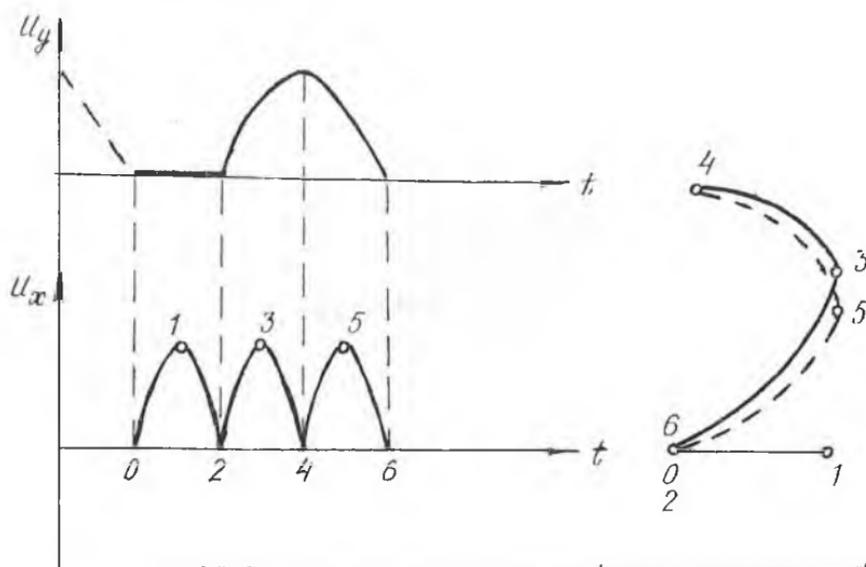


Рис. 6.3. Функциональные напряжения, формирующие символ «2»

Таким образом, для получения изображений функциональным методом необходимо хранить и генерировать соответствующие функции $x = x(t)$ и $y = y(t)$. Отклоняющие напряжения можно получить, используя также различные методы, например, гармонический синтез функций, ступенчатую аппроксимацию

функции, кусочно-линейную аппроксимацию функции, метод фигур Лиссажу и другие.

Имеется обширная литература, в которой описываются и исследуются функциональные системы /1, 5—7/.

6.3. РАСТРОВЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Особенность этого метода состоит в том, что траектория луча не зависит от изображаемой информации. Воспроизведение изображения происходит за счет модуляции яркости луча в определенные моменты времени. Движение луча по определенному закону, задаваемому отклоняющими токами или напряжениями, называется *разверткой*. В процессе развертки луч создает совокупность элементов изображения — *растр*. Растры могут быть полноформатные и малоформатные, дискретные, аналоговые (телевизионные), модифицированные.

Дискретный растр получается, если отклоняющие токи или напряжения имеют ступенчатый вид, т. е. луч движется скачками, а изображение состоит из точек, которые подсвечиваются или остаются темными (рис. 6.4).

Телевизионные растры формируются при подсвечивании строк. Отклоняющие напряжения или токи линейно возрастают или убывают. Изображение состоит из отрезков строк (рис. 6.5).

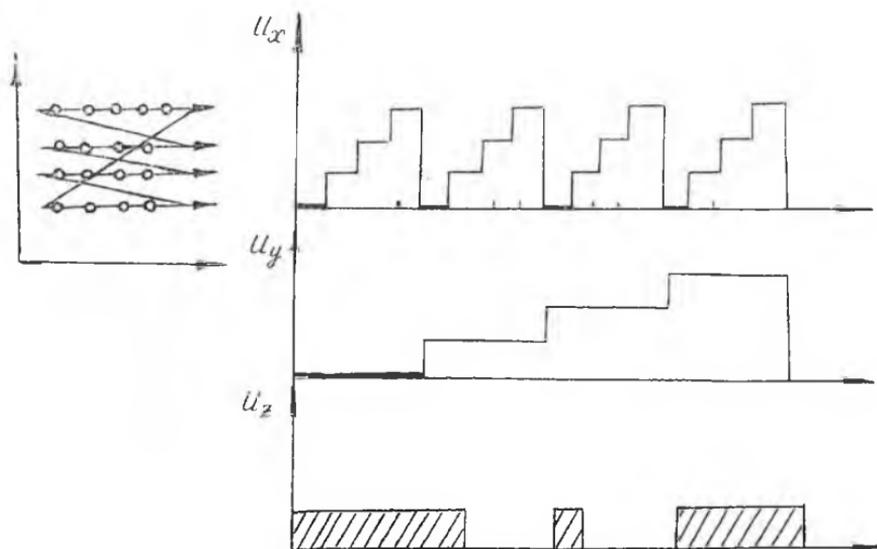


Рис. 6.4. Формирование дискретного растра

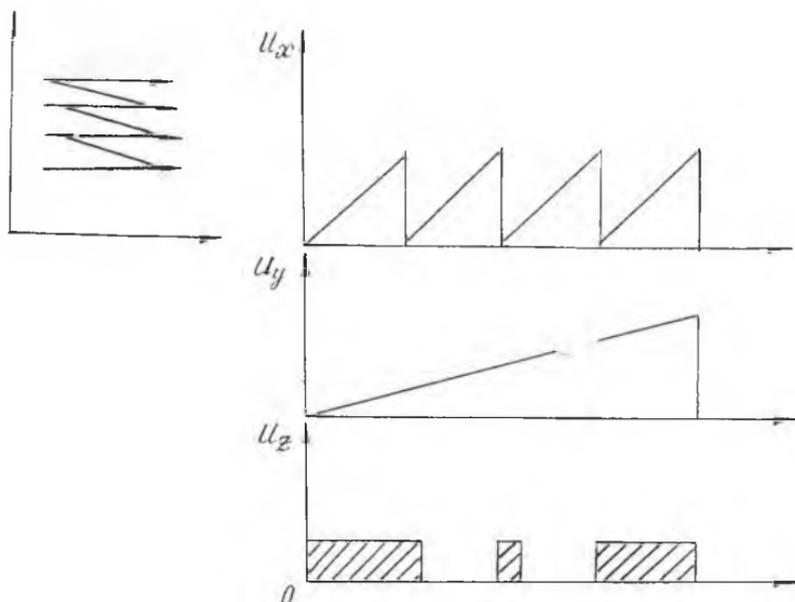


Рис. 6.5. Формирование телевизионного раstra

Модифицированные телевизионные растры (рис. 6.6) состоят из столбцов.

Микрорастры, формируемые на каждом знакоместе независимо друг от друга, называются малоформатными.

При формировании фигурного раstra луч перемещается по площади знакоместа по сложной траектории, покрывающей кусочно-линейную аппроксимацию контуров всех знаков, например, как в почтовом индексе. Подсвечиваются необходимые элементы знака (рис. 6.7).



Рис. 6.6. Модификация телевизионного раstra

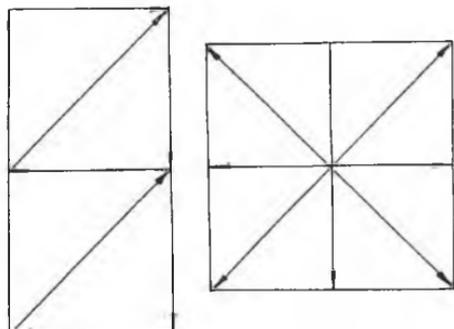


Рис. 6.7. Фигурный микрорастр внутри знакоместа

На растровых методах остановимся более подробно, так как в ближайшей перспективе они должны получить очень широкое применение.

6.3.1. Основы телевидения.

Развертка телевизионных изображений

Для поочередной передачи элементов изображения необходимо осуществить его развертку. В результате развертки передаваемое изображение разбивается на отдельные строки, совокупность которых образует растр. Изменение яркости от одной точки растра к другой на экране кинескопа создает впечатление изображения. Основными видами телевизионных разверток являются прогрессивная (построчная) и чересстрочная.

При прогрессивной развертке электронный луч (рис. 6.8) равномерно перемещается в горизонтальном направлении слева направо (прямой ход строчной развертки) и, дойдя до правого края экрана, быстро возвращается к левому краю (обратный ход строчной развертки). После этого в таком же порядке «прочерчивается» следующая строка, которая располагается ниже предыдущей. Когда прочерчена последняя, нижняя строка, весь процесс повторяется.

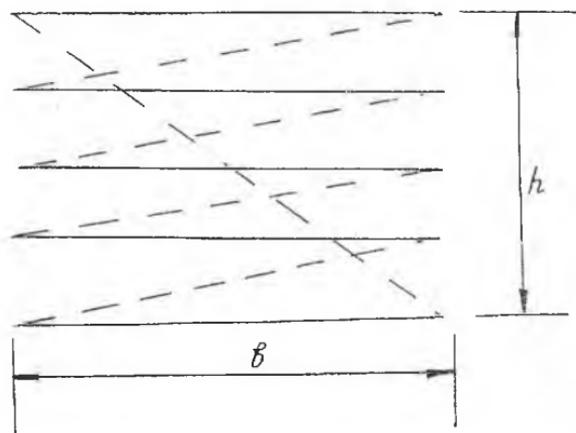


Рис. 6.8. Построчная телевизионная развертка

Для получения развертки в трубках с магнитным отклонением луча через горизонтально отклоняющие (строчные) катушки пропускают пилообразный ток строчной частоты i_c , а через вертикально отклоняющие катушки — пилообразный ток кадровой частоты i_k (рис. 6.9). Под действием строчного тока луч сравнительно медленно перемещается слева направо и быстро возвращается к левому краю экрана. Под действием кадрового тока

электронный луч медленно опускается вниз (прямой ход кадровой развертки T_{oc}), и поэтому каждая следующая строка получается ниже предыдущей. Когда электронный луч окажется в правом нижнем углу экрана, т. е. когда будет передан полный кадр, луч быстро переместится в левый угол (обратный ход кадровой развертки T_{ok}), и начнется передача следующего кадра.

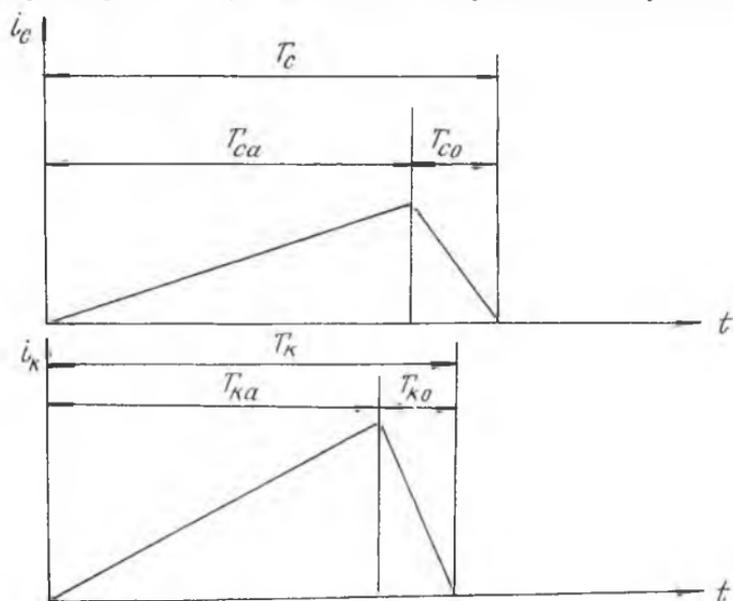


Рис. 6.9. Отклоняющие токи строчной и кадровой разверток

Если строчная частота f_c во много раз больше кадровой f_k , то строки располагаются почти горизонтально, так как за время перемещения по одной строке кадровый ток незначительно смещает электронный луч по вертикали. Совокупность строк образует на экране прямоугольный растр. Отношение ширины раstra b к его высоте h называется *форматом кадра* K : $K = b/h$.

Идеальный пилообразный ток, убывающий мгновенно, получить невозможно, поэтому часть времени строки T_{oc} и кадра T_{ok} тратится на обратный ход, т. е. период кадра состоит из прямого и обратного хода:

$$T_k = T_{ka} + T_{ko}; \quad \beta = \frac{T_{ko}}{T_k} = 0,08.$$

Период строки также состоит из времени прямого и обратного хода:

$$H = T_{ca} + T_{co}; \quad \alpha = H/T_{co} = 0,18.$$

Полное число строк, прочерчиваемое за время передачи одного кадра, называется *номинальным числом строк* Z . Частота строк в Z раз больше частоты кадров: $f_c = Zf_k$. Число строк в кадре всегда целое. Опытным путем установлено, что при прогрессивной развертке следует передавать не менее 40—45 кадров за секунду, иначе будет наблюдаться мелькание изображения.

6.3.2. Полоса частот сигнала изображения при построчной развертке

Пусть создается изображение на кинескопе из чередующихся черных и белых квадратов. Каждому квадрату соответствует импульс тока в цепи управления яркостью. Число этих импульсов в секунду и есть частота сигнала изображения. Каждый два соседних квадрата — черный и белый, дают один импульс, поэтому частота сигнала изображения в два раза меньше числа квадратов, передаваемых за секунду. Минимальная высота элемента равна толщине строки, поэтому по вертикали имеется максимальное число Z . По горизонтали число элементов будет в K раз больше, т. е. $K \cdot Z$ (элементы приняты прямоугольными). Всего в кадре $N = K \cdot Z^2$ элементов. Номинальное число строк в СССР принято $Z = 625$, а формат $K = 4,3$, поэтому максимальное число элементов в кадре

$$N_{\max} = \frac{4}{3} \cdot 625^2 \approx 520\,000.$$

За одну секунду передается f_k кадров, частота сигналов изображения вдвое меньше N , поэтому

$$f_{\max} = \frac{T \cdot Z^2 f_k}{2},$$

при $Z = 625$, $f_k = 50$ Гц, $K = 4/3$ получим $f_{\max} = 13$ МГц. Наименьшая частота сигнала получается при изображении на экране одной белой и одной черной полосы, т. е. за время кадра проходит только один импульс модуляции яркости, таким образом,

$$f_{\min} = f_k; \quad f_{\min} \leq f_{\text{из}} \leq f_{\max}; \quad 50 \text{ Гц} \leq f_{\text{из}} \leq 13 \text{ МГц}.$$

6.3.3. Полный видеосигнал

Для работы телевизионного приемника необходимы сигналы изображения, сигналы синхронизации, сигналы гашения.

Сигнал изображения (СИ) несет информацию о яркости отдельных элементов изображения.

Сигналы синхронизации необходимы для обеспечения правильной работы разверток телевизионного приемника

(ТП), т. е. для синхронности работы разверток на приемной и передающей стороне телевизионного тракта (в вещательном телевидении).

В дисплеях, где изображение синтезируется электронным путем, сигналы синхронизации обеспечивают расчетный режим работы генераторов развертки и производится привязка яркостного сигнала к определенному месту элемента на экране.

Существуют два вида синхросигналов: кадровые синхронизирующие импульсы (КС) и строчные синхронизирующие импульсы (СС). Вместе они образуют синхросмесь (ССМ). КС следуют с частотой кадров f_k , обеспечивают синхронизацию кадровой развертки. СС следуют с частотой строк f_c и обеспечивают синхронизацию строчной развертки, причем всегда соблюдается соотношение $f_c = Zf_k$. Обычно используется нострочная развертка при $f_c = 15625$ Гц, $f_k \approx 50$ Гц, $Z = 312$ строк.

Сигналы гашения необходимы для гашения обратного хода луча по строке и кадру. Обозначаются КГ и СГ и следуют с частотами f_k и f_c , вместе они образуют гасящую смесь ГСМ.

Таким образом, нормальная работа ТП обеспечивается тремя сигналами, но иметь их раздельно нерационально, так как потребуются 3 линии связи между источником сигналов и ТП. Поэтому все эти сигналы объединяют в один, называемый полным видеосигналом (ПВС):

$$\text{ПВС} \equiv \text{СИ} + \text{ССМ} + \text{ГСМ}.$$

Причем сигнал изображения и гасящая смесь находятся между уровнями черного (УЧ) и белого (УБ), а синхросмесь между УЧ и уровнем чернее черного (рис. 6.10). Уровень белого — уровень видеосигнала, соответствующий белому элементу изображения

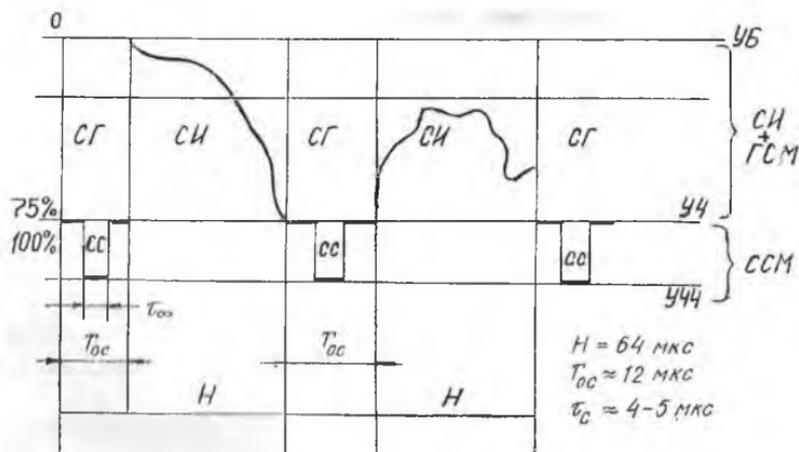


Рис. 6.10. Полный видеосигнал

(ток электронного луча максимальный). *Уровень черного* — уровень видеосигнала, полностью запирающий луч (ток луча равен нулю) — соответствует черным элементам изображения. *Уровень чернее черного* (условное название) находится ниже УЧ. Синхросмесь, находясь между УЧ и УЧЧ, не создает изображения (в данном случае помех) на экране. СИ изменяется от УБ до УЧ, позволяя получить самую различную яркость элемента изображения от белого до черного. Гасящая смесь все время находится на уровне черного, затемняя обратный ход луча. Полный видеосигнал представлен на рис. 6.10.

Принцип разделения сигналов по уровням позволяет легко отделить СИ от ССМ с помощью ограничителей.

На КГ расположен КС и импульсы СС для того, чтобы не прерывалась синхронизация генератора строчной развертки во время обратного хода по кадру (рис. 6.11).

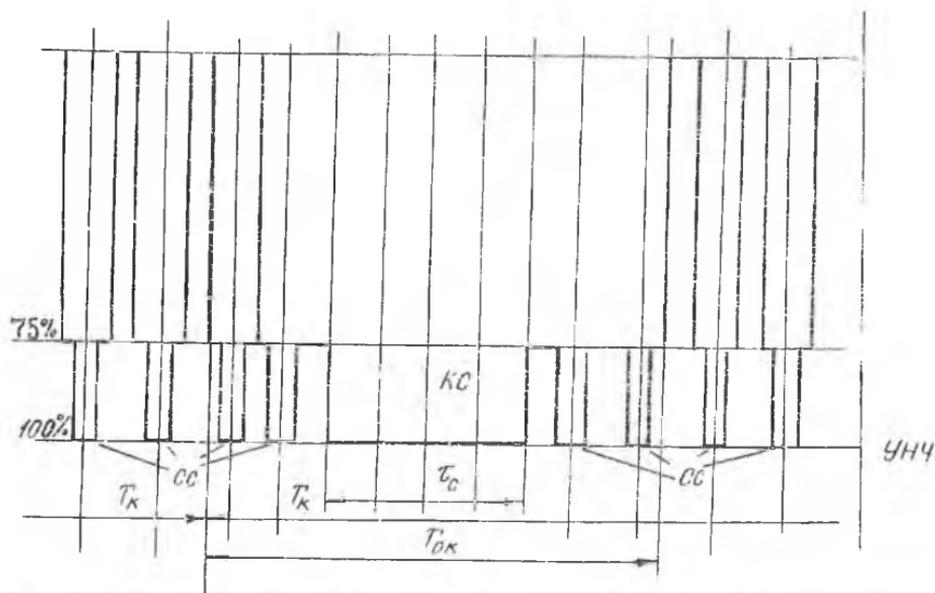


Рис. 6.11. Сигнал кадрового гасящего с сигналами строчной синхронизации

6.3.4. Блок-схема телевизионного приемника

Сначала отметим, что полный видеосигнал имеет полосу частот, равную полосе частот сигнала изображения, т. е. $\Delta f = f_k \dots f_{\max}$, $\Delta f = 50 \text{ Гц} \dots 6,5 \text{ МГц}$. Передавать сигналы с такой полосой частот непосредственно в эфир невозможно, поэтому полным видеосигналом модулируют по амплитуде несущую частоту $f_{\text{н}}$, значение которой зависит от номера канала. Промо-

дулированная несущая излучается антенной передатчика: I канал ... 49,75 МГц, XII канал ... 223,25 МГц.

На рис. 6.12 представлена блок-схема телевизионного приемника. В ТП высокочастотный сигнал принимается антенной (А) и усиливается в усилителе высокой частоты (УВЧ), причем УВЧ настроен на несущую частоту f_H выбранного канала. Несущая частота любого канала преобразуется к одной промежуточной частоте $f_{ПЧ}$ с помощью смесителя (СМ) и гетеродина (Г).

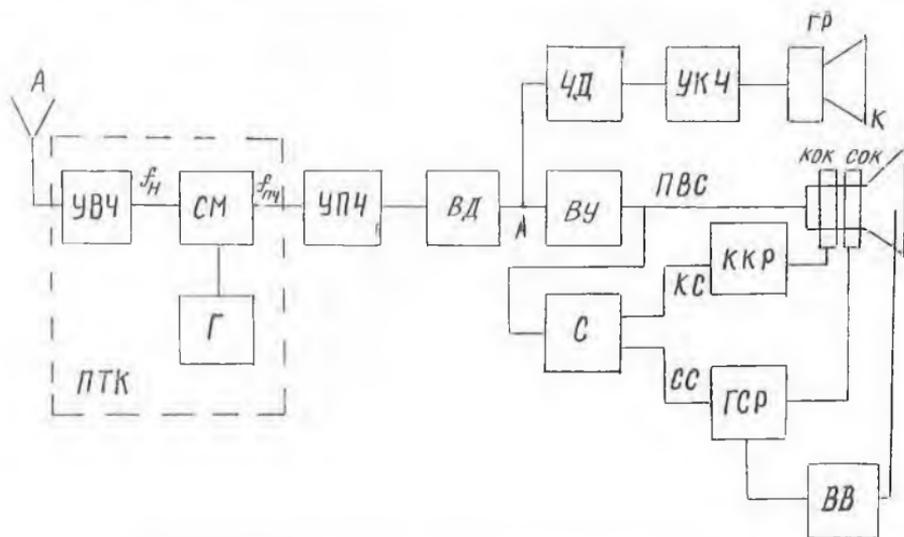


Рис. 6.12. Блок-схема телевизионного приемника

Гетеродин — это внутренний генератор, который работает на такой частоте, чтобы соблюдалось соотношение $f_H - f_G = f_{ПЧ}$; $f_{ПЧ} = \text{const}$, т. е. при выборе другого канала (при изменении f_H одновременно меняется и f_G). Переключатель телевизионных каналов (ПТК) обеспечивает выбор нужного канала. Далее усиление происходит на промежуточной частоте в усилителе промежуточной частоты (УПЧ). Выделение полного видеосигнала (детектирование) происходит в видеодетекторе (ВД). Затем ПВС усиливается в видеоусилителе (ВУ) и подается на управляющий электрод кинескопа (К) для модуляции яркости. Одновременно ПВС поступает на селектор (С), где происходит отделение синхросмеси от сигнала изображения и гашение путем ограничения и разделение синхросмеси на СС и КС. СС выделяется путем дифференцирующей цепочки, КС выделяется интегрированием и ограничением (рис. 6.13, 6.14). Выделенные СС и СК синхронизируют соответственно генератор строчной развертки (ГСР) и генератор кадровой развертки (ГКР), которые создают

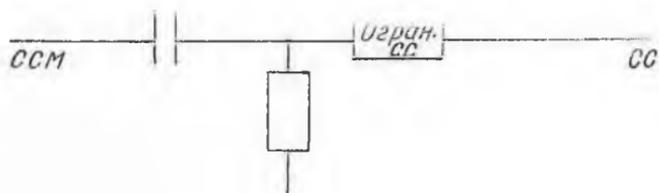


Рис. 6.13. Выделение сигнала строчной синхронизации

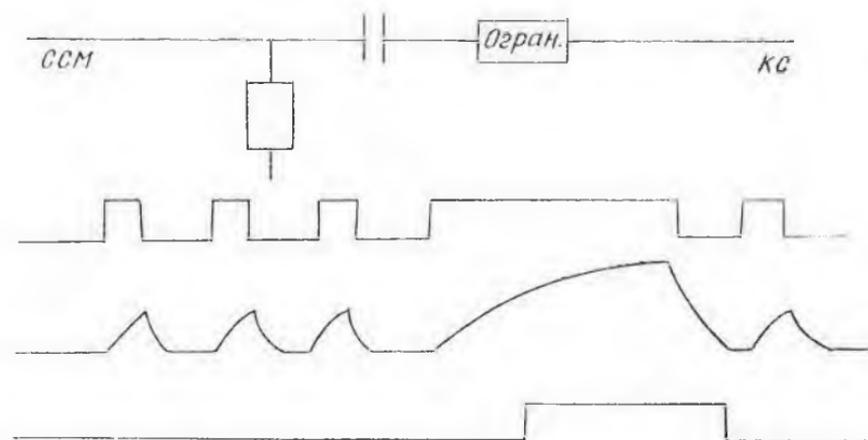


Рис. 6.14. Выделение сигнала кадровой синхронизации

пилообразные токи отклонения луча в кадровых (КОК) и строчных (КОС) отклоняющих катушках. Одновременно импульсы обратного хода в ГСР выпрямляются и создают высокое (≈ 16 кВ) напряжение ускорения луча, которое подается на второй анод кинескопа (К).

В тракте звукового сопровождения детектируется частотно-моделирующий сигнал звука в частотном детекторе (ЧД), затем

он усиливается в усилителе низкой частоты (УНЧ) и подается на громкоговоритель (ГР).

Когда в телевизионных дисплеях ТП используется целиком с высокочастотным трактом, тогда необходимо помещать полный видеосигнал на несущую частоту одного из каналов и подавать его на антенный вход. В другом случае полный видеосигнал подается непосредственно на видеоусилитель (точка А) без высокочастотной части ТП. ТП без высокочастотной части называют *телевизионным монитором*.

6.4. ДИСКРЕТНЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Дискретным метод называется потому, что каждый элемент, формирующий изображение, может управляться индивидуально. Среди индикаторов, использующих дискретный метод, наибольшее распространение получили электролюминесцентные и газоразрядные индикаторы.

6.4.1. Электролюминесцентные индикаторы (ЭЛИ)

Принцип действия ЭЛИ основан на явлении электролюминесценции — свечения некоторых веществ (люминофоров) при возбуждении их электрическим полем или током. ЭЛИ отличается малым потреблением мощности при относительно высокой яркости, большим углом обзора, возможностью получения различного цвета свечения за счет использования разных электролюминофоров, имеют большой срок службы и высокую надежность. Плоская конструкция индикаторов, широкая возможность выбора размеров, плотности расположения и формы светящихся знаков и элементов позволяют использовать их в самых разнообразных устройствах.

ЭЛИ представляет собой плоский конденсатор (рис. 6.15).

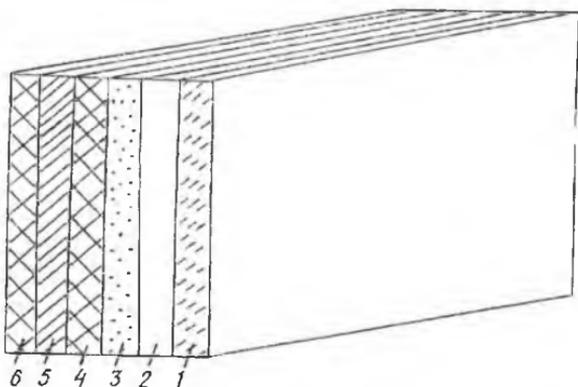


Рис. 6.15. Электролюминесцентный индикатор

Одна из его обкладок 2 прозрачная (направлена к наблюдателю), она нанесена методом напыления на стеклянную пластину 1. Между этой и другой обкладкой (металлическим электродом 5) помещены слой диэлектрика (органическая смола с распределенными в ней кристалликами люминофора 3) и защитный слой 4. На электрод 5 нанесено защитное покрытие 6, прозрачный электрод обычно из окиси олова. Стеклянная пластина предохраняет прозрачный электрод от механических воздействий. Корпус ЭЛИ — герметичный. Светится индикатор только при подаче переменного напряжения.

ЭЛИ делятся на буквенно-цифровые, мнемонические, знаковые, индикаторы с видимым или скрытым в нерабочем состоянии изображением, матричные и мозаичные. Наибольшее распространение получили буквенно-цифровые индикаторы. Металлический электрод 5 (см. рис. 6.15) в них выполнен в виде независимых отдельных участков (сегментов), как показано на рис. 6.16. Форма и число сегментов могут быть различными. Для отображения цифр применяют 8-, 9- и 7-сегментные индикаторы. 19-сегментный индикатор позволяет высветить все арабские цифры, буквы русского и латинского алфавитов. Конструктивно знаковые индикаторы выполняют как в виде одноразрядных устройств, так и в виде панелей, содержащих десятки знаков, выполненных на одном стекле.

Мнемонические знаковые индикаторы предназначены для разнообразных мнемосхем. Такие ЭЛИ могут иметь несколько раздельно коммутируемых электродов, что позволяет высвечивать разные рисунки, каждый из которых соответствует определенному режиму работы аппаратуры. Индикаторы с видимым изображением могут иметь и трафарет, который хорошо заметен при внешнем освещении. При подаче напряжения на индикатор начинает светиться все поле или только очерченный контуром рисунок.

Самую разнообразную информацию позволяют отобразить матричные и мозаичные ЭЛИ. Простейший матричный ЭЛИ представляет собой конденсатор, у которого обкладки выполнены в виде узких параллельных шин-электродов, расположены они взаимно перпендикулярно. Между ними находится слой люминофора. Максимальное число электродов при использовании

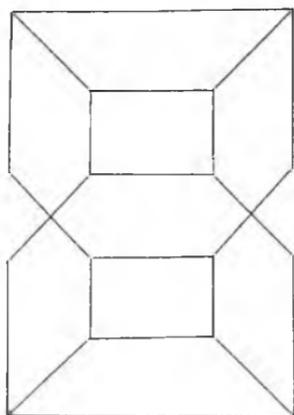


Рис. 6.16. Сегментный индикатор

порошковых электролюминесцентных — до трех на 2 мм. Возбуждение необходимой ячейки (точки) матричного экрана производится подачей напряжения на соответствующие взаимно перпендикулярные электроды.

Мозаичные электроды собирают из отдельных, автономных элементов. По управлению они ничем не отличаются от обычных ЭЛИ.

6.4.2. Газоразрядные индикаторы

Газоразрядные индикаторы (ГРИ) основаны на возникновении тлеющего разряда в среде инертного газа между двумя электродами. Простейшие ГРИ — знаковые или цифровые. При подаче напряжения на электрод возникает тлеющий разряд — свечение оранжево-красного цвета по форме знака. Нам больше интересуют газоразрядные индикаторы-панели (ГИП), так как они позволяют воспроизвести графическую информацию любого вида. ГИП постоянного тока устроены следующим образом: ГИП содержит диэлектрическую систему (решетку) с матрицей 100×100 отверстий, две системы ортогональных электродов (катодных 2 и анодных 2), расположенных по обе стороны от решетки, и защитные стекла. Места перекрещивания 100 катодных и 100 анодных электродов геометрически соответствуют центрам 10000 отверстий в диэлектрической пластине. Панель заполняется смесью инертных газов при определенном давлении и герметизируется по контуру. Таким образом, ГИП представляет собой совокупность 10000 ячеек индикации — элементарных индикаторов тлеющего разряда. Индикация какой-либо ячейки ГИП происходит при приложении к соответствующим катодному и анодному электродам напряжения, достаточного для возбуждения разряда.

ГИП постоянного тока (в отличие от ГИП переменного тока) не обладает свойством внутренней памяти, т. е. свечение исчезает после снятия напряжения, поэтому изображение синтезируется в режиме развертки, которая осуществляется по катодным электродам, принятым за координату x экрана, посредством катодного коммутатора. Информационные сигналы подаются на анодные электроды ГИП (координаты y экрана) при помощи анодных ключевых элементов.

6.4.3. Газоразрядная индикаторная панель переменного тока

ГИП состоит из двух стеклянных пластин, разделенных зазором, для поддержания которого используются диэлектрические прокладки. С внутренней стороны стеклянных пластин расположены системы перпендикулярных металлических электродов.

родов, покрытых тонким слоем диэлектрика. На слой диэлектрика наносится эмитирующее и защитное покрытие, характеризующееся высоким значением коэффициента вторичной эмиссии под действием ударов положительных ионов. Зазор между пластинами заполняется инертным газом.

Между системами вертикальных и горизонтальных электродов приложено напряжение, амплитуда которого недостаточна для возбуждения, но достаточна для поддержания разряда. Для возбуждения разряда в данной ячейке на соответствующую пару вертикальных и горизонтальных электродов подаются импульсы записи, амплитуда которых достаточна для возбуждения разряда. Для прекращения разряда на ячейку подают стирающий импульс.

6.4.4. Жидкокристаллические индикаторы

Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ) основаны на применении так называемых жидких кристаллов. Что это такое? Кроме широко известных агрегатных состояний веществ (твердого, жидкого и газообразного) существует еще одно промежуточное состояние — жидкокристаллическое или мезоморфное. Вещество, находящееся в этом состоянии, имеет структурные свойства, промежуточные между свойствами твердого кристалла и жидкости. Эти свойства проявляются в том, что в определенном температурном интервале вещество текуче, может образовывать капли, не имеет формы для большого объема и, вместе с тем, вещество обладает анизотропией различных свойств: удельное сопротивление, диэлектрическая проницаемость. Механические свойства и показатель преломления могут отличаться в разных направлениях.

Как следствие анизотропии электрических и оптических свойств в тонких слоях ЖК наблюдается несколько электрооптических эффектов, использование которых позволяет создавать устройства отображения информации различного типа.

Простейшим устройством, реализующим возможность наблюдения электрооптических эффектов, является ячейка (рис. 6.17),

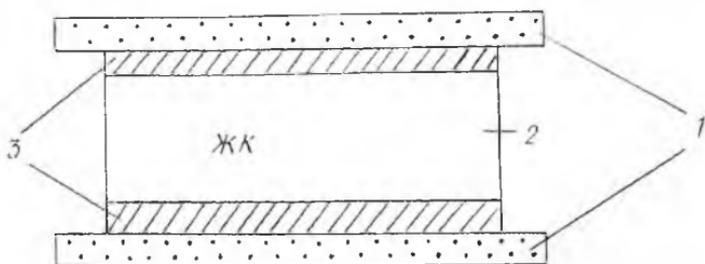


Рис. 6.17. Жидкокристаллический индикатор

состоящая из двух параллельных стеклянных пластин 1, промежуток между которыми заполняется тонким слоем ЖК толщиной 5—50 мкм 2. На внутренние стороны пластин наносятся прозрачные электроды. В случае работы в проходящем световом потоке, при работе на отражение один из электродов выполняется зеркально отражающим.

Электрический эффект динамического рассеяния состоит в том, что тонкий слой ЖК под действием электрического поля, ввиду возникновения турбулентных областей, вызывает сильное рассеяние света и при этом теряет прозрачность и становится молочно-белым. При снятии напряжения турбулентности исчезают и прозрачность слоя восстанавливается. Время восстановления прозрачности 20—2000 мс.

Электрооптический эффект динамического рассеяния позволяет создать плоские индикаторы мнемонического, цифрового, телевизионного и других типов.

Эффект оптического накопления или оптической памяти состоит в том, что тонкий слой ЖК прозрачен в исходном состоянии, а при приложении электрического поля мутнеет, вызывая сильное рассеяние света, и в таком состоянии остается после снятия поля. Для возвращения его в исходное состояние (прозрачное) необходимо воздействие переменного поля звуковой частоты (1—3 КГц).

Время реакции — время возникновения помутнения $\tau_p \approx 30$ —150 мс. Время релаксации (т. е. восстановления прозрачности) имеет интервал от 5—10 ч до нескольких суток. Стирание происходит за 300—700 мс.

Эффект оптического накопления или оптической памяти важен для создания высокоэкономичных мнемонических индикаторов, а также специальных устройств отображения информации, требующих длительного хранения информации.

6.4.5. Мнемонические индикаторы

Основой ЖК мнемонического индикатора является панель, состоящая из двух стеклянных пластин с электропроводящими покрытиями, узкий зазор между которыми заполняется ЖК. Прозрачные проводящие электроды выполняются определенной конфигурации в зависимости от содержания мнемонического изображения. Конфигурация электрода лицевой пластины выполняется таким образом, чтобы от каждого самостоятельного элемента изображения шел вывод к кромке стекла, заканчивающейся контактной площадкой, к которой припаивается внешний вывод (рис. 6.18). В нормальных рабочих условиях всегда светятся четыре угловых квадрата. В зависимости от положения выключателя светятся или вертикальные, или го-

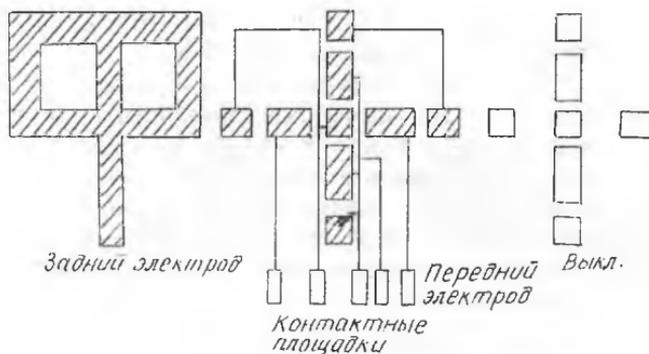


Рис. 6.18. Мнемонические индикаторы

ризональные элементы. В случае неполадок, а также при отсутствии напряжения, квадраты становятся прозрачными. Этот специализированный индикатор указывает положение переключателя.

6.4.6. Цифровой знаковинтезирующий индикатор с использованием ЖК

Универсальный цифровой ЖКИ (рис. 6.19) набран из параллельных стеклянных подложек, расположенных последовательно в виде пачки. Лицевая и тыльная подложки снабжены сплошными сигнальными электродами с внутренней стороны. На остальных подложках с двух сторон располагаются сигнальные и знаковые электроды. Знаковые электроды выполняются в виде цифр. Все сигнальные электроды гальванически

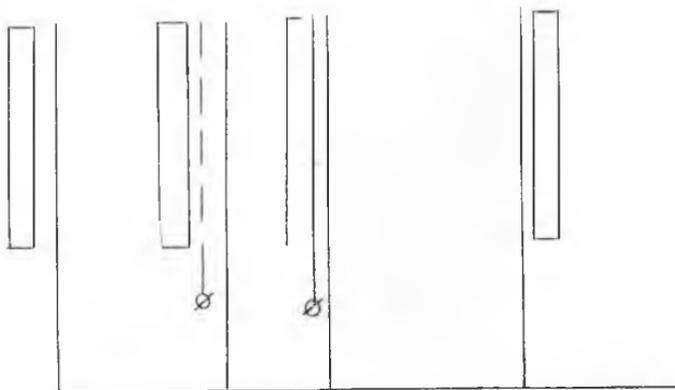


Рис. 6.19. Универсальный цифровой жидкокристаллический индикатор

соединены между собой и имеют один вывод. Все знаковые электроды имеют свой вывод для схемы управления. Промежутки между прокладками заполнены ЖК.

Более экономичным конструктивно и с точки зрения большего угла обзора является цифровой знаковинтезирующий ЖК индикатор, который представляет собой плоский ЖК модуль, в котором сигнальный электрод выполняется сплошным, а знаковый электрод выполнен из отдельных электродов (сегментов). Знаки формируются путем подачи напряжений на соответствующие сегменты. Качество знаков хуже, чем в предыдущем случае, по управлению проще.

6.4.7. Матричные экраны на ЖК

Они являются наиболее универсальными устройствами отображения информации дискретного типа, основанными на принципе формирования светоконтрастного раstra с большим числом элементов разложения.

Простейший ЖК экран имеет две системы ортогональных прозрачных электродов. Вертикальные и горизонтальные электроды (столбцы и строки) при пересечении образуют дискретные элементы, составляющие прямоугольный растр.

Недостатки матричных экранов следующие:

- работают в отраженном или проходящем свете,
- обладают низким быстродействием,
- имеют низкую контрастность,
- мало приспособлены к получению полутоновых и цветных изображений.

6.5. ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

6.5.1. Принципы голографического метода отображений

Несмотря на многовековую практику применения света в информационных целях, до последнего времени его информационные свойства использовались лишь частично. Это происходило потому, что человек не располагал физическими приборами, которые давали бы ему возможность так регистрировать световые волны, рассеянные предметом, чтобы затем полностью воспроизвести их и таким образом воссоздать изображение предмета в пространстве.

Любой приемник света — человеческий глаз, фотоэмульсия или фотоэлектронный умножитель — это квадратичный детектор, способный откликаться только на среднюю интенсивность

света при экспонировании или же сосчитать число фотонов, упавших на него. Ни один из известных детекторов света не способен фиксировать в пространстве распределение мгновенных значений амплитуды и фазы электромагнитного поля в световой волне. Только сама световая волна годится в качестве эталона.

В хорошо известном нам процессе фотографирования фиксируется лишь распределение интенсивности электромагнитной волны, отраженной от объекта. Только часть информации об объекте, содержащаяся в рассеянном излучении, используется при фотографировании. Другая, не менее важная часть — распределение фаз волновых пучков, испускаемых каждой точкой объекта, при фотографировании пропадает. Трехмерные объекты регистрируются в виде плоских, двумерных изображений.

Более полную информацию об объекте можно получить, если зафиксировать на фотопластинке и амплитудное и фазовое распределение излучения, испускаемого объектом.

Слово «голография» происходит от греческого слова «олос» — весь, целый и «графо» — пишу, т. е. полная запись.

Сущность голографии и состоит в регистрации на фотопластинке амплитуды и фазы световых волн, излучаемых объектом. Физическая основа голографии — учение о волнах, их интерференции и дифракции, зародившееся еще в XVII веке при Гюйгенсе. Уже в начале XIX века Юнг, Фрепелль и Фраунгофер располагали достаточными познаниями, чтобы сформулировать основные принципы голографии. Этого, однако, не случилось. Более того, когда в 1947 году изобретатель голографии Габор с полной определенностью сформулировал метод регистрации и восстановления волнового фронта и указал условия его реализации, многие ученые, в том числе и оптики, эту идею опровергали, считая ее обманом. Сохраняя до сих пор некий ореол волшебства, голография в настоящее время представляет собой самую современную и уже достаточно развитую технику, интерес к применению которой в различных предметных областях растет.

Практическое осуществление новой блестящей идеи было невозможно, так как отсутствовали источники света, необходимые для получения голограммы. В связи с созданием лазеров начался новый этап в развитии оптической науки. Изобретение, пролежавшее под спудом 17 лет, о котором сам изобретатель забыл, с 1963 года стало вызывать пристальный интерес. В 1963 году американцы Э. Лейт и Ю. Упатниекс впервые получили лазерные голограммы. Они реализовали свою «двухлучевую» схему, значительно усовершенствовав схему Габора.

Голография — способ записи и восстановления амплитудных и фазовых параметров волнового фронта или способ

записи и восстановления трехмерных объектов без помощи линз по их несфокусированной и дифракционной картине.

Трехмерные изображения, которые получили Лейт и Упатникс, освещая пластинку лазерным светом, поразили воображение всех, кто их видел. В отличие от фотографических негативов на поверхности голограммы виден лишь серый фон: ничто не указывает на то, что в ней скрыто изображение предмета. Несмотря на это, при освещении экспонированной и проявленной голограммы в пространстве формируется объемное изображение предмета. Это изображение, которое может быть локализовано на некотором расстоянии от голограммы, обладает глубиной и параллаксом, обычно свойственным реальным объектам, его можно фотографировать в разных ракурсах. Как показали дальнейшие исследования, голография находит более широкое применение, чем получение лишь объемных изображений: она используется для хранения и обработки информации, в интерферометрии, микроскопии и во многих других областях науки и техники. С каждым годом все новые и новые области ставят на службу блестящие возможности голографического метода.

6.5.2. Оптическая голография

Идея Габора возникла при анализе оптического парадокса. Парадокс связан с процессом образования оптического изображения, когда фотография получается четкой только при определенном расположении предмета, фотообъекта и фотопластины. Между тем, лучи света, отраженные от объекта и образующие изображение на фотопластинке, не исчезают и не меняются на участке между объектом и фотопластинкой, а также к ним не добавляются посторонние лучи. Это означает, что изображение существует в скрытом виде в любой плоскости между объективом и фотопластинкой. Однако, поместив пластинку сразу же после объекта и произведя ее экспонирование в лучах света, отраженного от объекта, мы получим сплошное поле почернения. Анализируя этот парадокс, Д. Габор создал свою теорию образования изображений, в которой он использовал понятие теории информации.

Известно, что изображение состоит из N элементов, которые условно можно назвать точками изображения. Размер элемента определяется объемом пространственной когерентности, но не может быть меньше длины волны света. Если использовать для освещения предмета некогерентный источник света, то для записи информации об изображении предмета, отражающего этот свет, необходимо зарегистрировать не N , а N^2 точек, если изображение не фокусировать на фотопластинке. Иначе говоря, световое поле в плоскости объекта задается N^2 данными, если

само изображение состоит из N точек. Это вывод из теории Габора. Например, если на телевизионном экране изображение состоит из 10^9 точек, то для записи информации об этом изображении без помощи линз требуется получить 10^{12} элементарных данных. Такое действие реально неосуществимо, и поэтому всегда используется фотообъектив, обеспечивающий фокусировку изображения в плоскости носителя.

Подобное увеличение числа информационных данных при записи предмета легко понять, если учесть, что пространственно-некогерентный свет возбуждает огромное количество независимо работающих «радиостанций».

В самом общем случае число таких радиостанций равно числу элементов изображения объектов. В каждой точке фотообъектива складываются лучи, приходящие от N точек. Следовательно, информационная суть изображения содержится в N^2 элементарных данных. Чтобы разделить суммарное поле на составляющие компоненты без линзы, требуется огромное время, но самое главное, нет средств, которые могли бы практически реализовать это разделение.

Положение качественно меняется, если объект освещается пространственно когерентным светом. В этих случаях при сложении двух когерентных лучей возникает контрастная интерференционная картина, которая содержит информацию об амплитуде и фазе волнового фронта, исходящего от объекта.

Согласно теории Габора, для регистрации N элементов изображения без помощи линзы достаточно создать контрастную интерференционную картину, состоящую из N полос. Это означает, что размер изображения вдоль оси равен примерно расстоянию между интерференционными полосами. Таким образом, пространственно-когерентное освещение позволяет записать данные об N элементах, чтобы затем полностью восстановить трехмерное изображение объекта.

Если голограмма содержит меньшее число интерференционных полос, чем число элементов N , либо из-за малых размеров голограммы, либо из-за большого удаления от объекта, то размер информационного элемента увеличится, разрешение по предмету ухудшится и, таким образом, информационная эквивалентность предмета и голографического объекта будет отсутствовать.

Таковы положения теории информации, лежащие в основе теории образования изображения голографическим методом.

Элементарный голографический процесс состоит в суперпозиции опорной световой волны и волн, рассеянных объектом, освещенным когерентным светом. Результат суперпозиции — интерференционная картина — регистрируется на фотопластинке или фотопленке. Голограмма имеет вид прозрачного фотоотпе-

чатка. Амплитудное и фазовое распределение фронта световой волны, характеризующие объект, распределены определенным образом относительно опорной волны.

Голография — процесс двухэтапный. На втором этапе происходит восстановление трехмерного изображения, которое осуществляется при просвечивании голограмм опорной волной, параметры которой одинаковы с волной, используемой при получении голограммы.

6.5.3. Аналитическое описание процессов в голографии

Итак, голограмма — это интерференционная картина, образованная волной от предмета и опорной волной. В общем случае при получении голограммы объекта, имеющего конечные размеры и объем, мы получаем сложную интерференционную картину, созданную суперпозицией двух волн: опорной (плоской или сферической) и сигнальной, отраженной от объекта и имеющей сложный волновой фронт. Любую интерференционную картину можно рассматривать как процесс суммирования явлений интерференции, получаемых при наложении двух плоских волн, плоской и сферической волны или двух сферических волн.

Рассмотрим более подробно образование каждой из таких интерференционных картин и затем обобщим результаты. нас будет интересовать интерференция двух плоских волн и регистрация интерференционной картины.

Пусть две системы плоских волн ϵ_1 и ϵ_2 образуют между собой угол 2θ (рис. 6.20). Общность доказательства не пострадает, если оси Ox и Oy будут совпадать с биссектрисами углов,

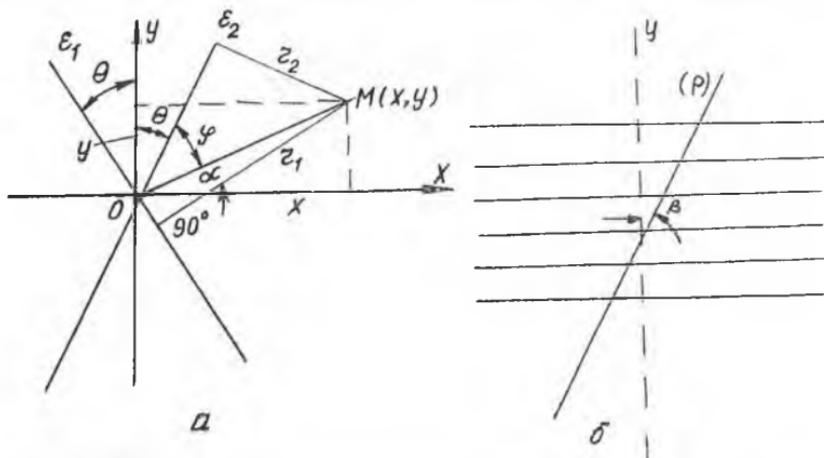


Рис. 6.20. Графическое представление суперпозиции двух плоских волн в точке $M(x, y)$: а — проекция волновых фронтов волн ϵ_1 и ϵ_2 на плоскость x, y ; б — угол β между опорной и сигнальной волнами

образованных плоскостями ε_1 и ε_2 . Если в некоторой точке плоскости M в момент времени t колебания волны описываются формулами

$$a_1 = A_1 \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_1 \right);$$

$$a_2 = A_2 \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_2 \right),$$

то результирующее колебание запишется в виде

$$\begin{aligned} a_1 + a_2 = \bar{a} &= \left[A_1 \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_1 \right) + A_2 \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_2 \right) \right] = \\ &= 2A \sin \left[\omega t - \frac{\pi}{\lambda} (r_1 + r_2) \right] \cos \frac{\pi}{\lambda} (r_2 - r_1). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь r_1 и r_2 — расстояние точки M от волновых фронтов ε_1 и ε_2 , соответственно. Очевидны следующие соотношения:

$$A \sin \alpha + A \sin \beta = 2A \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2};$$

$$r_2 = OM \sin \varphi; \quad \varphi = \frac{\pi}{2} - \alpha - \theta;$$

$$r_2 = OM \cos (\alpha + \theta) = OM (\cos \alpha \cos \theta - \sin \alpha \sin \theta);$$

$$r_2 = x \cos \theta - y \sin \theta.$$

(Для упрощения принимаем амплитуды колебаний $A_1 = A_2 = A$). Точно так же $r_1 = x \cos \theta + y \sin \theta$, откуда $(r_2 - r_1) = 2y \sin \theta$.

Геометрическое место точек плоскости, в которых результирующая амплитуда будет равна нулю независимо от времени t , определяется уравнением

$$2A \cos \left(\frac{\pi}{\lambda} 2y \sin \theta \right) = 0, \quad (2)$$

откуда $\frac{\pi}{\lambda} 2y \sin \theta = 2k\pi + \frac{\pi}{2}$, где k — произвольное целое число. Этому уравнению соответствует множество прямых

$$y_k = \frac{(2k + 1)\lambda}{4 \sin \theta},$$

которые регистрируются на фотопластинке, помещенной в поле интерференции двух лучков (рис. 6.21).

Прозрачность пластинки после проявления зависит от энергии, падающей на нее во время экспонирования, т. е. от квадрата полной амплитуды в каждой точке: $E = 4A^2 \cos^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} y \sin \theta \right)$.

Энергия равна нулю, когда амплитуда равна нулю. Следовательно, мы увидим серию прямолинейных параллельных темных

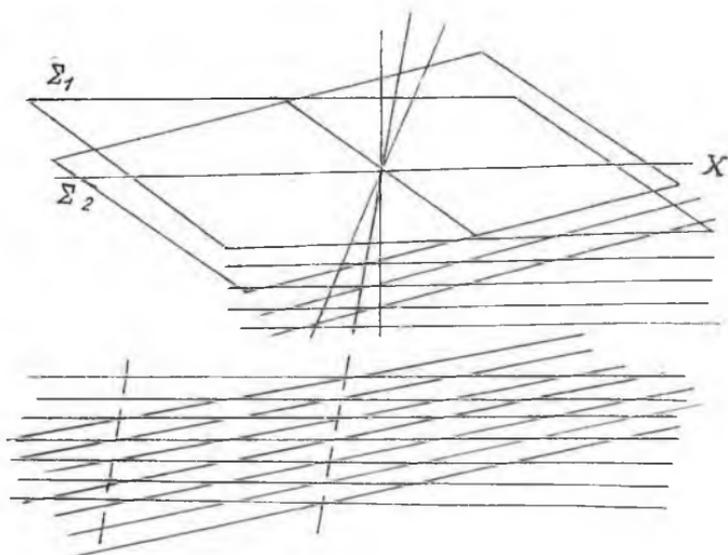


Рис. 6.21. Пространственное представление суперпозиции двух плоских волн

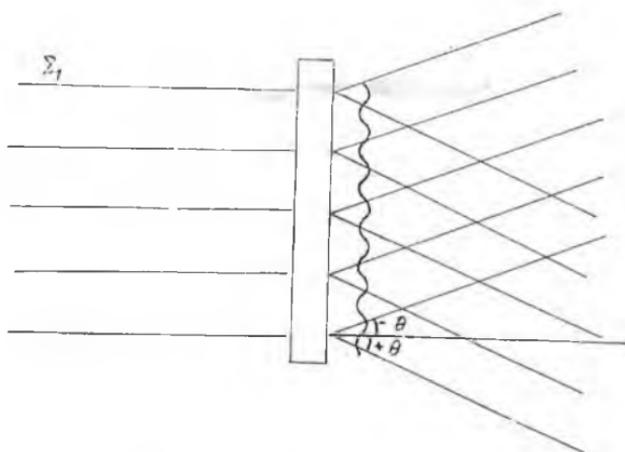


Рис. 6.22. Графическое представление дифракционных волн 1-го порядка

и светлых полос. Если пластинка составляет угол β с осью Oy (рис. 6.22), то расстояние между полосами будет

$$d_i = \frac{y_{k+1} - y_k}{\cos \beta} = \frac{\lambda}{2 \sin \Theta \cos \beta}.$$

Если принять для простоты угол $\beta = 0$ (пластинка параллельна оси Oy), то $d_i = \frac{\lambda}{2 \sin \Theta}$;

$$d_{k+1} = \frac{[(k+1) + 1]\lambda}{4 \sin \Theta}; \quad d_i = \frac{y_{k+1} - y_k}{\cos \beta} = \\ = \frac{(2k+3)\lambda - (2k+1)\lambda}{4 \sin \Theta \cos \beta} = \frac{2\lambda}{2 \sin \Theta \cos \beta}.$$

Покажем теперь, что если амплитуда и фаза вспомогательной волны известны, то по характеру интерференционной картины можно легко определить амплитуду и фазу исходной волны. Действительно, обозначив амплитуду вспомогательной волны через β , а фазу приняв равной 0, получим интенсивность суммарного поля на поверхности голограммы равной

$$I = [A \sin(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \Theta - \varphi) + B \sin \omega t]^2, \quad (3)$$

где Θ — угол между направлениями распространения волн;
 x — координата точки на светочувствительном экране.

Усредняя эту величину во времени (такое усреднение производит светочувствительный слой, а при наблюдении интерференционной картины на матовом стекле — человеческий глаз), получаем

$$\bar{I} = \int_0^t I(t) dt = \frac{A^2}{2} + \frac{B^2}{2} + AB \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \Theta + \varphi\right). \quad (4)$$

Эта величина, характеризующая интерференционную картину, пропорциональна степени почернения фотослоя. Отсюда можно определить амплитуду исходной волны:

$$\frac{(A-B)^2}{(A+B)^2} = \frac{\bar{I}_{\min}}{\bar{I}_{\max}}.$$

Фазу исходной волны также легко определить из соотношения (4).

Если принять, что в местах наибольшего почернения

$$\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \Theta + \varphi\right), \quad \text{то} \quad \varphi = \pi\left(\frac{n}{2} - \frac{2x}{\lambda} \sin \Theta\right).$$

Таким образом, амплитуду и фазу волны, исходящей от объекта (в данном случае объектом является плоское зеркало), легко определить, рассматривая результат интерференции этой волны со вспомогательной плоской волной. Дифракционная решетка

является простейшей голограммой. Разумеется, это слишком простой пример получения голограммы, но в принципе излучение, рассеянное сложным объектом, можно рассматривать как сумму плоских волн, распространившихся под разными углами. Естественно, в этом случае интерференционная картина получится весьма сложной и ее нельзя будет описать простой формулой, но общность процессов очевидна.

Сказанное выше дает основание сформулировать основные положения:

1. Вся информация, которую несут световые волны, отраженные от объекта, может быть записана в виде голограммы, т. е. в виде интерференционной картины, возникающей в результате взаимодействия этой волны с опорной вспомогательной волной.

2. Амплитуды и фазы волн, несущих изображение объекта, фиксируются определенным законом распределения почернения на светочувствительной поверхности.

3. Получение голограмм обязательно требует когерентности опорной волны и волны, рассеиваемой объектом. В оптическом диапазоне когерентность обеспечивается применением лазеров.

6.5.4. Восстановление изображения

Осветим теперь голограмму волной, подобной волне опорной e_1 (плоская волна, распространяющаяся в том же направлении, что и e_2). Принцип Гюйгенса позволяет считать каждую точку фотопластины индивидуальным источником, излучающим волну с той же фазой, какую имеет в этой точке волна e_1 (см. рис. 6.22). В результате дифракции возникнут плоские волны, распространяющиеся под различными углами. Часть энергии опорной волны пройдет сквозь решетку, сохранив прежнее направление, образуя волну нулевого порядка. Кроме того, возникают еще две плоские волны, которые распространяются под определенными углами к опорному лучу. Это волны первого порядка, а направление их распространения определяется углом Θ_1 , который связан с шагом решетки соотношением $\sin \Theta = \lambda / d_{r_i}$. Угол Θ_1 равен углу между сигнальной и опорной волнами при регистрации голограммы.

Волны первого порядка, возникающие при дифракции опорной волны на голограмме, являются точными копиями волн, которые исходили от объекта, и поэтому они формируют изображение самого объекта.

Волна первого порядка, которая идет «вниз» (см. рис. 6.22), формирует изображение объекта в том месте, где этот объект находился при регистрации голограммы. Это «мнимое изображение» объекта. Для наблюдателя, воспринимающего эту волну, безразлично, как она создана: в результате просвечивания

голограммы или в результате непосредственного отражения от реального объекта падающего на него света.

Процесс образования волн, претерпевших дифракцию на голограмме, будет обратным процессу образования интерференционной картины. Иными словами, волна, идущая от объекта, как бы «замораживается» на голограмме, а затем восстанавливается при освещении голограммы опорной волной.

Несколько слов о волне первого порядка, которая идет вверх. Появление этой волны физически легко объяснить. Дифракционная решетка плоского зеркала, образованная сигнальной и опорной волнами, может быть получена при изменении места нахождения объекта (плоского зеркала) симметрично относительно голограммы. В этом случае угол между опорной и сигнальной волнами будет равен θ , а разницы никакой на голограмме не будет заметно. И в том и в другом случае голограммы будут описываться одними и теми же формулами, поэтому при просвечивании голограммы условия для возбуждения двух волн первого порядка одинаковы. Возникают два изображения — мнимое и действительное, которые для нормального наблюдения картины объекта необходимо разделить. Это «плата» за потерю информации о местонахождении объекта при регистрации голограммы на плоский носитель.

7. МЕТОДЫ КОДИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

7.1. ПОЗИЦИОННОЕ КОДИРОВАНИЕ И МЕТОД ДЛИН СЕРИЙ

Этот важный раздел пособия начнем с высказывания одного из классиков в области программирования — Квута, который во введении к главе 2 книги «Искусство программирования для ЭВМ» пишет:

«В вычислительной машине программы обычно оперируют с таблицами информации. В большинстве случаев это не просто аморфные массы числовых величин: в таблицах присутствуют важные структурные отношения между элементами данных.

Чтобы правильнее использовать машину, важно добиться хорошего понимания структурных отношений, существующих между элементами данных, способов представления таких структур в машине и методов работы с ними» /10/.

До начала решения задачи по машинному синтезу и обработке изображений необходимо хорошо представлять себе, в каком виде будет храниться информация об изображении в памяти ЭВМ: какие возможности по обработке обеспечивает данный

способ хранения, как примерно оценить эффективность процедур обработки и другие подобные вопросы.

Любое изображение таит в себе особые свойства, выявление которых может подсказать наилучший способ представления информации об изображении и обеспечить рациональный выбор структуры данных. Не всегда существует однозначное соответствие между спецификой изображения и структурой данных для его хранения, но уточняя задачу по преобразованию изображений, конкретизируя требования и особые условия выполнения этих преобразований, мы тем самым сужаем возможный выбор альтернатив и, наконец, можем обосновать наилучший вариант.

Методы кодирования информации об изображении определяются следующими факторами:

Что кодируется, т. е. какая информация, какие параметры и признаки изображения будут представлены кодами?

Каким образом связаны между собой эти коды, какие существуют между ними отношения?

В каком виде, в какой структуре данных будут храниться эти совокупности кодов?

Рассматривая картинку, рисунок, схему и любое другое изображение, которое нам предстоит отобразить на экране терминала и обрабатывать с помощью ЭВМ, мы кроме эстетического наслаждения и интереса к содержанию картинке должны выявить ее особенности, специфику с позиций задания по ее обработке. В чем же выражаются эти особенности? Во-первых, имеет смысл прежде всего определить общую структуру всего изображения: является ли оно единым неделимым объектом, единым целым и его не следует разбивать на фрагменты и подкартинки или изображение явно «направлено» на такое разбиение. В этом случае необходимо выяснить: на какие элементы его следует разбить, учитывая количество, признаки и связи между ними. Очевидно, могут существовать несколько равноправных, на первый взгляд, вариантов и требуется обосновать лучший из них.

Чтобы наши теоретические рассуждения стали более понятными, обратимся к примерам. Представим себе несколько различных изображений, относящихся к одному классу — полноформатные, полутоновые, цветные изображения, статические.

Первое изображение — знаменитая «Мадонна с младенцем» Рафаэля (фрагмент картины «Сикстинская мадонна»). Совершенно очевидно, что ни у кого не возникнет кощунственной идеи разделить этот шедевр на фрагменты и обрабатывать каждый фрагмент отдельно (отделить руки, младенца, одежду и т. д.). Эстетическая ценность этой картины достигается удивительным единством всей композиции, где каждое изобразительное сред-

ство (цвет, тон, ракурс, рисунок, насыщенность, выражение лиц и т. д.), дополняя друг друга, создают непостижимое ощущение живой картины с глубочайшим духовным подтекстом. Если перед вами поставлена задача перенести это произведение на экран, то самым важным требованием при этом будет точность передачи всех деталей, всего изображения, насколько это возможно при имеющихся у вас технических средствах. В этом случае, пожалуй, единственным вариантом построения модели картины будет матричная модель. Матричная цифровая модель наиболее универсальна и часто используется на практике. Все изображение разбивается на точечные элементы, число точечных элементов определяется требуемой точностью воспроизведения и ограничивается объемом необходимой памяти. Обычные форматы такого разбиения — 256×256 , 512×256 , 1024×512 . Так как элементов при разбиении получается очень много (до 500 000 тыс. и более), то единственными отношениями между ними могут быть только отношения строгого порядка. Задается жесткий и неизменяемый порядок следования всех элементов кадра—один за другим по строке и строка за строкой. Каждый элемент матрицы выделяется своими признаками (цветом и яркостью), а для хранения этих признаков в памяти их значения кодируются (двоичный код яркости и двоичный код цветности).

Получается модель изображения в виде двумерной матрицы с жесткой и неизменной структурой. Такая двумерная матрица из строк может храниться в памяти ЭВМ или в памяти СОИ в структуре данных типа многомерного вектора $DV_{(k)}^n(N; R)$, где N — общее число элементов вектора, R — формат элемента; $N = I \times J$, I — число строк в структуре, J — число элементов в строке. Каждый элемент содержит информацию о признаках — яркости и цветности; R — формат элемента, определяет число бит кода яркости плюс кода цветности: $R = r_{\text{я}} + r_{\text{цв}}$; $r_{\text{я}} = \log_2 B$, где B — диапазон возможных градаций яркости, $r_{\text{цв}} = \log_2 C$ (C — диапазон возможных градаций цветности).

Метод кодирования изображений с помощью матричной цифровой модели с использованием жестко заданной структуры данных в виде многомерного вектора, получил название *позиционного или точечного кодирования*. Название определяет сущность метода — каждый элемент изображения получает свою позицию в кадре и свое место в структуре данных [3, 6].

Представим теперь другое изображение, например, картину-миниатюру школы Палеха, которое также бессмысленно разбивать на фрагменты по причинам несколько иным, чем в предыдущем случае, — на картине очень много мелких деталей, которые отличаются и яркостью, и цветом. Почти все точечные элементы кадра имеют свои индивидуальные признаки. Общій

калорит картины, которая должна восприниматься как единое целое, может быть сохранен и передан на экране лучше всего также с помощью позиционного кодирования.

Таким образом, можно сделать вывод, что изображения класса полутоновых, полноформатных (цветных или черно-белых), для которых основной задачей является формирование на экране как можно более точной копии, передающей все детали и признаки оригинала, имеет смысл моделировать в виде двумерной матрицы и использовать позиционное кодирование со структурой данных типа двух- трехмерного вектора.

С этих позиций другая полутоновая черно-белая картина, передающая, например, панораму современного индустриального города, также моделируется в виде единой матрицы признаков. Однако, анализируя более детально свойства такого изображения, иногда можно заметить, что черный тон определенного уровня яркости является на картине доминирующим (занимает площадь более 50%), кроме того, на картине могут просматриваться большие однотонные области. Это означает, что признаки точечных элементов для этих областей будут одинаковы и, следовательно, в матрице признаков будет храниться избыточная информация. Устранить избыточность можно, если применить другой метод кодирования — метод длин серий, известный в теории сжатия данных.

Принцип кодирования методом длин серий заключается в том, что строится матрица, подобная первому варианту, но элементы матрицы содержат несколько другую информацию. Каждый элемент состоит минимум из двух подэлементов, в одном из которых хранится код яркости (код цветности, или тот и другой коды), а другой подэлемент хранит код числа элементов по строке, которые имеют одинаковые или отличающиеся на заданный порог Δp признаки. Формат элемента увеличивается, но при этом число их может быть существенно уменьшено. Так, по статистике, большинство полутоновых изображений имеют единые по своим признакам области, включающие по строке от 8 до 32 и более элементов, при этом объем памяти можно уменьшить в 4—16 раз.

Особенно эффективен такой метод кодирования в тех случаях, когда изображение не требует точной передачи тонов (рис. 7.1). Это фотография «современной мадонны», которая, в отличие от сикстинской, забросила свое родное дитя и занимается очень важным и ответственным делом — вводом данных. На картине ясно просматриваются очень большие области одинаковой яркости и цветности. Применение метода длин серий при кодировании этого изображения может уменьшить затраты памяти в 32 раза, что очень существенно.



Рис. 7.1. Изображение, эффективно кодируемое методом длин серий

Можно получить и большую экономию памяти, если каждую строку кодировать разным числом элементов с различной длиной серии. Так, очевидно, что первые несколько строк и вся верхняя половина рисунка имеют существенно более длинные области, чем, скажем, строки в середине картины, пересекающие устройство ввода. Изменяя число элементов от строки к строке, в соответствии с характером изображения, мы экономим память, но получаем прямоугольную матрицу, с которой значительно сложнее работать.

Структура данных в этом случае будет представлять звено векторов *DZV*. Изменение такой структуры, поиск элемента и ее формирование требуют при реализации большого времени и неэффективны, поэтому метод длин серий с прямоугольной матрицей обоснован только в том случае, когда изображение требуется сформировать, но не нужно обрабатывать.

Метод длин серий с прямоугольной матрицей данных требует больших затрат, так как для всех строк матрицы принимается максимальная длина, определяемая по строке, где число переходов от одной яркости к другой, максимально (наибольшая пространственная частота). Следует заметить, что кодирование длин серий в любом варианте возможно лишь при использова-

нии специальных аппаратных блоков упаковки данных и их распаковки.

Таким образом, можно сделать заключение, что полутоновые, полноформатные, цветные (или черно-белые) изображения имеет смысл кодировать либо позиционным методом, либо длинной серий, если число элементов изображения, наделенных особыми признаками, сопоставимо с числом элементов кадра. И тот и другой метод кодирования обладают особыми свойствами, которые характеризуют эффективность выполнения над ними некоторых процедур обработки и преобразования и, наоборот, затрудняют реализацию других процедур.

Цифровая модель позиционного кодирования:

$$A_{(k)} \ni a_{i \times j} (pb; pc) \perp x(j_0) = 0; y(i_0) = Y; i, j \in I, J; \\ I = Y; J = X; N = I \times J; \delta x = 1; \delta y = -1.$$

Принимается начальный элемент матрицы — левый верхний, координаты которого (в первом квадранте) будут иметь значения $x_0 = 0$, $y_0 = Y$. Число элементов матрицы соответствует числу элементов координатной системы $I = Y$, $J = X$ (матрица на весь кадр).

Структура данных позиционного кодирования: элемент данных $DV_{i \times j}$ или $DZ_{i \times j}$ или $d_{i \times j} (\lambda; r)$.

Строка — вектор $DV_i (J; R_1) = \{DV_{i \times j} \text{ или } DZ_{i \times j} \text{ или } d_{i \times j}\}$.

Матрица — двумерный вектор

$$DV_{(k)}^2 (I; R_2) = \{D_{km}; d_l; d_j; \{dV_i (J; R_1)\}\},$$

где $i, j \in \{0..I; 0..J\}$ i — индекс строки, j — индекс элемента в строке,

d_{km} — квант кода имени, d_l — квант числа строк, d_j — квант числа элементов, R_1 — формат элемента, $\{d_{km}; d_l; d_j; d_R\}$ — идентификатор структуры.

Обычно элемент структуры — квант $d_{i \times j} (\lambda; r)$, λ — значение признака элемента, $r = \log_2 \lambda_{\max}$, где λ_{\max} — диапазон градаций признака (в этом случае кодируется один признак).

Для бинарных изображений λ -булева (0, 1), $r = 1$.

Если кодируются два признака — яркость и цветность, то элемент $DZ_{i \times j}$, когда диапазоны pb и pc существенно отличаются $pb = 256$, $pc = 4$, $r_{pb} = 8$, $r_{pc} = 2$.

Затраты памяти $Q = (I \times J) R_1$.

Стоимость (по времени) поиска элемента ρ :

$$\rho \approx 1/2 (I \times J) \xi^i \text{ или } \rho \approx \xi^a$$

для прямого доступа.

Методом позиционного кодирования можно представить любое изображение, но его применение для изображений (рис. 7.2 — 7.7) будет явно неэффективным.

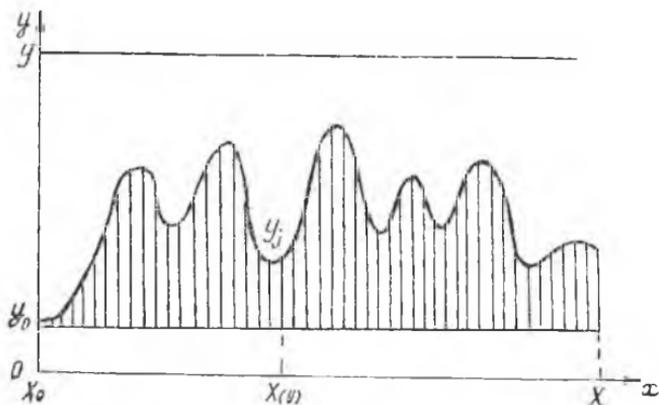


Рис. 7.2. Изображение в виде диаграммы

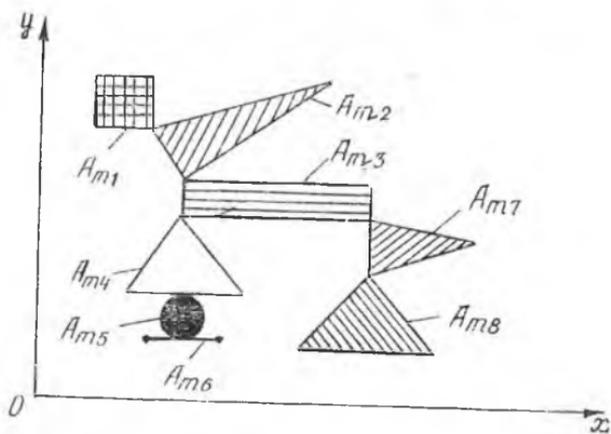


Рис. 7.3. Геометрические фигуры

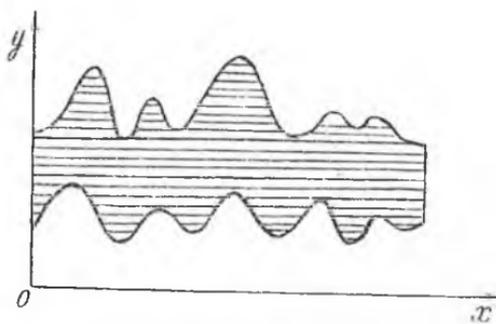


Рис. 7.4. Изображение в виде однотонной области

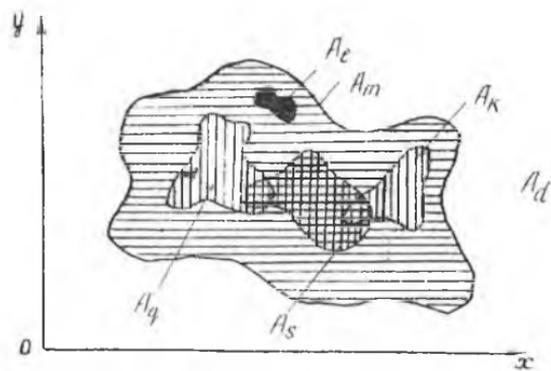


Рис. 7.5. Изображение в виде совокупности областей различной яркости

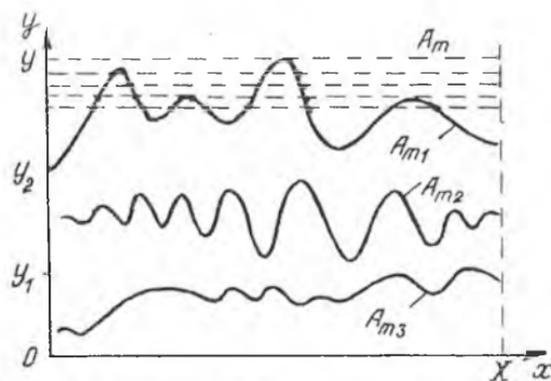


Рис. 7.6. Однозначные графические зависимости

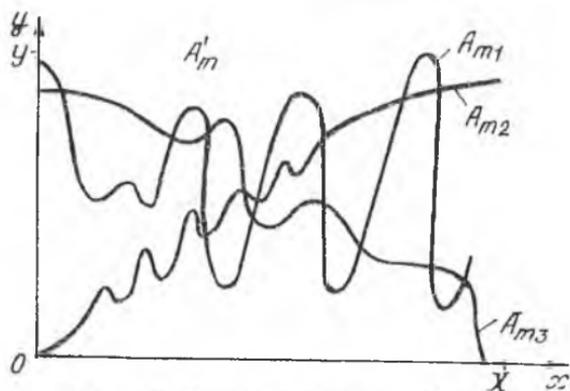


Рис. 7.7. Пересекающиеся графики

Цифровая модель для метода длин серий:

$$A_{(k)} \ni A_{i \times j} (pb; pc; \Delta l) \perp \Delta p; x(j_0) = 0; y(i_0) = Y;$$

$$\delta_j = k_1 \delta x \subset \Delta x; \Delta x_{\max} = \text{const}; i, j \in I, J; x, y \in X, Y;$$

$$I = Y; J < X; N = I \times J, \text{ где } K; \text{ var: } J = x/k_2;$$

$A_{i \times j}$ — элемент-образ (ряд следующих друг за другом точек, длиной Δl , имеющих одинаковые признаки pb);

Δp — заданный порог признака, определяющий одинаковость элементов $k_2 > 4$ (при меньшем значении метод не имеет смысла);

$v(j_0) = 0$ — координаты нулевого начального элемента матрицы;

$\delta j = k_1 \delta x$ — расстояние по координатной оси x между двумя элементами-образами $A_{i \times j}$ и $A_{i \times j+1}$; N — число элементов в цифровой модели.

Структура данных: элемент $DV_{i \times j} = \{d_p(\lambda, r); dl(\lambda, r)\}$.

Структура $DV_{(k)}^2(N_1; R_1)$, N_1 — число элементов двумерного

вектора (число строк), R_1 — формат строки. В каждой строке

N_2 элементов $DV_{i \times j}$; $DV_i(N_2 R_2)$, R_2 — формат элемента, равный

$$r_p + r_l = R_2 DV_{(k)}^2 = \{d_{km}; d_i; d_j; d_{R_2}; \{DV_{i \times j}\}\}.$$

d_{km} — квант имени, d_i — квант числа строк, d_j — квант числа элементов в строке, d_{R_2} — квант, определяющий формат элемента, $\{d_{km}; d_i; d_j; d_{R_2}\}$ — идентификатор структуры.

Требуемая память $Q = (I \times J) R_2 = (I + x/K_2) R_2$;

$$R_2 = r_p + r_l; r_p = \log_2 pB; r_l = \log_2 L_{\max}.$$

Стоимость по времени поиска элемента, выражаемая в количестве операций $\xi^i, \xi^a, \xi^k, \xi^+$; $\rho \cong 1/2(I \times J) \xi^i$ — средняя оценка для памяти с последовательным доступом, ξ^i — шаг по структуре, ξ^a — операция адресации, $\rho \cong \xi^a$ — для памяти прямого доступа.

На рис. 7.8...7.11 даны изображения, которые могут быть эффективно закодированы методом длин серий.

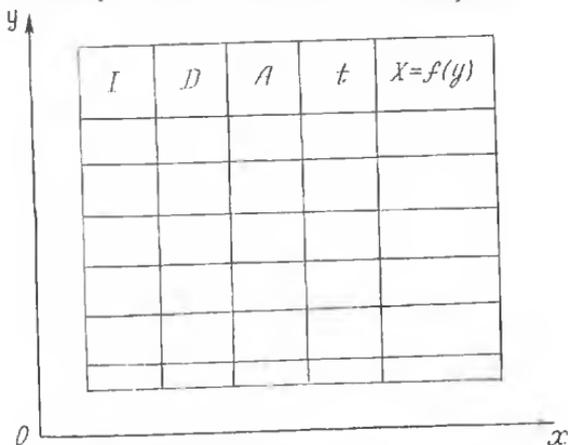


Рис. 7.8. Изображение — таблица

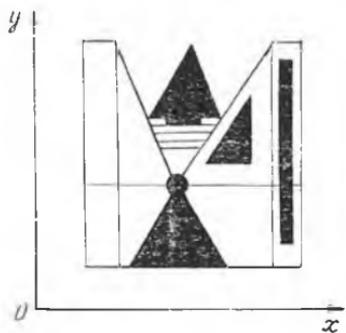


Рис. 7.9. Изображение—символ

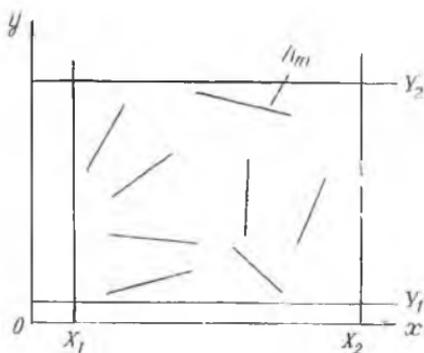


Рис. 7.10. Совокупность хаотически расположенных векторов

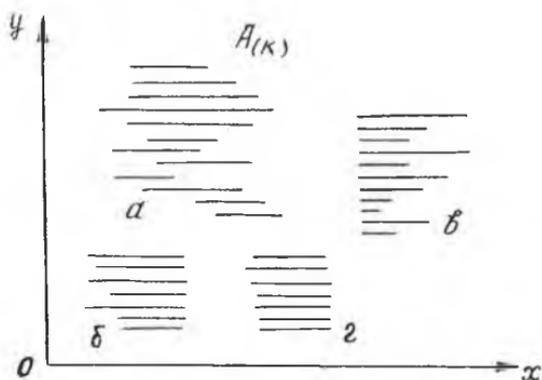


Рис. 7.11. Упорядоченная последовательность векторов, параллельных оси x

7.2. КООРДИНАТНОЕ КОДИРОВАНИЕ

Для тех изображений, где число элементов очень невелико в сравнении с количеством элементов всего кадра (рис. 7.12—7.14), использование позиционного кодирования и метода длин серий представляется расточительным, так как слишком много информации, хранимой в памяти, будет избыточной и ненужной. Почти все элементы кадра будут иметь нулевые значения признаков (например, для контурных изображений или графических зависимостей). Метод длин серий более экономен, но все равно необходимо хранить все строки кадра с указанием кода длины серии. При этом специфика изображения (его фрагментарность) будет теряться, кроме того, обраба-

тивать изображение, представленное длинами серий, можно только особым образом, с помощью специальных алгоритмов и специальных аппаратных средств.

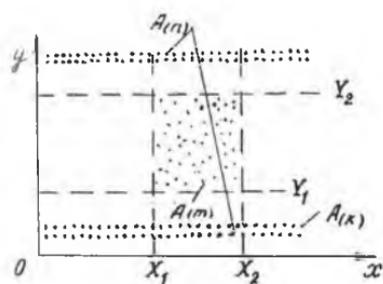


Рис. 7.12. Множество точекных неупорядоченных элементов, расположенных в ограниченном пространстве

Каким же способом лучше всего хранить данные об изображении такого вида? Абсолютно лучшего способа быть не может, так как одни варианты могут быть эффективнее в одном случае, при выполнении одних процедур обработки, другие — при других процедурах и других условиях их реализации. Рассмотрим несколько предложений и попробуем качественно их оценить.

На первый взгляд, самым простым и удобным вариантом кодирования кажется координатный метод. Это метод, при котором все элементы хранятся в памяти с определением кодов, соответствующих их расположению в координатной системе. Если элементами являются точки, то изображение $A_{(k)}$ представляется как совокупность точек, заданных своими координатами x, y или x, y, z (если образ пространственный). Каждый такой элемент может быть дополнительно снабжен другими признаками — яркостью, цветом и т. д., если эти признаки отличают элементы друг от друга:

$$1) A_{(k)} \ni a(x, y) \perp pb; 0 \leq x \leq X; 0 \leq y \leq Y.$$

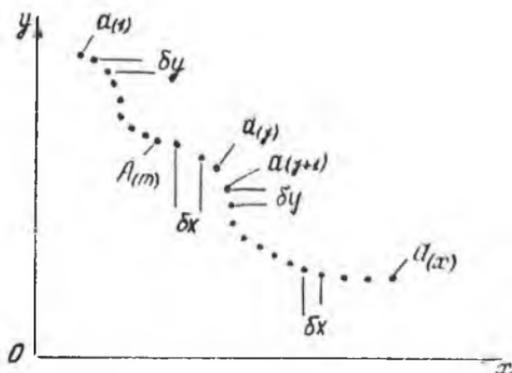


Рис. 7.13. Частично упорядоченная последовательность точек

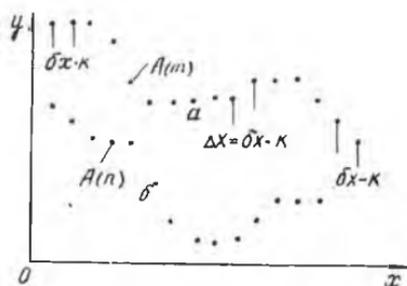


Рис. 7.14. Контур с упорядоченным расположением точекных элементов по оси x

$$2) A_{(k)} \ni a(x, y; pb; pc) \perp X_1 \leq x \leq X_2; Y_1 \leq y \leq Y_2; N.$$

$$3) A_{(k)} \ni \bar{a}b(x, y; x_2, y_2; pb) \perp x \geq X_1; 0 \leq y \leq Y_2.$$

Каждый элемент совершенно независим от других и всю информацию о себе хранит в своей ячейке или области памяти. Отметим, что никакой порядок в расположении элементов не соблюдается (хотя есть случаи, когда этот порядок необходимо фиксировать). Помимо этого, если потребуется идентифицировать элемент, найти его среди множества других, то поиск можно осуществить только по его расположению в координатной системе, т. е. по кодам x и y . Это соответствует случаю, когда человека ищут не по его признакам, а по его местоположению в данный момент времени.

Таким образом, координатный способ кодирования «в чистом виде» является наиболее свободным, наименее жестким, так как представление элемента никак не меняется с изменением внешней обстановки. Но координатный способ нельзя назвать экономным, практически каждый элемент хранит все свои признаки.

Координатное кодирование имеет ряд модификаций. Если множество элементов является упорядоченным и к тому же линейным (т. е. один элемент следует за другим), то и координаты элементов также имеет смысл располагать в той же последовательности. В этом случае все элементы будут иметь свой индекс, по которому их можно будет отыскивать среди множества других (рис. 7.15, 7.16):

$$A_{(k)} \ni a_j(x, y) \perp pb; pc; 0 \leq x \leq X_1;$$

$$A_{(k)} \ni \bar{a}b_j(x_1, y_1; x_2, y_2; pb) \perp pc; y \leq Y_1,$$

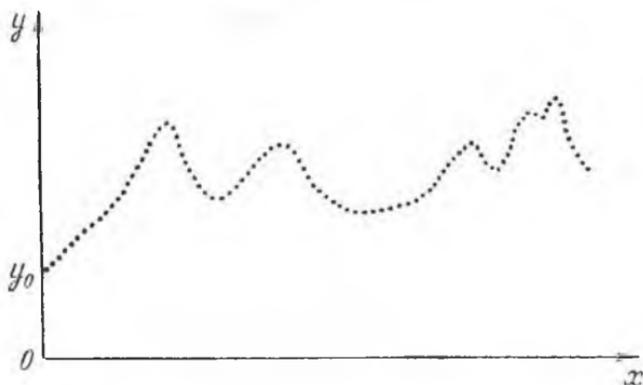


Рис. 7.15. Точечное представление графической зависимости

при этом в описании необходимо указывать первый элемент последовательности:

$$A_{(k)} \in a_j(x, y) \perp x(j_0) = \quad ; pb; pc \dots$$

Запись означает, что координата x , соответствующая элементу с индексом j_0 , имеет заданное значение.

Запись координатным способом линейного упорядоченного множества помогает ускорить поиск элементов.

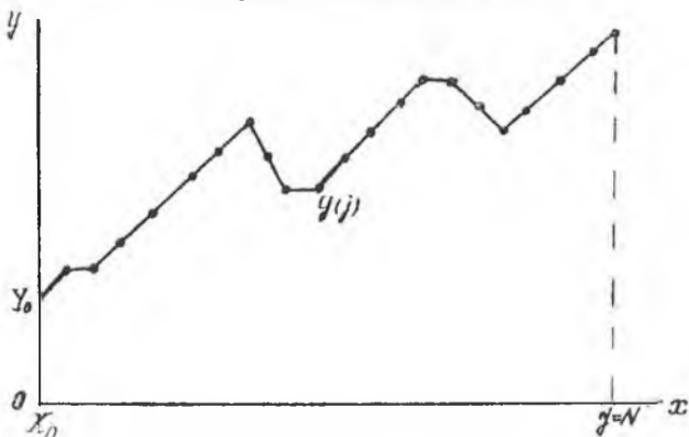


Рис. 7.16. Аппроксимация графика кусочно-линейным способом

Цифровые модели координатного кодирования:

$$1. A_{(k)} \equiv a(x, y) \perp pb; 0 \leq x \leq X; 0 \leq y \leq Y; N < X \times Y.$$

$$2. A_{(k)} \equiv \bar{a}b(x_1, y_1; x_2, y_2) \perp pb; 0 \leq x \leq X; y \leq Y_1; \bar{\cap} = 0.$$

$$3. A_{(k)} \equiv \bar{a}b(x, y; \Delta x; \Delta y) \perp pb; pc; x > X_1.$$

$$4. A_{(k)} \equiv \bar{a}b(x, y; \Delta x, \Delta y; pb; pc) \perp x \geq X_1; 0 \leq y \leq Y_1; N.$$

Образы, состоящие из элементов типа точка и вектор, могут кодироваться координатным методом — множество элементов образа представлено в памяти своими координатами в некоторой выбранной координатной системе X, Y . Последовательность расположения элементов не определяется и может быть любой. Если элементы образа отличаются друг от друга яркостью и цветом, то коды этих признаков также хранятся в памяти вместе с координатами. Цифровые модели могут описывать свойства этих образов — число элементов (если оно фиксировано), диапазоны координат, общие значения признаков и другие (например, $\bar{\cap} = 0$ пересечение $\bar{a}b$).

Структура данных: элемент данных — непонимавший вектор или звено DV или DZ :

$dV(N_1; r) = \{d(\lambda_i), r\}$; λ_i — значения координат,

$dV(N_1; r) = \{d(\lambda); r; N_1\}$, N_1 — от 2 до 5.

Структура $DV_{(x)}^2 = \{d_{km}; d_R; \{dV\}; d_e\}$,

d_e — квант, определяющий указатель конца вектора.

Если число элементов фиксировано, то

$DV_{(x)}^2 = \{d_{km}; d_R; d_N; \{dV\}\}$,

$R = r_x + r_y + r_{p1} + r_{p2}$; $r_x = \log_2 X$; $r_y = \log_2 Y$,

$r_p = \log_2 P$ (P — диапазон изменения кодируемого признака).

Затраты памяти: $Q = N(r_x + r_y + r_p)$ — когда N фиксировано.

При работе со структурой операция поиска элемента \bar{p} осуществляется многократным сравнением \approx^k значений λ_x и λ_y . Обычно $R = (r_x + r_y) \geq 16$.

При формировании цифровой модели изображения возникает вопрос о числе элементов. Если число задано заранее или может быть рассчитано, то в описании указывается константа N , определяющая это число. Если же количество элементов в изображении неизвестно или изменяется в широких пределах, это также должно быть отражено в цифровой модели.

В последнем случае память для размещения структуры данных будет динамически меняться в процессе обработки изображения, что существенно увеличит время обработки. На практике все же стремятся фиксировать число элементов, устанавливая N по максимальному пределу:

$A_{(k)} \ni a_j(x, y; pb) \perp (j_0); pc; N_{\max}$.

$A_{(k)} \ni a_j(x, y) \perp x, y(j_0); pb; pc; N \leq N_m$.

Встречаются случаи, когда элементы не упорядочены, но их можно условно расположить в определенной последовательности по строкам и столбцам. В этом варианте появляется возможность группировать координаты, например, по строке и хранить координату y одну на всю строку. Такое координатное кодирование будем называть *параллельно-осевым* (горизонтальным или вертикальным):

$A_{(k)} \ni a_j(x) \perp y = \text{const}; x(j_0); N$.

$A_{(k)} \ni a_j(y) \perp x = \text{const}; y(j_0); N$.

Параллельно-осевое кодирование можно применить не только к изображениям из точек, но также для кодирования изображений из векторов, которые все параллельны между собой и

параллельны одной из осей x или y . Это изображение класса областей (полей) одной яркости и цветности, а также сложные изображения, состоящие из множества полей различной яркости и цветности, накладываемых друг на друга (рис. 7.17—7.19):

$$A_{(k)} \ni \bar{a}b_j(x_1; x_2) \perp y; x_1(j_0); x \leq X_1;$$

$$A_i \ni \bar{a}b_j(x_1; x_2) \perp y; x_1(j_0); N.$$

$$A_j \ni \bar{a}b_i(y_1; y_2) \perp x; y_1(i_0); N.$$

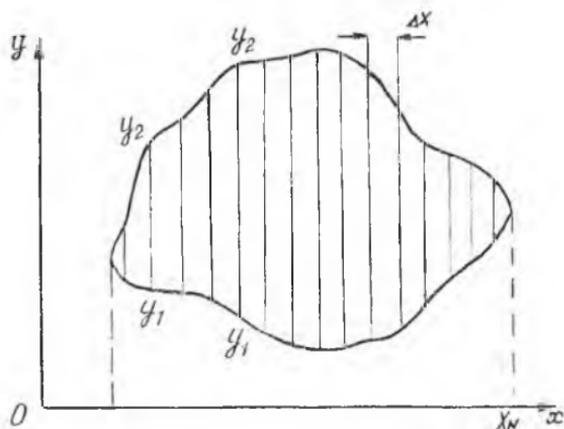


Рис. 7.17. Однотонная область, раскрашенная вертикальными векторами

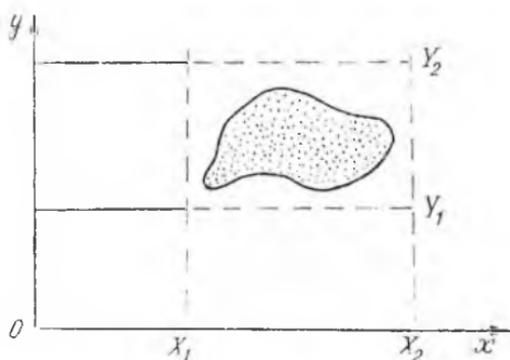


Рис. 7.18. Однотонная область, раскрашенная точками

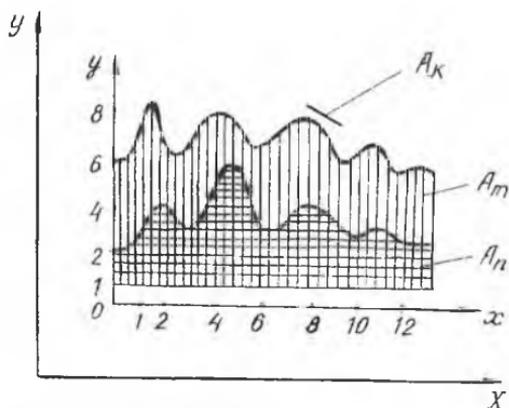


Рис. 7.19. Области различной яркости, образованные графиками

Параллельно-осевое кодирование особенно эффективно при растровых методах формирования изображений. Обычное координатное кодирование инвариантно методу формирования, а кодирование линейной последовательностью координат соответствует функциональному методу получения изображений.

7.3. МЕТОД ЕДИНИЧНЫХ ПРИРАЩЕНИЙ

Анализируя линейный порядок следования координат для изображений, состоящих из непрерывных линий (контурные изображения), можно прийти к выводу, что хранение координат каждого элемента — недопустимое расточительство. Действительно, соседние элементы (точки) отличаются друг от друга по расположению не более, чем на ± 1 шаг по x и шаг по y . Это очевидно, так как непрерывная линия может проходить только по узлам координатной сетки (задана дискретными значениями координат). Эту особенность непрерывных контурных изображений не учитывает координатное кодирование и, соответственно, расходует при этом лишнюю память. Затраты памяти можно сократить, если использовать более подходящий для данного случая метод единичных приращений. Устанавливается начальная координата элемента контура, а каждый следующий элемент кодируется единичными приращениями $\pm \delta x$ и $\pm \delta y$:

$$A_{(k)} \ni a_j (\pm \delta x; \pm \delta y) \perp x, y (j_0); N.$$

Число элементов контурной линии, вообще говоря, неизвестно, так же как и в координатной последовательности (рис. 7.20 — 7.22). Однако, учитывая небольшие затраты памяти, можно

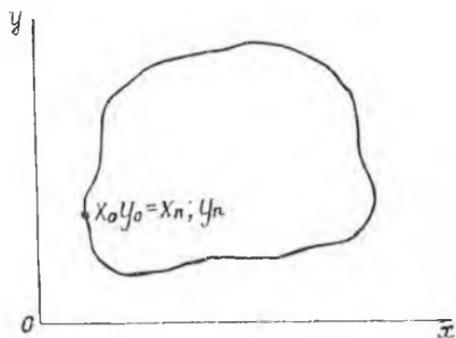


Рис. 7.20. Контурные изображения

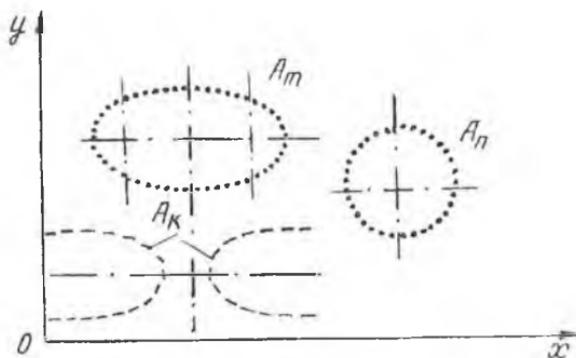


Рис. 7.21. Изображения, заданные аналитически

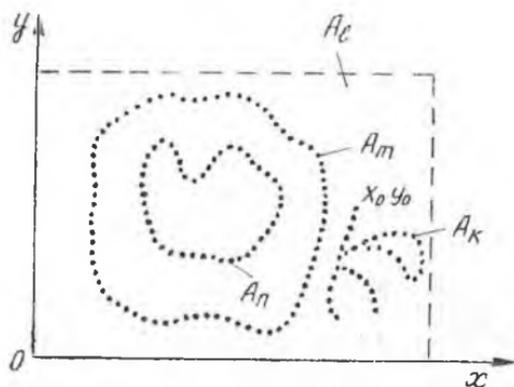


Рис. 7.22. Сложные контурные изображения из точек

выделить для хранения столько ячеек, сколько вообще необходимо для линии максимальной длины.

Цифровая модель метода единичных приращений:

$$A_{(k)} \ni a_j (\pm \delta x; \pm \delta y) \perp x, y (j_0); pb; pc; 0 \leq x \leq X.$$

$$0 \leq y \leq Y; \delta y; \delta x = \delta j; j = \{0 \dots J\}; J > X; N_{\max}.$$

Метод единичных приращений строится на основе свойств непрерывных линий, заданных дискретными значениями. Каждая последующая точка линии отличается по расположению от предыдущей на единичные значения координат $\pm \delta x$ и $\pm \delta y$. Число элементов образа, как правило, превышает число координатных единиц по одной из осей (кроме случая прямых, параллельных одной из осей).

Структура данных: элемент данных — всегда вектор с фиксированным и постоянным числом разрядов: $DV_j (4; 1)$, где $N_1 = 4$ (число элементов вектора), $r = 1$ — разрядность каждого вектора, λ_1 — код знака, λ_2 — код x , λ_3 — код знака, λ_4 — код y .

$$\text{Структура: } DV_{(k)}^2 = \{d_{km}; d_{N_1}; d_{N_2}; DV_{j_0}; \{dV_j\}\}$$

$$\text{или } DV_{(k)}^2 = \{d_{km}; d_{N_1}; DV_{j_0}; \{dV_j\}; d_e\},$$

где N_1 — число элементов — DV_j в структуре;

N_2 — число элементов в векторе DV_j ,

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4; (\pm x; \pm y); r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 1;$$

DV_{j_0} — вектор начальных координат образа.

Двумерный вектор $DV_{(k)}^2$ при использовании метода единичных приращений может быть с фиксированным числом элементов N_1 (обычно $N_1 = N_{\max}$) или с признаком конца структуры d_e . В последнем случае работа со структурой усложняется (динамически необходимо перераспределять память).

Затраты памяти $Q = 1/2 N_1$ байт, N_1 — число элементов (точечных) в образе, $\rho \approx 1/2 N \xi^i$ — операция поиска элементов в структуре.

Метод особенно эффективен для выполнения процедур обработки контурных прямых (процедура сдвига изображений, определение длины, площади, сравнения длин и т. д.).

7.4. МЕТОД ОРДИНАТ

Цифровые модели метода ординат:

$$A_{(k)} \ni a_j (y) \perp x (j_0) = 0; x, y \in X, Y; 0 \leq y \leq Y;$$

$$\delta j = \delta x; pb; pc = 0; N = J = X.$$

$$(a \times a) \in \{ \forall (a \times a) 1 \rightarrow 1; x \rightarrow y; y \rightarrow n_2 x \};$$

$$A_{(k)} \ni a_j (\Delta y) \perp x, y (j_0); x, y \in X, Y; 0 \leq \Delta y \leq Y_1; \delta j = \delta x;$$

$$pb; pc = 0; N = J = X. (a \times a) \in \{ \forall (a \times a) 1 \rightarrow 1; x \rightarrow y; y = n_2 x \}.$$

Этот метод кодирования используется для однозначных графических зависимостей, для которых характерна следующая закономерность — каждому значению x соответствует единственное значение y , т. е. существует однозначность $x \rightarrow y$. В этом случае, задавая упорядоченную последовательность значений абсцисс, мы получаем упорядоченное множество значений ординат. Если однозначность существует для другого направления $y \rightarrow x$, то ординаты являются аргументами, а x — функциями. Вторая цифровая модель, в отличие от первой, хранит приращения Δy .

Структура данных: элемент данных — квант $d_j (\lambda; r)$, где $r_j = \log_2 Y$ или $r_j = \log_2 \Delta Y_{\max}$; $\lambda_j = y_j (j)$.

Структура данных — вектор квантов:

$$DV_{(k)} = \{d_{nm}; d_N; d_r; d_{j_0}; \{d_j (\lambda), r\}\}.$$

Метод ординат позволяет оптимально (с минимумом затрат памяти и высоким быстродействием) проводить обработку графиков. Такие процедуры, как выборка и изменение значений (единичных и в цикле), сдвиги, редактирование, работа с маркером, сравнение графиков и т. д. реализуются на основе вектора данных просто и рационально.

Затраты памяти $Q = N \log_2 Y$ или $Q = N \log \Delta Y_{\max}$. Число элементов вектора всегда $X = N$. Операция ρ имеет стоимость по времени, выражаемую соотношением $\rho \approx 1/2 N \xi^i$ в памяти последовательного доступа и $\rho \approx \xi^a$ — в памяти прямого доступа.

7.5. МЕТОД МАТРИЦ ЗНАКОМЕСТ

Цифровая модель метода матриц знакомест:

$$A_{(k)} \ni S_{i \times j} (adr_s) \perp x (j_0); y (i_0); q = H \times L; x, y \in X, Y.$$

$$i, j \in I, J; \delta j = L \delta x; \delta i = H \delta y; I = Y/H; J = X/L; N = I \times J.$$

$$S_{i \times j} \ni a_{h \times l} (pb) \perp y (h_0); x (l_0); h, l \in H, L; \delta h = \delta y; y = H \times l.$$

Цифровая модель представляет собой строго упорядоченную последовательность структурно-индексируемых кодов $S_{i \times j}$, каждый из которых соответствует адресу определенного символа (adr_s) из стандартного набора литер *ASCII*. Все символы набора составляют алфавит символов и имеют свое определенное место в памяти алфавита. Общие свойства образа, модели-

рующего изображение, состоящее из типовых, стандартных элементов (текст), определяют координаты начального символа $x(j_0)$; $y(i_0)$, размер символа $q = H \times L$, соотношения между элементами матрицы знакоместа и единицами координатной сетки $\delta_j = L\delta x$, число символов в строке и число строк $J = X/L$; $I = Y/H$. Второе выражение описывает модель одного символа в виде матрицы знакоместа, состоящей из H строк по L точечных элементов в каждой строке.

Структура данных: при аппаратной реализации элемент структуры — квант данных $d_{i \times j}(\lambda, r)$, где λ — код выбора символа, r — размерность кода (обычно $r = 8$).

Структура $DV_{(r)}^2(N; r) = \{d_{km}; d_i; d_j; \{d_{i \times j}(\lambda), r\}$. Алфавит символов — аппаратный блок, где хранятся закодированные описания всех символов набора. По коду выбора можно получить и визуализировать требуемый символ. При программной реализации алфавит хранится в специальной памяти и заносится туда перед считыванием. Затраты памяти $Q = Nq = I \times J \times H \times L$ бит.

Задание по разделу 7

1. Постройте цифровые модели изображений, представленных на рис. 7.23—7.33.

2. Сравните возможные варианты цифровых моделей и кратко их охарактеризуйте.

3. От каких факторов зависит выбор метода кодирования?

4. Перечислите методы кодирования, эффективно реализующие модели изображений следующих классов: полноформатные полутоновые, графические зависимости, контурные кривые, геометрические фигуры, текстовые изображения и т. д.

5. Какой из методов кодирования самый экономный? самый универсальный?

6. Рассчитайте требуемые объемы памяти для хранения изображений, закодированных разными способами.

На рис. 7.34—7.37 предоставлены функциональные схемы систем отображения, реализующих различные методы кодирования изображений. Определите основные проблемы, возникающие при организации различных методов кодирования.

Можно ли построить систему отображения, реализующую все методы кодирования?

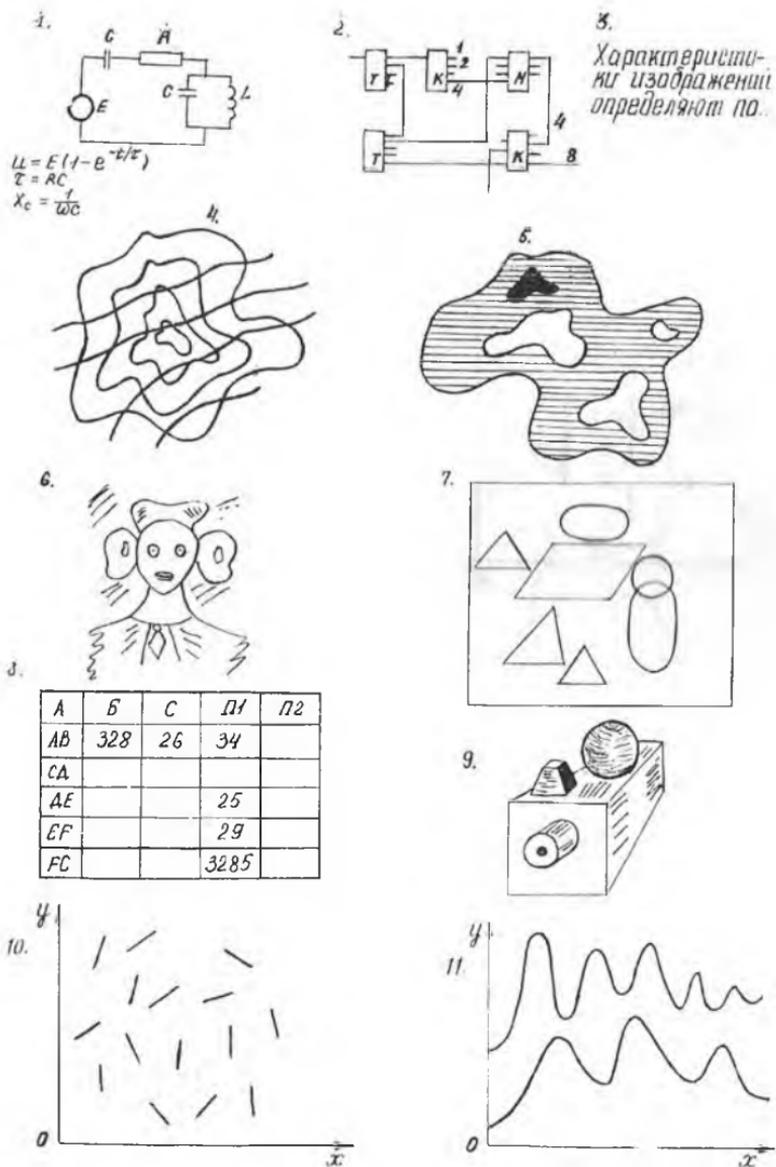


Рис. 7.23

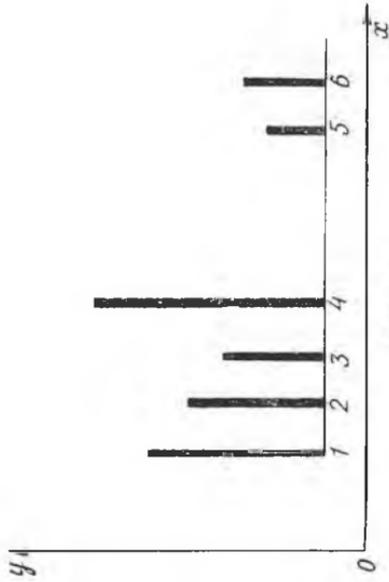


Рис. 7.24

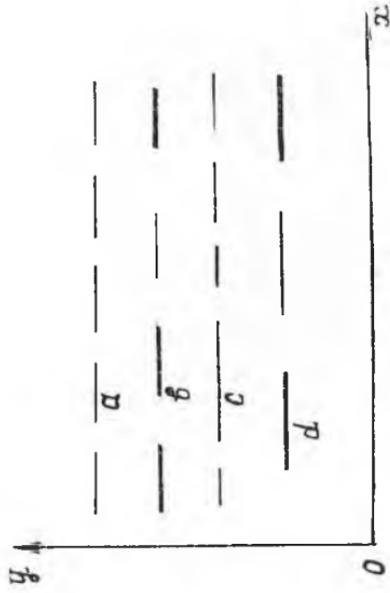


Рис. 7.26

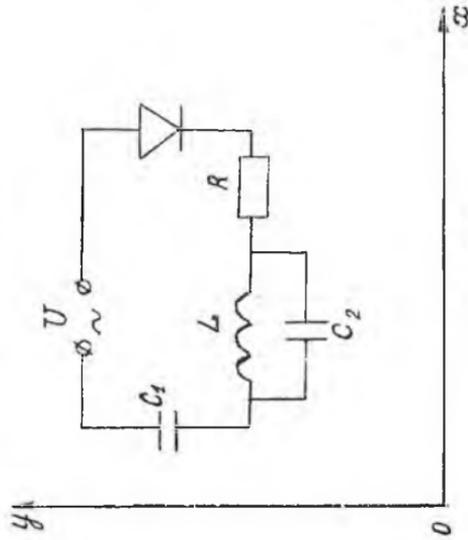


Рис. 7.25

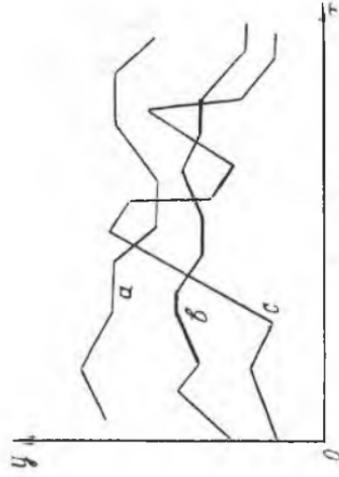


Рис. 7.27

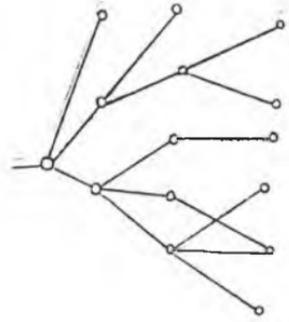


Рис. 7.28

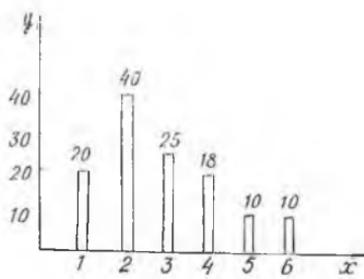


Рис. 7.29



Рис. 7.30

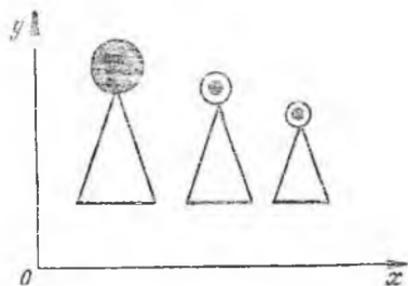


Рис. 7.31

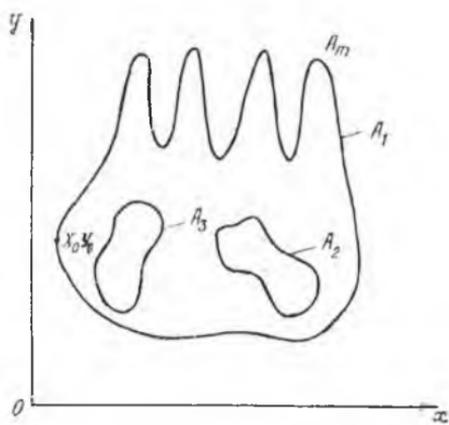


Рис. 7.32

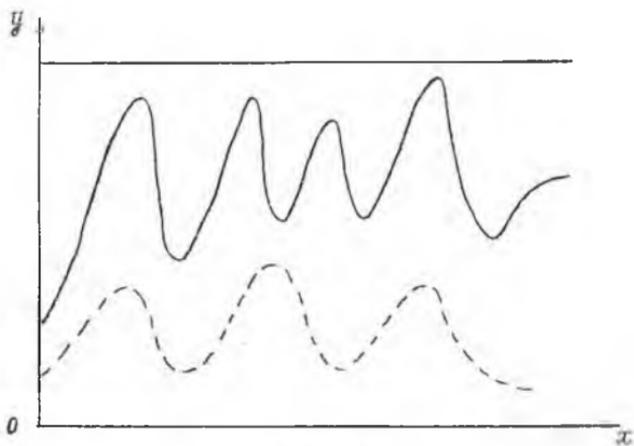


Рис. 7.33

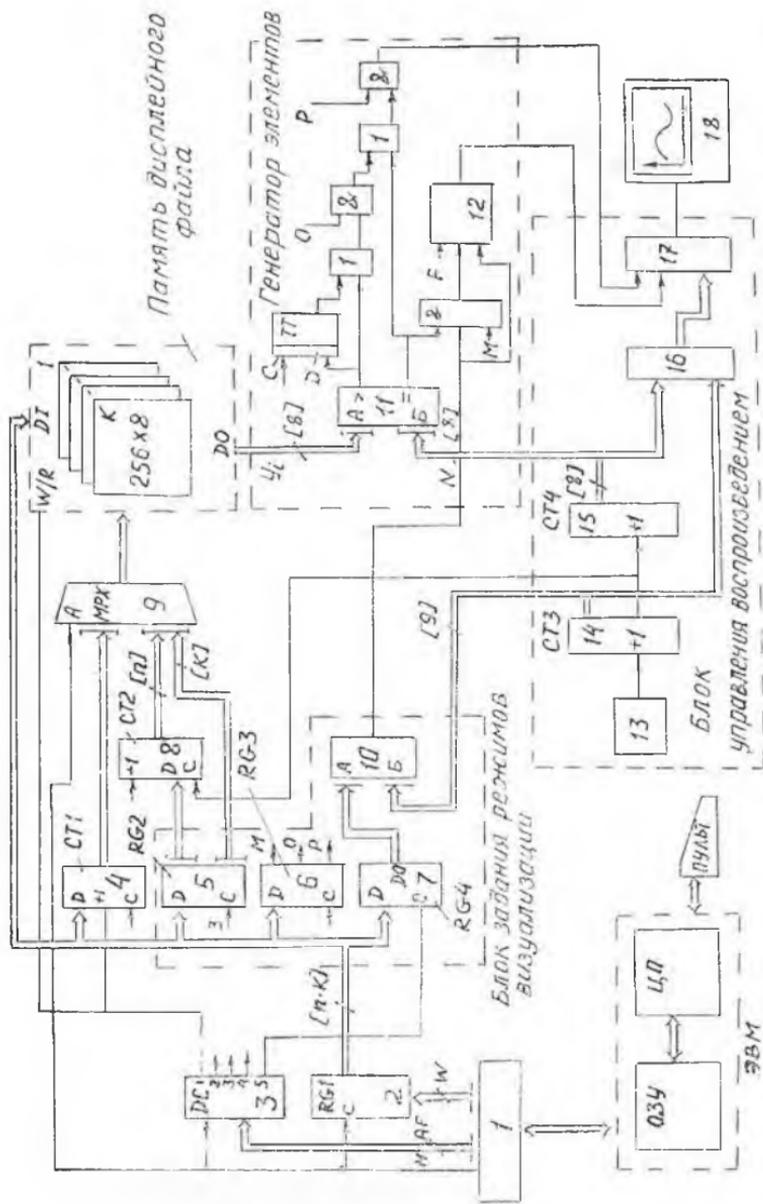


Рис. 7.35. Структурная схема графической растровой системы отображения: 1 — крест-контролер; 2 — входной регистр RG1; 3 — дешифратор команд; 4 — счетчик адреса памяти CT1; 5 — регистр адреса начала воспроизведения графика RG2; 6 — регистр управляющего слова RG3; 7 — регистр адреса маркера RG4; 8 — счетчик адреса воспроизведения CT2; 9 — адресный мультиселектор; 10, 11 — схемы сравнения; 12 — схема формирования изображения маркера; 13 — задающий генератор; 14 — счетчик элементов; 15 — счетчик строк; 16 — формирователь синхросмесей; 17 — формирователь видеосигнала; 18 — телевизионный приемник

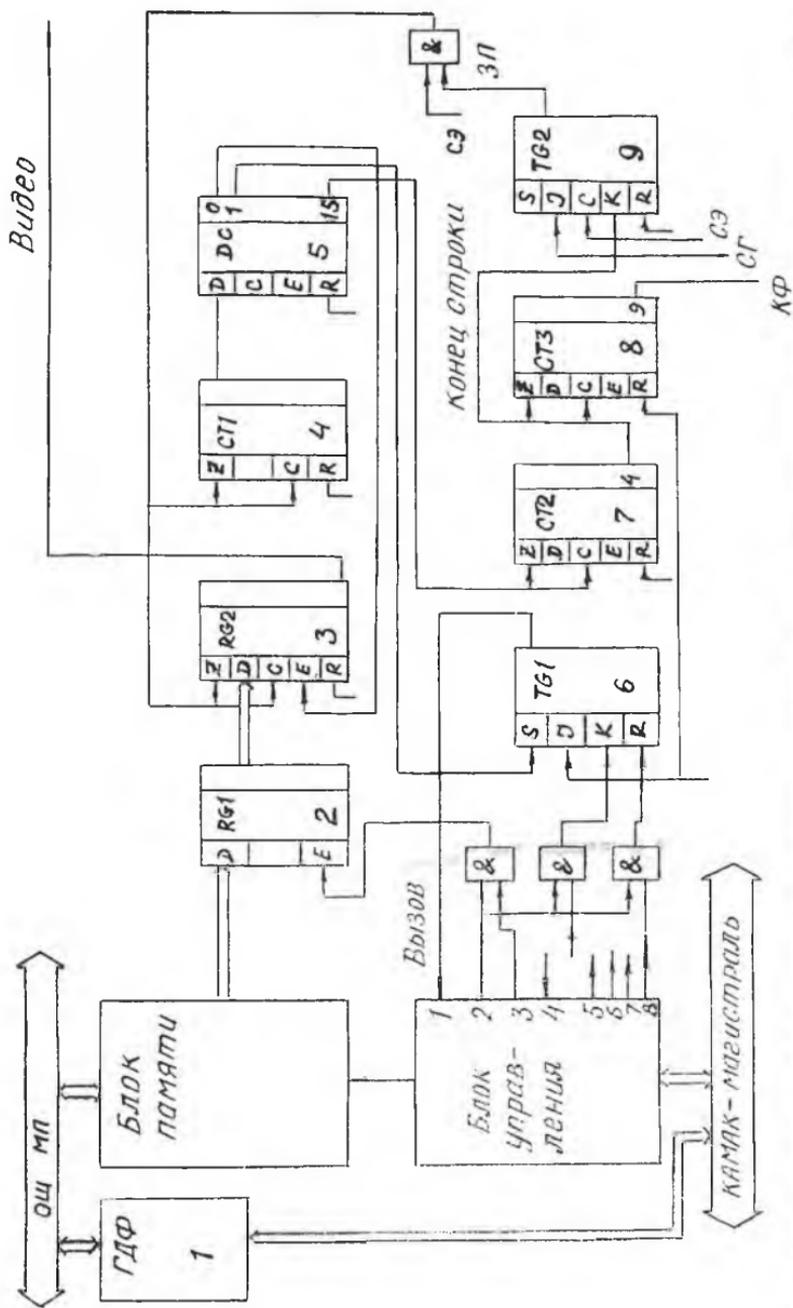


Рис. 7.36. Система отображения позиционного кода: 1 — генератор дисплейного файла; 2 — буферный регистр; 3 — сдвиговый регистр; 4 — счетчик бит; 5 — дешифратор бит; 6 — триггер управления; 7 — счетчик слов; 8 — счетчик строк; 9 — триггер зоны сдвига. Выходы блока управления: 1 — вызов; 2 — сигнал выборки; 3 — сигнал разрешения; 4 — конец файла (КФ); 5 — кадровый гасящий (КГ); 6 — строчный гасящий (СГ); 7 — строчная синхронизация (СЭ); 8 — подтверждение выполнения. ЗП — зона преобразования, КФ — синхронизация элементная, СЭ — синхронизация элементная

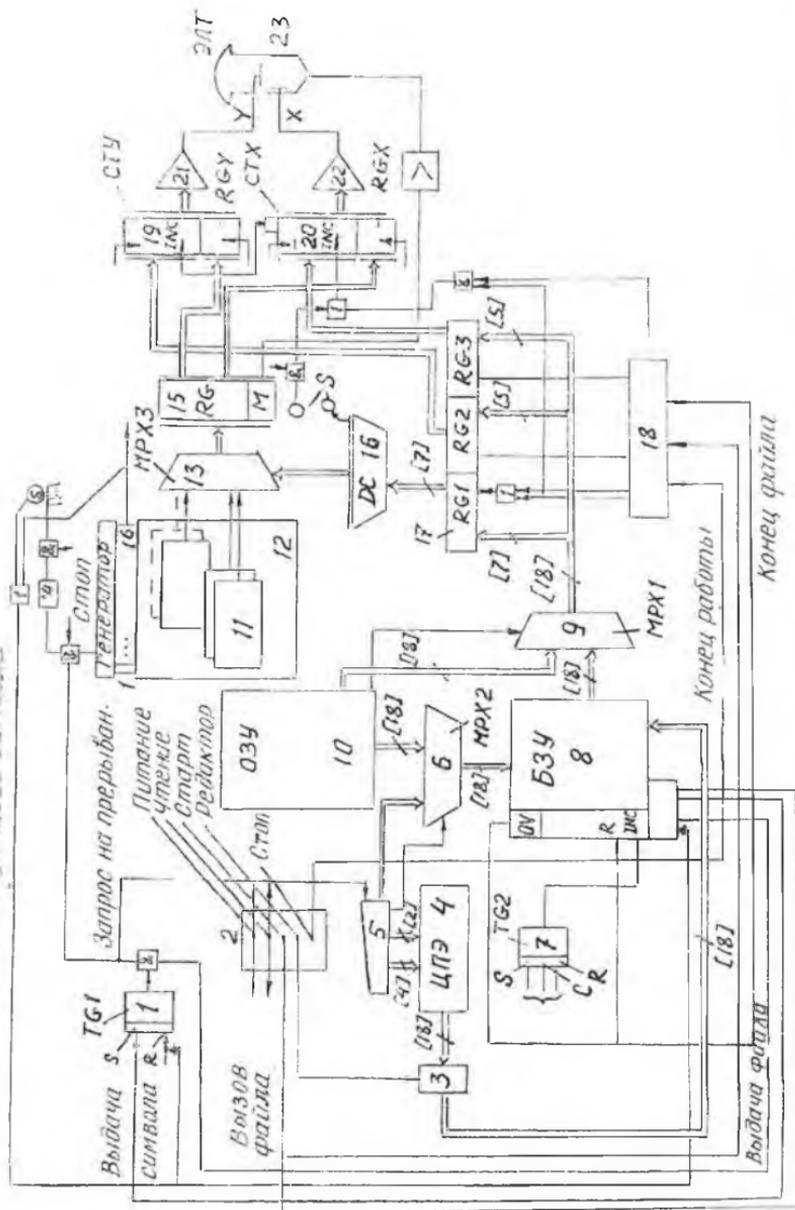


Рис. 7.37. Структурная схема функциональной СОИ: 1 — триггер символьных тактов; 2 — пульт ручного управления; 3 — регистр адреса символа и координат x и y ; 4 — центральный процессорный элемент; 5 — клавиатура; 6 — мультиплексор; 7 — триггер; 8 — буферное запоминающее устройство; 9 — мультиплексор; 10 — основная память; 11 — память одного символа (16×5); 12 — память символа ($16 \times 5 \times 128$); 13 — мультиплексор; 14 — блок синхронизации; 15 — регистр состояния; 16 — мультиплексор; 17 — блок регистров (RG1) — адрес символа, RG2 — координата x , RG3 — координата y ; 18 — блок управления; 19 — счетчик по y ; 20 — счетчик по x ; 21 — цифроаналоговый преобразователь; 22 — ЦАП по x ; 23 — электронно-лучевая трубка

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шерр С.* Электронные дисплеи. М.: Мир, 1982. — 623 с.
2. Техника систем индикации. Сборник статей / Перевод с английского. М.: Мир, 1970. — 420 с.
3. *Фолл Дж., Дэм А.* Основы интерактивной машинной графики. Т. I. М.: Мир, 1985. — 368 с.
4. *Принс М. Д.* Машинная графика и автоматизация проектирования. М.: Советское радио, 1975. — 229 с.
5. *Ньюмен У., Спруэл Р.* Основы интерактивной машинной графики. М.: Мир, 1976.
6. *Гилот В.* Интерактивная машинная графика. М.: Мир, 1981.
7. *Говоров В. С.* Отображение машинных решений на экранах ЭЛТ. М.: Советское радио, 1975. — 191 с.
8. *Соловейчик И. Е.* и др. Электронные устройства отображения информации в автоматизированных системах. М.: Связь, 1973. — 159 с.
9. *Болтянский А. А., Виттих В. А.* и др. Цифровая имитация автоматизированных систем. М.: Наука, 1983. — 264 с.
10. *Кнут.* Искусство программирования. Т. I. М.: Мир, 1974. — 696 с.

Введение	3
1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ	7
2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОИ	11
3. ОБОБЩЕННАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СОИ	13
3.1. Блоки визуализации	13
3.2. Генераторы элементов изображения	15
3.3. Память дисплейного файла и методы кодирования изображений	16
3.4. Генераторы дисплейного файла, их построение и характеристики	17
3.5. Блоки приема и подготовки данных для ГДФ	18
3.6. Блоки управления СОИ	19
4. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ БАЗИС СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ. БАЗИСНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ	21
4.1. Основные понятия и определения	21
4.2. Определение базисных процессов	23
4.2.1. Процесс формирования алфавита	24
4.2.2. Процессы хранения и формирования дисплейного файла	25
4.2.3. Процесс преобразования дисплейного файла	27
4.2.4. Процесс визуализации	28
4.2.5. Процесс управления СОИ	28
5. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ	28
5.1. Метод отношений для описания изображений	28
5.2. Изображение на уровне семантики	30
5.3. Формализованное описание изображений-образов	33
6. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ	34
6.1. Основные определения	34
6.2. Функциональный метод формирования изображений	35
6.3. Растровый метод формирования изображений	37
6.3.1. Основы телевидения. Развертка телевизионных изображений	39
6.3.2. Полоса частот сигнала изображения при построчной развертке	41
6.3.3. Полный видеосигнал	41
6.3.4. Блок-схема телевизионного приемника	43
6.4. Дискретный метод формирования изображений	46
6.4.1. Электролюминесцентные индикаторы (ЭЛИ)	46
6.4.2. Газоразрядные индикаторы	48
6.4.3. Газоразрядная индикаторная панель переменного тока	48
6.4.4. Жидкокристаллические индикаторы	49
6.4.5. Мнемонические индикаторы	50
6.4.6. Цифровой знакосинтезирующий индикатор с использованием ЖК	51
6.4.7. Матричные экраны на ЖК	52

6.5. Голографические методы формирования изображений.	. 52
6.5.1. Принципы голографического метода отображений	. 52
6.5.2. Оптическая голография	. 54
6.5.3. Аналитическое описание процессов в голографии.	. 56
6.5.4. Восстановление изображения	. 60
7. МЕТОДЫ КОДИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ	. 61
7.1. Позиционное кодирование и метод длин серий	. 61
7.2. Координатное кодирование	. 70
7.3. Метод единичных приращений	. 76
7.4. Метод ординат	. 78
7.5. Метод матриц знакомест	. 79
Библиографический список	. 88

Св. план 1986 г., поз. 136.

Александр Абрамович Болтянский

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ГЕНЕРАЦИИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ЭКРАНАХ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБОК**

Редактор Е. Д. Антипова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Купрянова

Сдано в набор 1.04.86 г.
Подписано в печать 11.06.86 г. ЕО 00209.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная белая.
Высокая печать. Литературная гарнитура.
Усл. п. л. 5,3. Уч.-изд. л. 5,0. Т. 500 экз.
Заказ 399. Цена 20 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. акад. С. П. Королева
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.