

**Н.В. МАЙСТРЕНКО, А.В. МАЙСТРЕНКО**

# **МУЛЬТИМЕДИЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В САПР**

**Часть I**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ**

УДК 004(075)  
ББК Ж2-5-05я73  
М149

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор,  
директор Тамбовского филиала Московского государственного  
университета культуры и искусств  
*В.М. Тютюнник*

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой "Информационные системы и  
защита информации" ТГТУ  
*Ю.Ю. Громов*

**Майстренко, Н.В.**

М149 Мультимедийные технологии в САПР : учебное пособие / Н.В. Майстренко, А.В. Майстренко. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – Ч. 1. – 80 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0725-4.

Изложены начальные теоретические и практические понятия и сведения о представлении и обработке информации различных типов: текст, графика, звук, видео, анимация (в том числе принципах компрессии).

Предназначено для студентов 5 курса специальности 230104 «Системы автоматизированного проектирования», изучающих дисциплину «Мультимедийные технологии», но может быть полезно и для студентов, бакалавров и магистров других специальностей и направлений, аспирантов и преподавателей, знакомящихся с мультимедийными системами и принципами их разработки.

УДК 004(075)

ББК Ж2-5-05я73

ISBN 978-5-8265-0725-4

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный  
технический университет" (ТГТУ), 2008  
Министерство образования и науки Российской Федерации

**ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"**

**Н.В. МАЙСТРЕНКО, А.В. МАЙСТРЕНКО**

# **МУЛЬТИМЕДИЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В САПР**

Часть I

Утверждено Учёным советом университета  
в качестве учебного пособия  
для студентов 5 курса специальности 230104  
"Системы автоматизированного проектирования"



---

Тамбов

◆ Издательство ТГТУ ◆

2008

Учебное издание

МАЙСТРЕНКО Наталья Владимировна,  
МАЙСТРЕНКО Александр Владимирович

## **МУЛЬТИМЕДИЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В САПР**

**Часть I**

Учебное пособие

Редактор Ю.В. Ш и м а н о в а  
Инженер по компьютерному макетированию М.А. Филатова

Подписано в печать 26.09.2008.  
Формат 60 × 84/16. 4,65 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 421.

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Мультимедиа (*multimedia*) – это современная компьютерная информационная технология, позволяющая объединить в компьютерной системе текст, звук, видеоизображение, графическое изображение и анимацию (мультипликацию).

Это понятие определяет информационную технологию на основе программно-аппаратного комплекса, имеющего ядро в виде компьютера со средствами подключения к нему аудио- и видеотехники. Мультимедиа технология позволяет обеспечить при решении задач автоматизации интеллектуальной деятельности объединение возможностей ЭВМ с традиционными для нашего восприятия средствами представления звуковой и видеоинформации для синтеза трёх стихий (звука, текста и графики, живого видео).

Решаемые задачи охватывают все области интеллектуальной деятельности: науку и технику, образование, культуру, бизнес, а также применяются в среде обслуживания при создании электронных гидов с погружением в реальную среду, мультитеках.

Появление систем мультимедиа, безусловно, производит революционные изменения в таких областях, как образование, компьютерный тренинг, во многих сферах профессиональной деятельности, науки, искусства, в компьютерных играх и т.д., в том числе и в системах автоматизированного проектирования. Резкий рывок в этом направлении, произошедший за последние несколько лет, обеспечен прежде всего развитием технических и системных средств. Это и прогресс в развитии ПЭВМ: резко возросшие объём памяти, быстродействие, графические возможности, характеристики внешней памяти, достижения в области видеотехники, лазерных дисков, а также их массовое внедрение. Важную роль сыграла также разработка методов быстрого и эффективного сжатия (развёртки) данных.

Мультимедиа технологии являются одним из наиболее перспективных и популярных направлений информационных технологий. Исторически первоначально ЭВМ разрабатывались для обработки только числовой информации, однако, большинство мультимедиа данных труднопредставимы и труднообрабатываемы в числовом виде (требуют огромных объёмов памяти и мощности процессоров для обработки). В результате, профессиональное создание и обработка мультимедиа информации до сегодняшних дней остаются дорогостоящей и не всем доступной процедурой. Дальнейшее развитие мультимедиа затруднено сложностями с необходимым расширением средств воздействия: механизма вкуса и запахов, технологии тактильных воздействий и т.д.

Системы автоматизированного проектирования применяются в настоящее время не только для проектирования сложных технических объектов, но и для разработки информационных систем, автоматизированных сред обучения и т.д. Поэтому современный специалист в области информационных технологий (в том числе и САПР) должен знать и применять на практике все виды мультимедиа.

В первую часть вошли разделы, посвященные общим вопросам мультимедиа, представлению и обработке текстовой и графической информации, методам сжатия графических изображений.

Целью данного пособия является дать начальные теоретические и практические понятия и сведения о программном и аппаратном обеспечении систем мультимедиа, сведения о представлении (в том числе принципах компрессии) и обработке информации.

Учебное пособие предназначено для студентов 5 курса специальности 230104 "Системы автоматизированного проектирования", изучающих дисциплину "Мультимедийные технологии", но может быть полезно и для студентов, бакалавров и магистров других специальностей и направлений, аспирантов и преподавателей, знакомящихся с мультимедийными системами и принципами их разработки.

### 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

Слово "мультимедиа" (*multimedia*) представляет собой сочетание двух англоязычных слов: "много" и "посредник, способ, обстановка, контактное воздействие". Таким образом, термин мультимедиа можно формально перевести как "множество способов воздействия". Фактически же понятие мультимедиа подразумевает множество различных методов хранения и представления информации в форме звука, изображения, тактильных и других воздействий на органы чувств человека, т.е. мультимедиа системы (ММС), суть системы обработки и представления мультимедиа данных (ММД).

Следует различать информационное наполнение (контент, *contents*) и программное обеспечение ММС (трудноалгоритмизируемый аспект дизайна ММС вынужденно включён в технологию разработки ПО). Основные виды ММД: текст, графика, анимация, звук, видео, тактильные ощущения. Условно ММД можно разделить на справочные, учебные, игровые, управляющие (в большинстве случаев разделы классификации перекрываются).

Мультимедиа является технологией представления сенсорной (доступной через органы чувств) информации в максимально близкой человеку форме и имеет два аспекта: аппаратный и программный.

Аппаратная сторона мультимедиа обеспечивает непосредственный доступ к информации указанного типа и представляется в виде (с начала 1990-х годов ставшими обычными для ПЭВМ) стандартных средств: видеоадаптеров, мониторов, дисководов, жёстких дисков и приводов CD-ROM, звуковых карт и специализированного оборудования (например, ставшими модными в последнее время очков и шлемов виртуальной реальности), причём развитие номенклатуры подобных устройств носит поистине взрывной характер.

Программная сторона мультимедиа разделяется на чисто прикладную (приложения, предоставляющие пользователю информацию в определённом виде), специализированную (программные средства для создания мультимедийных приложений) и системную (компоненты конкретной ОС, специально ориентированные на поддержку мультимедийных возможностей).

Мультимедиа технологии являются одним из наиболее перспективных и популярных направлений информатики. Они имеют целью создание продукта, содержащего коллекции изображений, текстов и данных, сопровождающихся звуком, видео, анимацией и другими визуальными эффектами (Simulation), включающего интерактивный интерфейс и другие механизмы управления. Данное определение сформулировано в 1988 году крупнейшей Европейской Комиссией, занимающейся проблемами внедрения и использования новых технологий. Идейной предпосылкой возникновения технологии мультимедиа считают концепцию организации памяти "MEMEX", предложенную еще в 1945 году американским учёным Ваннивером Бушем. Она предусматривала поиск информации в соответствии с её смысловым содержанием, а не по формальным признакам (по порядку номеров, индексов или по алфавиту и т.п.). Эта идея нашла своё выражение и компьютерную реализацию сначала в виде системы гипертекста (система работы с комбинациями текстовых материалов), а затем и гипермедиа (система, работающая с комбинацией графики, звука, видео и анимации), и, наконец, в мультимедиа, соединившей в себе обе эти системы. Однако всплеск интереса в конце 1980-х годов к применению мультимедиа технологии в гуманитарных областях (и, в частности, в историко-культурной) связан, несомненно, с именем выдающегося американского компьютерщика-бизнесмена Билла Гейтса, которому принадлежит идея создания и успешной реализации на практике мультимедийного коммерческого продукта на основе служебной музейной инвентарной базы данных с использованием в нём всех возможных "сред": изображений, звука, анимации, гипертекстовой системы ("National Art Gallery. London"). Именно этот продукт аккумулировал в себе три основных принципа мультимедиа:

1. Представление информации с помощью комбинации множества воспринимаемых человеком сред.

2. Наличие нескольких сюжетных линий в содержании продукта (в том числе и выстраиваемых самим пользователем на основе "свободного поиска" в рамках предложенной в содержании продукта информации).

3. Художественный дизайн интерфейса и средств навигации.

Несомненным достоинством и особенностью технологии являются следующие возможности мультимедиа, которые активно используются в представлении информации:

– возможность хранения большого объёма самой разной информации на одном носителе (до 20 томов авторского текста, около 2000 и более высококачественных изображений, 30 – 45 минут видеозаписи, до 7 часов звука);

– возможность увеличения (детализации) на экране изображения или его наиболее интересных фрагментов, иногда в двадцатикратном увеличении (режим "лупа") при сохранении качества изображения. Это особенно важно для презентации произведений искусства и уникальных исторических документов;

– возможность сравнения изображения и обработки его разнообразными программными средствами с научно-исследовательскими или познавательными целями;

– возможность выделения в сопровождающем изображении текстовом или другом визуальном материале "горячих слов" (областей), по которым осуществляется немедленное получение справочной или любой другой пояснительной (в том числе визуальной) информации (технологии гипертекста и гипермедиа);

– возможность осуществления непрерывного музыкального или любого другого аудиосопровождения, соответствующего статичному или динамичному визуальному ряду;

– возможность использования видеофрагментов из фильмов, видеозаписей и т.д., функции "стоп-кадра", покадрового "пролистывания" видеозаписи;

– возможность включения в содержание диска баз данных, методик обработки образов, анимации (к примеру, сопровождение рассказа о композиции картины графической анимационной демонстрацией геометрических построений её композиции) и т.д.;

– возможность подключения к глобальной сети Internet;

– возможность работы с различными приложениями (текстовыми, графическими и звуковыми редакторами, картографической информацией);

– возможность создания собственных "галерей" (выборки) из представляемой в продукте информации;

– возможность "запоминания пройденного пути" и создания "закладок" на заинтересовавшей экранной "странице";

– возможность автоматического просмотра всего содержания продукта ("слайд-шоу") или создания анимированного и озвученного "путеводителя-гида" по продукту ("говорящей и показывающей инструкции пользователя"); включение в состав продукта игровых компонентов с информационными составляющими;

– возможность "свободной" навигации по информации и выхода в основное меню (укрупнённое содержание), на полное оглавление или из программы в любой точке продукта.

## 1.1. СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИМЕДИА ПРОДУКТОВ

Одной из основных сфер применения систем мультимедиа является образование в широком смысле слова, включая и такие направления, как видеоэнциклопедии, интерактивные путеводители, тренажёры, ситуационно-ролевые игры и др. Компьютер, снабжённый платой мультимедиа, немедленно становится универсальным обучающим или информационным инструментом по практически любой отрасли знания и человеческой деятельности (достаточно установить в него диск CD-ROM с соответствующим курсом или занести требуемые файлы на винчестер).

Очень большие перспективы перед мультимедиа в медицине: базы знаний, методики операций, каталоги лекарств и т.п. В сфере бизнеса фирмы по продаже недвижимости уже используют технологию мультимедиа для создания каталогов продаваемых домов. Покупатель может увидеть на экране дом в разных ракурсах, совершить интерактивную видеопрогулку по всем помещениям, ознакомиться с планами и чертежами. Технологические мультимедиа пользуются большим вниманием военных. Так, Пентагон реализует программу перенесения на интерактивные видеодиски всей технической, эксплуатационной и учебной документации по всем системам вооружений, создания и массового использования тренажёров на основе таких дисков.

Быстро возникают фирмы, специализирующиеся на производстве изданий гипермедиа-книг, энциклопедий, путеводителей.

Помимо "информационных" применений должны проявиться и "креативные", позволяющие создавать новые произведения искусства. Уже сейчас станция мультимедиа становится незаменимым авторским инструментом в кино и видеоискусстве. Автор фильма за экраном такой настольной системы собирает, "оранжирует", создаёт произведения из заранее подготовленных (нарисованных, отснятых, записанных и т.п.) фрагментов. Он имеет практически мгновенный доступ к каждому кадру отснятого материала, возможность диалогового "электронного" монтажа с точностью до кадра. Ему подвластны всевозможные видеоэффекты, наложения и преобразования изображений, манипуляции со звуком, "сборка" звукового сопровождения из звуков от различных внешних аудиоисточников, из банка звуков, из программ звуковых эффектов. Далее, применение обработанных или сгенерированных компьютером изображений может привести к появлению новой изобразительной техники в живописи или кино.

Весьма перспективными выглядят работы по внедрению элементов искусственного интеллекта в системе мультимедиа. Они обладают способностью "чувствовать" среду общения, адаптироваться к ней и оптимизировать процесс общения с пользователем; они подстраиваются под читателей, анализируют круг их интересов, помнят вопросы, вызывающие затруднения, и могут сами предложить дополнительную или разъясняющую информацию. Системы, понимающие естественный язык, распознаватели речи ещё более расширяют диапазон взаимодействия с компьютером.

Еще одна быстро развивающаяся область, в которой важную роль играет технология мультимедиа – это системы виртуальной или альтернативной реальности, а также близкие к ним системы "телеприсутствия". С помощью специального оборудования: системы с двумя миниатюрными стереодисплеями, квадранашников, специальных сенсорных перчаток и даже костюма вы можете "войти" в сгенерированный или смоделированный компьютером мир.

Обобщим сферы применения мультимедиа продуктов.

1. Популяризаторская и развлекательная цели.

Пожалуй, широчайшее использование мультимедиа продуктов с этими целями не подвергается сомнению, тем более что популяризаторство стало ныне некоторым эквивалентом рекламы. К этому же разделу можно отнести и современные компьютерные игры, которые в своём арсенале воздействия на человека имеют все составляющие мультимедиа.

2. Научно-просветительская или образовательная цели.

К таким ММС отнести большое многообразие электронных учебных пособий и учебников различных назначений и, несомненно, виртуальные музеи и путеводители.

3. Научно-исследовательские цели.

В данном случае, средства мультимедиа могут применяться лишь на этапе публикации итогов исследования, когда вместо привычных "твёрдых" полиграфических изданий мы получаем мультимедиа продукт. Наиболее очевидная область применения мультимедиа продуктов в научно-исследовательской области – это электронные архивы и библиотеки (для документирования коллекций источников и экспонатов, их каталогизации и научного описания; для создания "страховых копий", автоматизации поиска и хранения; для хранения данных о местонахождении источников; для хранения справочной информации; для обеспечения доступа к внемузейным базам данных; для организации работы учёных не с самими документами, а с их электронными копиями и т.д.). Деятельность по разработке и осуществлению этих направлений архивно-музейной научной работы координируется Международным комитетом по документации (CIDOC) при Международном совете музеев, Музейной компьютерной сетью при Комитете по компьютерному обмену музейной информации (СИМ), а также Международной программой Гетти в области истории искусства (АНИР). Кроме этого, названные организации занимаются разработкой единых международных стандартов документирования и каталогизации музейных и архивных ценностей, осуществлением возможностей обмена информационными компонентами исследовательских систем.

4. Виртуальная реальность.

## 1.2. ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ МУЛЬТИМЕДИА ПРОДУКТА. ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ МУЛЬТИМЕДИА ПРОДУКЦИИ

Исходя из имеющегося отечественного и зарубежного опыта разработок мультимедиа продукции (далее – ММП), можно выделить следующие функциональные этапы подготовки:

- подготовка сценария ММП;
- подготовка прототипа ММП и установочной программы;
- сбор и структуризация рабочих материалов;
- разработка альфа-версии;
- разработка бета-версии;
- подготовка полиграфии;
- разработка мастер-версии ММП и мастер-версии установочной программы.

В основном, перечисленные этапы характерны для ММП, распространяемой на CD ROM и DVD, хотя логика разработки применима для ММП типа Web/CD и Internet приложений.

Разработка *концепции* – идея и краткое описание продукта, представляющие относительные особенности продукта, его структуру и способы представления. При проектировании ММП необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Для кого создается продукт? Какова его главная идея?
2. Почему мультимедиа среда будет лучше традиционной?
3. Для чего будут использоваться текст, графика, анимация, видео, звук?
4. Какой стиль изложения будет использоваться?

**Подготовка сценария ММП.** Документ, описывающий ММП, называют сценарием.

Разработка сценария обычно начинается с готового прототипа: книги, учебника и др. или пишется "от нуля". Такой переработанный прототип или написанный "от нуля" сценарий называется *литературным сценарием*. Как правило, выделяются основные элементы приложения и их взаимосвязи. Основное требование к литературному сценарию – дать ответ на вопросы: чему посвящён ММП, какой материал привлекается, каков его объём, к какому типу он относится, кто потенциальный пользователь, где он может быть использован.

Далее начинается итеративный процесс развития литературного сценария.

Первым шагом на этом пути будет принятие решений о том, как и какими средствами мультимедиа будет показан каждый конкретный эпизод литературного сценария. Описание принятых на этом шаге решений образует *компонентный сценарий*.

В отличие от кино ММП предполагает определённую активность со стороны пользователя продукта, и для каждого эпизода надо решить, в чём будет заключаться эта активность. Описание возможных действий пользователя, сети гипертекстовых связей, добавленные к компонентному сценарию, дают *рабочий сценарий*.

**Подготовка прототипа ММП.** Цель создания прототипа – дать общее впечатление о разрабатываемом продукте, оценить его общий стиль и замысел.

Прототип должен содержать:

- заставку;
- главный интерфейс;
- одну-две реализованные сцены, которые наиболее полно характеризуют продукт;
- установочную программу.

**Сбор и структуризация рабочих материалов.** Цель этого этапа работ – получить все материалы, необходимые для создания продукта в виде компьютерных файлов в форматах, пригодных для сборки ММП.

Собранные материалы необходимо регистрировать в базе данных, каждая запись которой должна содержать ссылку на исходный файл, сведения о том, где этот файл используется, его размер и другие сведения, которые покажутся необходимыми Исполнителю.

**Разработка альфа-версии ММП.** Выделение версий осуществляется на основе анализа информационной наполненности ММП.

*Альфа-версия ММП* – это работоспособная версия, в которой отсутствует звук и видео, более половины специальных программных компонент, т.е. содержит всю графическую информацию, за исключением видео; может не содержать звуковой дорожки, который удобнее подбирать под сделанную графику; должна тестировать наличие необходимых для её работы устройств и программного обеспечения и выдавать необходимую диагностику. Все файлы ММП и установочной программы должны быть по своим названиям и структуре каталогов пригодны для записи на CD-ROM.

**Разработка бета-версии ММП.** *Бета-версия ММП* – это на первый взгляд "готовый", но не оттестированный ММП.

Разработка бета-версии начинается с озвучивания альфа-версии и вставки необходимых видеоматериалов. В ходе разработки должно быть завершено информационное наполнение продукта и подключены все специальные программные компоненты.

**Подготовка полиграфических материалов.** Разработка ММП должна сопровождаться параллельной разработкой полиграфических материалов, начиная с прототипа ММП.

**Разработка мастер-версии ММП и мастер-версии установочной программы.** *Мастер-версия* – это ММП, используемый для тиражирования.

Работа над мастер-версией заключается в тестировании бета-версии, устранении замеченных недостатков, улучшении динамических характеристик, отдельных деталей интерфейса, оптимизации размещения информации на компакт-диске.

Мастер-версия в ходе запуска должна тестировать наличие необходимых для её работы устройств и программного обеспечения и выдавать соответствующую диагностику.

### Контрольные вопросы

1. Каковы основные направления применения ММП?
2. Какие этапы включает процесс создания ММП?
3. Что включает в себя понятие сценария?

## 2. СТАНДАРТНЫЕ НОСИТЕЛИ МУЛЬТИМЕДИА ИНФОРМАЦИИ

Особенностью информации мультимедиа являются в первую очередь её значительные объёмы. Обычным является работа с файлами объёмом в несколько гигабайт. Вторая особенность заключается в необходимости обеспечения высокой скорости записи и воспроизведения данных. Нередки требования в обмене информацией при скорости 10...50 Мбайт/с.

Традиционно первыми носителями мультимедийной информации явились магнитные ленты. В современных видеокамерах и видеомагнитофонах непрофессионального класса (*home video*) обычно используется рассчитанная на 30...60 мин записи магнитная лента. Современные модели видеокамер оснащены разъёмами для вывода аудиовидеоинформации на видеомагнитофон и(или) ПЭВМ. Применяют аналоговые разъёмы типа RCA (колокольчики, тюльпаны) и S-Video (*Separate Video*), цифровые модели используют интерфейс USB и IEEE 1394 (*FireWire*, *i.Link*, *Digital Link*), профессиональным (студийным) интерфейсом является YUV (*professional video*). Для копирования относительно небольших объёмов информации используют карты памяти *Memory Stick*.

Только после оцифровки аналогового сигнала появляется возможность оценить его объём в байтах. Современные накопители на твёрдых дисках (*винчестерах*) обладают объёмом запоминаемых данных 120...250 Гбайт при стоимости

менее 1 US\$ за гигабайт при времени произвольного доступа порядка  $10^{-2}$  с. На таком диске может храниться многочасовое видео.

CD (compact disk) представляют собой рассчитанные на считывание и запись информации лучом маломощного твёрдотельного лазера многослойные стеклопластиковые носители диаметром 120 мм и толщиной 1,2 мм и разделяются на однократно записываемые на заводе-изготовителе CD-ROM, поставляемые без записи и имеющие возможность быть однократно записанными пользователем CR-R и имеющие возможность многократной перезаписи CD-RW.

Информация на CD представлена в виде *питов* (каждый пит несёт 1 бит информации) – участков с изменённой отражающей способностью размером порядка  $(0,5...3) \cdot 10^{-3}$  мм, последовательно размещённых вдоль единственной идущей от наружной к внутренней частей диска дорожки, запись осуществляется посредством прожига более мощным твёрдотельным лазером, расположенным внутри тела диска отражающего слоя (серебро или золото для CD-R).

CD-ROM используют специальную файловую систему, описанную международным стандартом ISO 9660 (International Standard Organization, который совпадает с основными положениями стандарта HSG – High Sierra Group), большинство приводов CD-ROM отвечают спецификации MPC (Multimedia PC). Для преобразования содержимого каталогов данного формата в стандартный формат MS DOS служит драйвер MSCDEX.EXE. Он применяется совместно с драйвером производителя данной модели привода CD-ROM.

CD-ROM или CD-R диск имеют объём 640...700 Мбайт, соответствующая длительность звучания 74...80 мин определена фирмой Sony на основе длительности популярной в Японии 9-й симфонии Бетховена – 72,73 мин, единичная скорость считывания информации составляет 150 Кбайт/с (известны устройства считывания с 52-х кратной скоростью), принципы хранения и доступа к информации определяются так называемыми "Красной", "Желтой", "Зеленой", "Оранжевой" книгами и другими стандартами. За счёт определённых технологических ухищрений объём DVD-дисков достигает 4,7...17 Гбайт.

Цвет поверхности однократно записываемых (CD-R) лазерных дисков определяется технологией. Это может быть Цианин (*Cyanine*, при золотом отражающем слое цвет рабочей поверхности тёмно-зелёный, при серебряном – светло-голубой), Фталоцианин (*Phtalocianine*, часто золотой отражающий слой, жёлто-зелёный оттенок рабочей поверхности) или Азо (*AZO*, серебряный отражающий слой, насыщенно синий цвет рабочей поверхности). Каждая технология имеет свои достоинства и недостатки.

DVD (Digital Video Disk или Digital Versatile Disk) является следующим поколением оптической дисковой технологии хранения информации. Это, по существу, больший, более быстрый CD, который может содержать как видео, так и звуковые, и компьютерные данные. DVD стремится охватить рынок домашних развлечений, компьютерной и деловой информации единым цифровым форматом, в конечном счёте, заменяя звуковой CD, видеозаписи, LD, CD-ROM, и, возможно, игровые картриджи. DVD обладает широко распространённой поддержкой всех главных компаний микроэлектроники, всех главных компьютерных компаний и приблизительно половины главных компаний киноиндустрии и студий звукозаписи, что является беспрецедентным и говорит о больших возможностях для успеха.

Blu-ray или Blu-ray Disc (BD) – это формат нового поколения дисков высокого качества. Эти диски могут использоваться как долговременные хранители различных данных: фильмов, музыки, игр и т.д. В недалёком 2002 году крупнейшие компании: Hitachi, LG, Matsushita (Panasonic), Thomson, Philips, Samsung, Sharp, Sony и Pioneer предложили создание нового формата отличного от DVD. На этом этапе и произошёл раскол: одна сторона предложила доработать красный лазер (DVD), а другая взялась за разработку абсолютно нового – сине-фиолетового. Впоследствии формат доработанного красного лазера назовут HD DVD, а сине-фиолетового Blu-ray (орфография "луча Blu-" не является ошибкой, символ "e" намеренно был пропущен, так, чтобы название Blu-ray могло быть зарегистрировано как торговая марка). Голубой лазер, используемый для чтения и записи Blu-ray, имеет длину волны 405 нм. Такое уменьшение дало возможность сузить дорожку в 2 раза, тем самым увеличив ёмкость диска. На однослойный диск можно записать 25 Гбайт. Двойной слой диска может поддерживать 50 Гбайт. Но Blu-ray легко усовершенствуется и включает поддержку для дисков мультислой, который должен позволить увеличить ёмкость запоминающего устройства до 100...200 Гбайт, в будущем просто добавляя больше слоёв к диску. Сейчас уже ведётся разработка 8 слоёв. Уменьшение защитного слоя с 0,6 мм до 0,1 мм позволило проводить более качественную запись и чтение.

Твёрдотельные носители (CompactFlash, SmartMedia Card, MultiMedia Card, Secure Digital, Miniature Card и т.п.) применяются для целей хранения аудиовидеоинформации в цифровых фотокамерах и диктофонах, MP3-плеерах. Вследствие быстрого роста их ёмкости наблюдается приближение функциональности цифровых фотокамер к видеокамерам.

### Контрольные вопросы

1. Каковы основные виды носителей мультимедиа информации? В чём заключается их общая особенность?
2. В чём заключается принцип записи информации на лазерные диски (CD)? Что является физической единицей информации на CD?
3. Для каких целей используются твёрдотельные носители информации и почему?

### 3. ТЕКСТОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ В МУЛЬТИМЕДИА ПРОДУКТАХ

#### 3.1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Письменность, как и звуковая речь, является средством общения людей и служит для передачи информации на расстояние и для закрепления её во времени. При этом слова доносят информацию, а их графическое оформление усиливает или ослабляет смысл, как, например, в зависимости от интонации меняется смысл фразы. Дизайн шрифтов (тайп-дизайн) – особый вид изобразительного искусства, подчиняющийся общим для всех видов изобразительного искусства закономерностям, требующий знания этих закономерностей и умения применять их на практике.

Термин "шрифт" определяет несколько понятий:

1. Совокупность букв, цифр и знаков определённого рисунка (стиля) и размера (кегля), служащая техническим средством воспроизведения речи.

2. Комплект текстовых знаков для набора любого типа, например, литер – для типографского набора, символов в шрифтовом файле – для компьютерного набора и т.д.

3. Рисунок (конфигурация) букв, цифр и знаков.

Для описания структуры и размеров шрифта существуют специальные термины.

*Кегль* – размер шрифта, который определяется расстоянием между верхним и нижним выносными элементами. Здесь же учитываются и *запечки* – небольшой зазор над верхним и под нижним выносными элементами (понятие досталось нам "в наследство" от металлических литер).

*Пункты*. В пунктах измеряют высоту шрифта. Один пункт равен 1/72 дюйма (один дюйм равен 2,54 см).

*Цицера* – единица измерения ширины печатных строк. В одном дюйме – 6 цицера, а в одном цицера – 12 пунктов.

*Интерлиньяж* – расстояние между базовыми линиями соседних строк. Измеряется в пунктах и складывается из кегля шрифта и расстояний между строками.

*Апрош* – межбуквенный пробел. Величина апрошей зависит от кегля: чем крупнее шрифт, тем плотнее кажется текст при одном и том же значении апроша.

*Гарнитура* (семейство) шрифта – все вариации шрифтового начертания, отличающиеся различной насыщенностью, пропорциями, наклоном. В зависимости от начертания, шрифт в гарнитуре может быть светлым, нормальным, жирным, полужирным, прямым, наклонным, узким, широким и т.д. Шрифты одного и того же начертания делятся на шрифты разных кеглей.

История мировой письменности знает четыре основных вида письма:

- пиктографическое (картинное) – самое древнее письмо в виде рисунков;
- идеографическое (иероглифическое) – письмо эры ранней государственности и возникновения торговли (Египет, Китай). Знаки идеографического письма – идеограммы (иероглифы) – представляют собой отдельные слова или целые понятия;
- слоговое (слог обозначается одним письменным знаком) – письмо некоторых народов Индии. В Японии оно применялось наряду с китайскими иероглифами;
- буквенно-звуковое (фонематическое) – письмо, лежащее в основе письменности многих народов мира, языковая специфика которых нашла отражение в фонографическом составе их алфавитов. Так, в русском алфавите 33 фонографических знака, в латинском – 23, в итальянском – 21 и т.д. Знаки алфавитов графически отличаются друг от друга и в своём простейшем скелетном начертании представляют графемы (графема – неизменная форма входящих в алфавит букв без учёта стиливых, гарнитурных и прочих формообразований).

В настоящее время шрифты, используемые для типографского набора, объединены по общим графическим признакам в следующие группы:

- рубленые – шрифты, не имеющие засечек;
- шрифты с едва наметившимися засечками;
- медиевальные – шрифты с засечками в виде плавного утолщения концов основных штрихов, по форме приближающихся к треугольнику, преимущественно с наклонными осями округлых элементов букв;
- обыкновенные – шрифты, характеризующиеся контрастными штрихами с длинными, тонкими засечками, соединяющимися с основными штрихами под прямым углом;
- брусковые – шрифты, имеющие неконтрастные или мало контрастные штрихи с длинными засечками той же толщины, что и вертикальные штрихи, соединёнными с основными штрихами под прямым углом или с лёгким закруглением;
- новые мало контрастные – шрифты, отличающиеся мало контрастными штрихами с длинными засечками (преимущественно с закругленными концами), соединёнными с основными штрихами под прямым углом или с лёгким закруглением.

Шрифты с засечками читаются легче, так как засечки помогают взгляду передвигаться, и буквы при этом не сливаются друг с другом. Буквы без засечек легче читать в шрифтах очень большого и, в особенности, очень малого кегля.

Для выделения текста или как декоративный шрифт используют *курсивные* и *наклонные* начертания. Наклонные шрифты образуются путём наклона знаков прямых начертаний, при этом буквы и цифры практически не изменяют форму. Курсивные шрифты отличаются от наклонных тем, что знаки в них приобретают форму рукописных. От основного начертания курсивы отличаются формой, пропорциями, насыщенностью.

## 3.2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РАБОТЕ НАД ШРИФТАМИ

Выбор шрифта диктуется исключительно мастерством и опытом, поскольку жёстких правил не существует. Если вы хотите, чтобы ваш текст не только привлекал внимание, но и осмысленно читался, при выборе печатного исполнения рекомендуется соблюдать следующие основные условия: читаемость, уместность, гармоничность и смысловой акцент.

*Читаемость* – чёткость, ясность, простота графических форм. Общие факторы, влияющие на читаемость, таковы: шрифт, толщина и размер букв, длина строки, расстояние между словами, между строчками и между абзацами, цвет шрифта и фона, свободное пространство на странице и даже качество бумаги. Так, чёткость существенно зависит от цвета шрифта и фона, на котором он расположен. В табл. 3.1 приведены усреднённые показатели сочетаний основных цветов, влияющих на чёткость шрифта и его удобочитаемость (ухудшение направлено сверху вниз).

Следует заметить, что приведённые соотношения весьма приблизительны, так как на чёткость и удобочитаемость шрифта влияют также тональность цвета, его насыщенность, степень освещённости, размеры, характер поверхности (рельефная, шероховатая, гладкая, полированная, зеркальная), расстояние и т.д.

Основные условия, обеспечивающие удобочитаемость:

1. Соразмерность толщины основного штриха и внутрибуквенного просвета: в шрифтах светлого начертания соотношение толщины основного штриха и внутрибуквенного просвета примерно равно 1:6...1:4; в шрифтах полужирного начертания – 1:2; в шрифтах жирного начертания – 1:1.

2. Оптимальность межбуквенных пробелов: чрезмерная разреженность букв в строке как и неоправданная близость, мешают восприятию слов (хотя для короткой надписи такой приём вполне пригоден, так как придаёт строке некую острохарактерность).

### 3.1. Сочетание цвета шрифта и фона

Шрифт	Фон	Шрифт	Фон
Чёрный	Жёлтый	Белый	Красный
Зелёный	Белый	Белый	Зелёный
Красный	Белый	Белый	Чёрный
Синий	Белый	Красный	Жёлтый
Белый	Синий	Зелёный	Красный
Чёрный	Белый	Красный	Зелёный
Жёлтый	Чёрный		

3. Пропорциональность ширины буквы по отношению к её высоте. Читаемость снижается в буквах сверхузких и сверхшироких.

4. Контрастность основных и дополнительных штрихов.

5. Размер шрифта, определяемый форматом экспозиции, а также расстоянием до зрителя. В табл. 3.2 приведены требования к минимальным размерам шрифта в экспозиции.

6. Длина строчек, составляющих основной текст. Для рекламных объявлений, например, рекомендуется использовать текстовые колонки шириной менее 3 дюймов – 7,62 см. Расстояние между строчками также влияет на читаемость текста. Если между ними оставлен зазор лишь для верхних и нижних элементов букв, такой набор называется сплошным. *Уместность* – органическая связь рисунка букв с содержанием текста, образность шрифта. Главное, чтобы шрифт в тексте был уместен. При современном разнообразии шрифтов как по стилю, так и по размеру, весь комплекс настроений и ощущений можно передать, даже не вдаваясь в смысловую нагрузку текста. "Образ в шрифте – это тоже мысль, только выраженная специфическими художественными средствами" (С.Б. Телингатер).

### 3.2. Требования к минимальным размерам шрифта в экспозиции

Величина удаления, $D$ , м	Минимальная толщина линий и элементов буквы, мм	Размер буквы (знака) в композиции, мм				
		Оптимальная толщина элементов буквы, мм	Высота, $H$		Ширина, $L$	
			min	opt	min	opt
0,35	0,1	0,2	0,5	1	0,3	0,6
0,5	0,2	0,4	1	2	0,6	1,2
1	0,3	0,6	1,5	3	0,9	1,8
2	0,6	1,2	3	6	1,8	3,6
3	0,9	1,8	4,5	9	2,7	5,4
4	1,22	2,4	6	12	3,6	7,2
5	1,5	3	7,5	15	4,5	9
7	2,1	4,2	10,5	21	6,3	12,6
10	3	6	15	30	9	18
15	4,5	9	22,5	45	15	30
20	6	12	30	60	18	36
30	9	18	45	90	27	54
40	12	24	60	120	36	72

50	15	30	75	150	45	90
70	21	42	105	210	63	126
100	30	60	150	300	90	180
150	40	90	225	450	150	300
200	60	120	300	600	180	360
300	90	180	450	900	270	540
400	120	240	600	1200	360	720
500	150	300	750	1500	450	900

Политические плакаты, например, выполняются преимущественно различными гарнитурами рубленых шрифтов. Стилизованный "старомодный" шрифт не стоит использовать в рекламе электронной техники. Для молодых бизнесменов подойдут нарочито стилизованные шрифты и символы в стиле модерн: свободные, динамичные, угловатые и округлые. Более солидные люди предпочитают шрифты эпохи барокко и классицизма в сочетании с геральдической символикой.

*Гармоничность.* Наиболее характерной ошибкой начинающих дизайнеров является смешение множества шрифтов в одном документе. Это приводит к дисгармонии и ощущению хаоса. Рекомендуется выбирать родственные гарнитуры или начертания из одного семейства. Шрифты должны гармонировать с другими элементами печатной продукции, включая иллюстрации. Вся композиция текстового документа зависит от используемых шрифтов.

*Акцент.* При выборе печатного исполнения можно расставить акценты за счёт контраста. Обычно для этих целей используют несколько гарнитур одного и того же шрифта, курсив против прямого, прописные буквы против строчных, мелкий кегль против крупного. Усилить смысловой акцент в композиции можно путём увеличения межзнаковых и межстрочных расстояний. Акцент также создаётся цветом, но при этом следует помнить о гармоничном соотношении фона и основного текста. При акцентировании необходима осторожность, иначе в попытке акцентировать *всё* не удастся выделить *ничего*.

*Наглядность.* Эффективность средств наглядной агитации, её визуальное восприятие зависят от наглядности содержательной структуры информации. В комплексном художественном оформлении, имеющем чаще всего многоцелевое назначение, особую роль играет умение связывать воедино компоненты разнообразного содержания с одновременным выделением главного. Наглядная структура отражает внутреннюю структуру текстов, обеспечивает удобство восприятия различных по назначению и значению компонентов, способствует быстрому выявлению зрителем наиболее важной информации, подводя его, таким образом, к прочтению и усвоению всего материала.

Наглядная структура раскрывает "архитектуру" комплексного оформления, начиная с общего зрительного охвата произведения вплоть до восприятия наименьшего элемента структуры (раздел оформления, ограниченный одной темой или рубрикой). Такой диапазон охвата зрителем произведения составляет наглядную макроструктуру оформления. От неё следует отличать микроструктуру, которая отражает взаимосвязи между компонентами, составляющими отдельный элемент макроструктуры.

Средства, с помощью которых художник может добиться графической наглядности при представлении информации, можно разбить на четыре группы:

- выделение положением текста и составляющих его частей (выделение из общего текста, вынесение за его рамки или повторение вне текста ключевых слов, основной идеи, важных результатов, выводов, цифр и других ориентиров);
- цвет (выделительный цвет, многокрасочность и т.п.);
- шрифтовые знаки (например, курсив, шрифт другого размера, различная насыщенность шрифта, иллюзорно-объёмный шрифт);
- материал (фактура или цвет фона, рельефно-объёмный шрифт и т.д.).

Наглядность зависит от читаемости форм шрифтовых знаков, которые образуют слова, строчки и абзацы, от их гармонии с материалом носителя информации. Она определяет, насколько легко, точно и быстро совершается процесс зрительного восприятия текста.

В наши дни использование разнообразных шрифтов весьма распространено и это особенно заметно в рекламах. Шрифты рубленые и с засечками, вертикальные и наклонные, плотные и растянутые, диагональные, расположенные по прямой и кривой, из прописных и из строчных букв с прописными, мелкие и крупные, эфемерные и мощные, спокойные и кричащие, объёмные и плоские, цветные и контурные, простые и вычурные – таков далеко не полный перечень их характеристик. Шрифт перестал быть только носителем информации, он сам теперь информация.

Выбирая и определяя шрифт для оформления издания, дизайнеры обычно работают со шрифтовыми каталогами. С появлением компьютера значительно расширились возможности печатного процесса, улучшилось качество, увеличилась производительность, постоянно пополняются и каталоги компьютерных шрифтов. Но машина, тем не менее – это всего лишь средство. Ни одна из компьютерных графических программ сама по себе не сделает ваш документ красивым. Выбор шрифта, кегля, создание композиции страницы – это творческая работа дизайнера, компьютер только расширяет его возможности. Удачному оформлению текстового документа предшествует огромная организационная работа. Необходимо определить его вид (листовка, буклет, отчёт и т.д.), изучить аудиторию, на которую он ориентирован, предмет, о котором идёт речь, выбрать соответствующие технические и программные средства.

### 3.3. ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ТЕКСТОВ

С приходом в полиграфию компьютеров резко возрос спрос на компьютерные шрифты. Можно выделить пять основных групп самых распространённых компьютерных шрифтов: антиква, рубленые, брусковые, рукописные, акцидентные.

Современная технология настольно-издательских систем основана на стандарте PostScript. PostScript – язык, созданный специально для программирования графики фирмой Adobe в 1985 году. Основа описания графики – совокупность геометрических примитивов: точек, прямых, кривых Безье, дуг. Таким образом, PostScript – векторно-ориентированный язык. Для вывода изображения на экран или создания твёрдой копии векторный формат должен быть преобразован в растровый, что осуществляется растровыми процессорами или интерпретаторами PostScript. Кроме шрифтов в формате PostScript в операционных системах Windows широко распространены контурные шрифты в формате TrueType. Управлением шрифтами этого типа занимается операционная система, она предоставляет прикладным программам список доступных шрифтов, обеспечивает отображение текстовой информации на экране и вывод на печать. Эти шрифты, как и шрифты формата PostScript (Type1), применяются для полиграфии, с ними работают текстовые процессоры (типа MicrosoftWord) и сложные программы верстки (например, QuarkXPress).

Для того чтобы профессионально создавать новые шрифты или редактировать имеющиеся, существуют специальные программы. Наиболее известные редакторы контурных шрифтов: FontLab российской фирмы "СофтЮнион"; Fontographer, разработанный фирмой Altsys, мировым лидером в разработке программ для издательской деятельности; FontMonger фирмы Ares. Преобразовывать профессиональный шрифт с помощью программ редактирования – задача очень сложная. Грамотно решить её под силу только специалистам.

Использование определённых шрифтов очень помогает донести различную информацию до "читателя". В тексте могут присутствовать следующие элементы:

- заголовок – лучше всего выполнять более крупным, привлекающим внимание шрифтом, это может быть либо легкочитаемый шрифт с засечками (мы рассматривали подобные в предыдущем описании), либо, наоборот, трудночитаемый шрифт с очень яркой, запоминающейся гарнитурой. Примерами могут служить такие шрифты, как Helvetica, Tahoma, Arial (шрифты без засечек), Baltica (с засечками), различные декоративные шрифты;

- девиз (или цитата) – обычно делают шрифтом на 1–2 пункта меньше основного текста. Так как шрифт получается достаточно мелкий – 9 – 11 пунктов, то лучше воспользоваться шрифтами без засечек (Helios, Helvetica, Arial, Tahoma). Кроме того, будет лучше если фраза будет набрана наклонным (italic) шрифтом. Таким образом она будет более заметна.

- основной текст – набирается размером в 10 – 14 пунктов. Здесь лучше использовать стандартные решения – шрифты с засечками или без, но обязательно легкочитаемые (если конечно вы не стараетесь специально сделать текст неудобочитаемым). Для веб-страниц идеально подходят шрифты Arial, Helvetica, Times Roman;

- адреса, телефоны, имена авторов – обычно делаются либо на 1 – 2 пункта больше основного текста, либо такими же по размеру, но полужирными.

Прежде чем начинать подбор шрифтов для мультимедиа, необходимо определить, для чего нужна данная текстовая информация. В зависимости от этого, а так же от вида публикации (реклама, объявление, отчёт, информационная записка и т.д.) и выбираются шрифты. Не случайно, например, сложно увидеть в газете декоративный шрифт (даже в заголовках), а в рекламе он встречается довольно часто. Дело в том, что цель заголовка газеты и рекламы одна, но достигается разными путями. В газете достаточно просто изменить размер шрифта или изменить его наклон и читатель сам поймет, где заголовок, а где основной текст. В рекламе же необходимо как можно ярче, интенсивнее заявить о себе.

#### Контрольные вопросы

1. В чём заключается отличие цветового диапазона от динамического?
2. Какие цвета называются плашечными? Для чего они используются?
3. Какие цвета называются базовыми? Почему они получили такое название?
4. В чём основное отличие субтрактивной цветовой модели от аддитивной?
5. Что понимается под цветовым охватом?
6. Назовите отличительные особенности перцепционных цветовых моделей.
7. Перечислите области применения цветовой модели Lab.

## 4. КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

### 4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ЦВЕТА

Цвет окружает нас повсюду. Он такой же естественный компонент нашей жизни как воздух, которым мы дышим. Научкой доказано, что цветовое зрение отличает человека от большинства представителей животного мира. И поскольку зрение выполняет функции одного из основных каналов восприятия информации о внешнем мире, то именно цвет играет наиболее важную роль в процессе её интерпретации.

Для того чтобы "увидеть" цвет, нужны три вещи:

- источник света;

- объект;
- глаз (приёмник излучения).

Теперь можно перейти к оценке роли физических и биологических аспектов процесса восприятия цвета.

*Первый аспект – физика.* Свет попадает на квадрат и отражается.

*Второй аспект – биология.* Отражённый свет попадает в глаз человека и воздействует на светочувствительные клетки глаза, которые содержат два типа рецепторов: *палочки* (cones) и *колбочки* (staves). Колбочки активны только в темноте или в сумерках. При нормальном освещении мы воспринимаем цвет исключительно с помощью палочек трёх разновидностей, каждая из которых реагирует на определённый диапазон длин волн. Экспериментально доказано, что первый тип воспринимает световые волны с длинами волн в диапазоне 400...500 нм ("синяя" составляющая спектра), второй – 500...600 нм ("зелёная" составляющая спектра) и третий – 600...700 ("красная" составляющая спектра). В зависимости от того, световые волны какой длины и интенсивности присутствуют в спектре, те или иные группы колбочек возбуждаются сильнее или слабее. Полученная с помощью зрительных рецепторов информация поступает в виде сигналов в мозг, который определяет, в каких соотношения возбуждены три вида колбочек, создавая на базе этого цветовое восприятие. Таким образом, исходя из особенностей строения человеческого глаза, можно сделать вывод, что цвет трёхмерен по своей природе.

Наличие света является непременным условием визуального восприятия всего цветового богатства окружающего нас мира. В то же время известно, что белый свет вне зависимости от его источника (солнце, лампочка или экран монитора) в действительности представляет собой смесь цветов – *спектр*. Цвета этого спектра, называемого *видимым спектром* света, условно классифицируют как красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий и фиолетовый. Любой из них, в свою очередь, представляет собой электромагнитное излучение перекрывающее достаточно широкий диапазон длин волн видимого спектра. Для нашего глаза каждый интервал этого видимого спектра обладает своими уникальными характеристиками, которые и называются цветом.

Всё, что мы видим в окружающем нас пространстве, либо излучает свет, либо его отражает.

*Излученный цвет* – это свет, испускаемый активным источником. Примерами таких источников могут служить солнце, лампочка или экран монитора. В основе их действия обычно лежит нагревание металлических тел либо химические или термоядерные реакции. Цвет любого излучателя зависит от спектрального состава излучения, если источник излучает световые волны во всём видимом диапазоне, то его цвет будет восприниматься нашим глазом как белый. Преобладание в его спектральном составе длин волн определённого диапазона (например, 400...450 нм) даст ощущение доминирующего в нём цвета (в данном случае сине-фиолетового). И, наконец, присутствие в излучаемом свете световых компонент из разных областей видимого спектра (например, красной и зелёной) даёт восприятие нами результирующего цвета (в данном случае жёлтого). Но при этом в любом случае попадающий в наш глаз излучаемый цвет сохраняет в себе все цвета, из которых он был создан.

*Отражённый свет* возникает при отражении некоторым предметом (вернее, его поверхностью) световых волн, падающих на него от источника света. Механизм отражения цвета зависит от цветового типа поверхности, которые можно условно разделить на две группы:

- ахроматические;
- хроматические.

Первую группу составляют *ахроматические* (иначе бесцветные) цвета: чёрный, белый и все серые (от самого тёмного до самого светлого). Их часто называют нейтральными. В предельном случае такие поверхности либо отражают все падающие на них лучи, ничего не поглощая (идеально белая поверхность), либо полностью тучи поглощают, ничего не отражая (идеальная чёрная поверхность). Все остальные варианты (серые поверхности) равномерно поглощают световые волны разной длины. Отражённый от них цвет не меняет своего спектрального состава, изменяется только его интенсивность.

Вторую группу образуют поверхности, окрашенные в *хроматические* цвета, которые по-разному отражают свет с разной длиной волны. Так, если вы осветите белым цветом листок зелёной бумаги, то бумага будет выглядеть зелёной, потому что её поверхность поглощает все световые волны, кроме зелёной составляющей белого цвета. Что же произойдёт, если осветить зелёную бумагу красным или синим цветом? Бумага будет восприниматься чёрной, потому что падающие на неё красный и синий цвета она не отражает. Если же осветить зелёный предмет зелёным светом, это позволит выделить его на фоне окружающих его предметов другого цвета.

С физической точки зрения, свет можно охарактеризовать двумя параметрами: энергией (интенсивностью) и длиной волны. Однако в теории цвета, живописи, телевидения и компьютерной графики наибольшее распространение получили два производных от них параметра: яркость и цветность.

*Яркость* (или интенсивность) пропорциональна сумме энергий всех составляющих цветового спектра света.

*Цветность*, наоборот, связана с доминирующими длинами волн в этом спектре.

Ахроматические цвета, т.е. белые, серые и чёрные, характеризуются только яркостью. Это проявляется в том, что одни цвета темнее, а другие светлее. В отличие от них хроматические цвета для своего описания требуют задания и яркости, и цветности.

Распространённость указанных параметров обусловлена физиологическими особенностями нашего зрения, связанными с наличием в сетчатке глаза уже упоминавшихся ранее двух типов нервных клеток: палочек, реагирующих на яркостную составляющую света, и колбочек, воспринимающих цветовую информацию. Яркость является количественной характеристикой цвета. С её помощью мы можем сравнивать интенсивность излучения различных источников между собой. В отличие от неё цветность имеет качественный характер. Поэтому для того, чтобы сравнить два цвета по цветности, желательнее было бы отделить их от яркости. Практически это невозможно, но теоретически вполне доступно с помощью имеющейся во всех графических пакетах цветовой модели *Lab*. Присутствующие в ней абстрактные цветовые компоненты (собственно цветности) *a* и *b* обладают нулевой яркостью, а канал *L* содержит только яркостную информацию.

Цвета воспринимаются различными людьми по-разному. Подобно запахам или звукам, они подключают индивидуальные для каждого человека рецепторы. Не существует двух людей, одинаково воспринимающих один и тот же цвет. Рассмотрим только основные факторы, влияющие на восприятие цвета. Спектральная чувствительность глаза колеблется от человека к человеку. Поэтому часто один и тот же цвет вызывает у разных людей различные впечатления. Например, бирюзовый цвет некоторые воспринимают как зелёный, другие – как голубой (cyan). Это связано с тем, что число рецепторов, отвечающих за восприятие определённых длин волн, у каждого человека индивидуально. Восприятие цветов меняется с возрастом, зависит от остроты зрения, национальности и многих других на первый взгляд малозначительных факторов. Правда, подобные различия относятся в основном к тонким оттенкам цвета, поэтому можно считать, что основные цвета воспринимаются большинством людей одинаково. На восприятие цвета оказывает влияние настроение. Так, для утомлённого человека стены серого цвета будут казаться темнее, чем это является на самом деле. На восприятие цвета также влияют внешние факторы. Одним из них, в частности, является цветовая среда, на фоне которой воспринимается конкретный цвет.

Как уже отмечалось, на восприятие цвета влияет характер освещения. Цвет объекта будет выглядеть по-разному при дневном освещении и при искусственном освещении. Например, лист бумаги, воспринимаемый как белый при дневном освещении, при искусственном освещении будет иметь желтоватый оттенок.

Стоит отметить, что последний эффект проявляется только в первый момент времени. По истечении некоторого времени, необходимого для адаптации рецепторов глаза к новому источнику излучения, цвет бумаги снова будет восприниматься как белый даже при искусственном освещении.

Все перечисленные факторы подтверждают тот факт, что восприятие сигналов внешнего мира человеческими рецепторами носит относительный характер. Механизм относительного восприятия базируется на непосредственном сравнении двух разных величин. Применительно к цвету это приводит к тому, что мы можем различать два цвета по яркости или цветности только в том случае, если разница между ними превышает некоторое пороговое значение. Поскольку число таких порогов ограничено, то и число цветов, различаемых нашим глазом, также является конечной величиной. Так, глаз человека может воспринимать до ста тысяч цветов. Тот факт, что число различаемых цветов, видимых в отражённом свете, намного меньше, привёл к созданию системы оценки цветов путём сравнения с эталоном. Именно на таком приёме основан, например, подбор цветов дизайнером с помощью образцов цвета типа Pantone или TrueMatch.

В технике, особенно при обработке изображений, субъективность в высшей степени нежелательна. Только при наличии объективных измерительных систем, позволяющих установить однозначное определение цветности, можно обеспечить одинаковое воспроизведение одного и того же цвета видеомониторами и телевизорами разных фирм-изготовителей.

Именно для этой цели были разработаны точные математические методы описания цвета, каждый из которых создавался для определённой области применения.

## 4.2. ЦВЕТОВЫЕ МОДЕЛИ

Субъективность в восприятии цвета при обработке изображений крайне нежелательна. Для обеспечения одинакового воспроизведения одного и того же цвета видеомониторами, принтерами и сканерами разных фирм-изготовителей необходимо наличие объективных измерительных систем, позволяющих установить однозначное определение цветовых координат. Для этих целей разработаны специальные средства, включающие:

- цветовые модели;
- системы соответствия цветов;
- цветовые режимы.

В основе создания цветовых моделей лежит использование универсальных языков, позволяющих реализовать способы точного описания цвета с помощью стандартных математических выражений. Без их помощи было бы невозможно выполнить ни один из этапов обработки цифровых изображений, включая сканирование, редактирование и печать.

В современных компьютерных программах манипуляции с цветом осуществляются с помощью цветовых моделей и режимов.

Цветовые модели (или цветовые пространства) предоставляют средства для концептуального и количественного описания цвета.

Ознакомившись с основами концептуального представления цвета, вы сможете лучше понять соотношения между цветами при работе, например, с тоновыми кривыми или при выборе нужного цвета с помощью окон диалога или палитр.

Режим – это способ реализации определённой цветовой модели в рамках конкретной графической программы.

Цветовые модели (color model) используются для математического описания определённых цветовых областей спектра. Большинство компьютерных цветовых моделей основано на использовании трёх основных цветов, что соответствует восприятию цвета человеческим глазом. Каждому основному цвету присваивается определённое значение цифрового кода, после чего все остальные цвета определяются как комбинации основных цветов. Именно такой подход используют художники при создании картины на базе ограниченной палитры цветов. Несмотря на то, что цветовые модели позволяют представить цвет математически, такое представление всегда будет казаться несовершенным в силу отличия от нашего восприятия. Однако они удобны при использовании в компьютерных программах для однозначного определения выводимого цвета. Так, если послать на монитор цветовой сигнал R255 GOOD B255, то на любом хорошо откалиброванном мониторе теоретически должен появиться один и тот же цвет (в данном случае пурпурный). Независимо от того, что лежит в её основе, любая модель должна удовлетворять трём требованиям:

1. Реализовывать определение цвета некоторым стандартным способом, не зависящим от возможностей какого-либо конкретного устройства.
2. Точно задавать диапазон воспроизводимых цветов, поскольку ни одно множество цветов не является бесконечным.

3. Учитывать механизм восприятия цветов – излучение или отражение.

*Типы цветковых моделей.* Большинство графических пакетов позволяют оперировать широким кругом цветковых моделей, часть из которых создана для специальных целей, а другая – для особых типов красок.

По принципу действия перечисленные цветковые модели можно условно разбить на три класса:

- аддитивные (*RGB*), основанные на сложении цветов;
- субтрактивные (*CMY, CMYK*), основу которых составляет операция вычитания цветов (субтрактивный синтез);
- перцепционные (*HSB, HLS, Lab, YCC*), базирующиеся на восприятии.

*Способы описания цвета.* В большинстве цветковых моделей для описания цвета используется трёхмерная система координат. Она образует цветковое пространство, в котором цвет можно представить в виде точки с тремя координатами. Для оперирования цветом в трёхмерном пространстве Г. Грассман вывел три закона.

1. Трёхмерность природы цвета. Глаз реагирует на три различные цветковые составляющие. Примеры:

- красный, зелёный и синий цвета;
- цветовой тон (доминирующая длина волны), насыщенность (чистота) и яркость (светлость).

2. Четыре цвета всегда линейно зависимы, т.е.

$$cC = rR + gG + bB,$$

где  $c, r, g, b \neq 0$  – весовые коэффициенты для каждой из составляющих цвета. Для смеси двух цветов ( $cC$ )1 и ( $cC$ )2 имеет место равенство:

$$(cC)1 + (cC)2 = (rR)1 + (gG)1 + (bB)1 + (rR)2 + (gG)2 + (bB)2,$$

которое свидетельствует о том, что цвет смеси излучений  $C$  зависит только от их цвета, но не от спектрального состава.

Следствие: если цвет  $C1$  равен цвету  $C$ , и цвет  $C2$  тоже равен цвету  $C$ , то следует, что цвет  $C1$  равен цвету  $C2$  независимо от структуры спектров энергии цветов  $C, C1$  и  $C2$ .

3. Цветовое пространство непрерывно. Если в смеси трёх цветов один непрерывно изменяется, а другие остаются постоянными, то цвет смеси будет меняться непрерывно.

#### 4.2.1. Аддитивные цветковые модели

Аддитивный цвет получается на основе законов Грассмана путём соединения лучей света разных цветов. В основе этого явления лежит тот факт, что большинство цветов видимого спектра могут быть получены путём смешивания в различных пропорциях трёх основных цветковых компонент. Этими компонентами, которые в теории цвета иногда называются первичными цветами, являются красный (Red), зелёный (Green) и синий (Blue). При попарном смешивании первичных цветов образуются вторичные цвета: голубой (Cyan), пурпурный (Magenta) и жёлтый (Yellow). Следует отметить, что первичные и вторичные цвета относятся к базовым цветам.

Базовыми цветами называют цвета, с помощью которых можно получить практически весь спектр видимых цветов.

Аддитивные цвета нашли широкое применение в системах освещения, видеосистемах, устройствах записи на фото-плёнку, мониторах, сканерах и цифровых камерах. Используемые для построения *RGB*-модели первичные (или аддитивные), цвета имеют ещё одно название. Иногда, чтобы подчеркнуть тот факт, что при добавлении света интенсивность цвета увеличивается, эту модель называют добавляющей. Такое обилие терминов, используемых для описания *RGB*-модели, связано с тем, что она возникла задолго до появления компьютера, и каждая область её применения внесла свой вклад в терминологию.

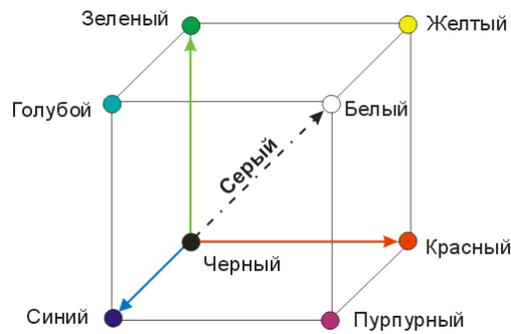
Математически цветковую модель *RGB* удобнее всего представлять в виде куба (рис. 4.1). В этом случае каждая его пространственная точка однозначно определяется значениями координат  $X, Y$  и  $Z$ . Если по оси  $X$  откладывать красную составляющую, по оси  $Y$  – зелёную, а по оси  $Z$  – синюю, то каждому цвету можно поставить в соответствие точку внутри куба.

При использовании этой модели любой цвет может быть представлен в цветковом пространстве с помощью вектора, описываемого уравнением:

$$cC = rR + gG + bB.$$

Уравнение идентично уравнению свободного вектора в пространстве, рассматриваемому в векторной алгебре. При этом направление вектора характеризует цветность, а его модуль выражает яркость.

На диагонали (ахроматической оси), соединяющей точки с координатами  $(R, G, B) = (0, 0, 0)$  и  $(R, G, B) = (255, 255, 255)$ , расположены различные градации серого, для которых значения красной, зелёной и синей составляющих одинаковы.



**Рис. 4.1. Цветовая модель RGB**

В графических пакетах цветовая модель *RGB* используется для создания цветов изображения на экране монитора, основными элементами которого являются три электронных прожектора и экран с нанесёнными на него тремя разными люминофорами. Точно так же, как и зрительные пигменты трёх типов колбочек, эти люминофоры имеют разные спектральные характеристики. Но в отличие от глаза они не поглощают, а излучают свет. Один люминофор под действием попадающего на него электронного луча излучает красный цвет, другой – зелёный, третий – синий. Мельчайший элемент изображения, воспроизводимый компьютером, называется *пикселом* (pixel от picture element). При работе с низким разрешением отдельные пикселы не видны. Однако если вы будете рассматривать белый экран включенного монитора через лупу, то увидите, что он состоит из множества отдельных точек красного, зелёного и синего цветов, объединённых в *RGB*-элементы в виде триад основных точек. Цвет каждого из воспроизводимых кинескопом пикселов (*RGB*-элементов изображения) получается в результате смешивания красного, синего и зелёного цветов входящих в него трёх люминофорных точек. При просмотре изображения на экране с некоторого расстояния эти цветовые составляющие *RGB*-элементов сливаются, создавая иллюзию результирующего цвета.

Несмотря на то, что цветовая модель *RGB* достаточно проста и наглядна, при её практическом применении возникают две серьёзные проблемы:

- аппаратная зависимость;
- ограничение цветового охвата.

Первая проблема связана с тем, что цвет, возникающий в результате смешения цветовых составляющих *RGB* элемента, зависит от типа люминофора. А поскольку в технологии производства современных кинескопов находят применение разные типы люминофоров, то установка одних и тех же интенсивностей электронных лучей в случае различных люминофоров приведёт к синтезу разного цвета. Например, если на электронный блок монитора подать определённую тройку *RGB*-значений, скажем  $R = 98$ ,  $G = 127$  и  $B = 201$ , то нельзя однозначно сказать, каков будет результат смешивания. Эти значения всего лишь задают интенсивности возбуждения трёх люминофоров одного элемента изображения. Какой получится при этом цвет, зависит от спектрального состава излучаемого люминофором света. Поэтому в случае аддитивного синтеза для однозначного определения цвета наряду с установкой триады значений интенсивностей необходимо знать спектральную характеристику люминофора.

Существуют и другие причины, приводящие к аппаратной зависимости *RGB*-модели даже для мониторов, выпускаемых одним и тем же производителем. Это связано, в частности, с тем, что в процессе эксплуатации происходит старение люминофора и изменение эмиссионных характеристик электронных прожекторов. Для устранения (или по крайней мере минимизации) зависимости *RGB*-модели от аппаратных средств используются различные устройства и программы градуировки.

Цветовой охват (color gamut) – это диапазон цветов, который может различать человек или воспроизводить устройство независимо от механизма получения цвета (излучения или отражения).

Ограниченность цветового охвата объясняется тем, что с помощью аддитивного синтеза принципиально невозможно получить все цвета видимого спектра. В частности, некоторые цвета, такие, как чистый голубой или чистый жёлтый, не могут быть точно воссозданы на экране. Но несмотря на то, что человеческий глаз способен различать цветов больше, чем монитор, *RGB*-модели вполне достаточно для создания цветов и оттенков, необходимых для воспроизводства фотореалистических изображений на экране вашего компьютера.

Для того, чтобы однозначно определить цветовую модель *RGB*, по инициативе двух фирм: Microsoft и HP, она стандартизирована и соответствует цветовому пространству типичного монитора VGA низшего класса. Это так называемое стандартное цветовое пространство для Интернет – sRGB (так называемое standard RGB – стандартное RGB). Сегодня это пространство является альтернативой системам управления цветом, использующим ICC-профили, предназначенные для описания цветового охвата устройств, которые входят в состав настольных издательских систем. В отличие от последних для пользователя Интернета важны простота и компактность файлов.

#### 4.2.2. Субтрактивные цветовые модели

В отличие от экрана монитора, воспроизведение цветов которого основано на излучении света, печатная страница может только отражать цвет. Поэтому *RGB*-модель в данном случае неприемлема. Вместо неё для описания печатных цветов используется модель *СМУ*, базирующаяся на субтрактивных цветах. Субтрактивные цвета в отличие от аддитив-

ных получаются вычитанием вторичных цветов из общего луча света. В этой системе белый цвет появляется как результат отсутствия всех цветов, тогда как их присутствие даёт чёрный цвет.

В последнее время в качестве синонима термина "субтрактивная" иногда используют термин "исключающая". Происхождение этого названия связано с явлением отражения света от покрытой красителем поверхности, а также с тем фактом, что при добавлении красителей интенсивность света уменьшается, поскольку свет поглощается тем больше, чем больше красителя нанесено на поверхность. Нанесение на бумагу трёх базовых цветов: голубого (Cyan), пурпурного (Magenta) и жёлтого (Yellow) позволяет создать множество субтрактивных цветов.

*СМУ и СМУК.* Существуют две наиболее распространённые версии субтрактивной модели: *СМУ* и *СМУК*. Первая из них используется в том случае, если изображение или рисунок будут выводиться на чёрно-белом принтере, позволяющем заменять чёрный картридж на цветной (color upgrade). В её основе лежит использование трёх субтрактивных (вторичных) цветов: голубого (Cyan), пурпурного (Magenta) и жёлтого (Yellow). Теоретически при смешивании этих цветов на белой бумаге в равной пропорции получается чёрный цвет.

Однако в реальном технологическом процессе получение чёрного цвета путём смешивания трёх основных цветов для бумаги неэффективно по трём причинам.

1. Невозможно произвести идеально чистые пурпурные, синие и жёлтые краски. Поэтому цвет получается не чисто чёрным, а грязно-ко-ричневый.

2. На создание чёрного цвета с помощью модели *СМУ* тратится в три раза больше краски.

3. Любые цветные краски дороже обычных чёрных.

В силу перечисленных факторов при печати чистого чёрного цвета используется добавка дополнительной чёрной компоненты цвета. Эта технология приводит также к улучшению качества теней и серых оттенков. Интенсивность каждой из четырёх компонент цвета может изменяться в диапазоне от 0 до 100 %. В аббревиатуре модели *СМУК* используется буква "К" (последняя буква слова Black) для того, чтобы избежать путаницы, поскольку в английском языке с буквы "B" начинается не только слово Black (чёрный), но и слово Blue (синий). Встречается еще один вариант трактовки использования этой буквы как аббревиатуры термина Key color (ключевой цвет).

*СМУК*-модель имеет те же два типа ограничений, что и *RGB*-модель: аппаратная зависимость; ограниченный цветовой диапазон.

В *СМУК*-модели также нельзя точно предсказать результирующий цвет только на базе численных значений её отдельных компонентов. В этом смысле она является даже более аппаратно-зависимой моделью, чем *RGB*. Это связано с тем, что в ней имеется большее количество дестабилизирующих факторов, чем в *RGB*-модели. К ним в первую очередь можно отнести вариацию состава цветных красителей, используемых для создания печатных цветов. Цветовое ощущение определяется ещё и типом применяемой бумаги, способом печати и, не в последнюю очередь, внешним освещением. Последнее неудивительно – ведь никакой объект не может отразить цвет, отсутствующий в источнике излучения.

В силу того, что цветные красители имеют худшие характеристики по сравнению с люминофорами, цветовая модель *СМУК* имеет более узкий цветовой диапазон по сравнению с *RGB*-моделью (рис. 4.2). В частности, она не может воспроизводить яркие насыщенные цвета, а также ряд специфических цветов, таких, например, как металлический или золотистый.

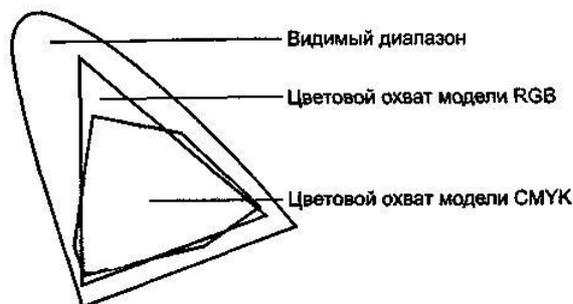


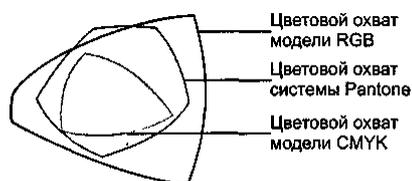
Рис. 4.2. Сопоставление цветковых охватов *RGB*- и *СМУК*-моделей

И профессионалы в области полиграфии, занимающиеся подготовкой и изданием красочных буклетов по живописи, и специалисты в области рекламы, чьи доходы напрямую связаны с воздействием цветных публикаций на покупателя, уже давно имеют претензии к стандартной *СМУК*-модели из-за относительно узкого диапазона воспроизводимых ею цветов. С помощью четырёхцветной печати можно воспроизвести достаточно реалистичные красные цвета, но невозможно добиться ярких розовых, синих, фиолетовых и многих других цветов. Но даже те цвета, которые хорошо воспроизводятся с помощью этой модели, часто оказываются недостаточно насыщенными. По этой причине на базе *СМУК*-модели разработан ряд новых технологий.

*Технология HiFi Color.* К настоящему времени создано несколько вариантов HiFi Color. Их общей чертой является расширение используемых при цветовой печати гаммы цветов за счёт добавления новых цветов к четырём базовым цветам *СМУК*. Одна из таких цветковых систем разработана фирмой Pantone. Её компьютерный вариант PANTONE® HEXACHROME™ Colors впервые введён в интегрированный пакет CorelDRAW 7. Палитра базируется на цветовой модели *СМУК*, дополнительно к четырём цветам которой добавлены два новых цвета: зелёный (G) и оранжевый (O). Это позволяет существенно расширить диапазон воспроизводимых цветов при офсетной печати и заметно поднять качество цветопередачи. В настоящее время наряду с шестичетной цветовой системой фирмы Pantone реализованы и другие системы. Так, в системе *HiFi Color 3000* фирмы LinoTipe-Hell для получения ярких красных, зелёных и синих цветов используется семь цветов (три аддитивных *RGB*-модели и четыре субтрактивных цвета *СМУК*-модели).

*Использование плашечных цветов.* Плашечными (простыми, смесовыми) цветами называются цвета, которые воспроизводятся на бумаге готовыми смесовыми красками, созданными с помощью специальной технологии, базирующейся на использовании для каждого цвета соответствующего ему уникального красителя (чернил). Поскольку они в отличие от триадных (*СМУК*) цветов не прозрачны, то отражают свет поверхностным слоем. Это позволяет добиться воспроизведения очень ярких тонов и специальных эффектов типа металлизации и иризации (перелива оттенков при разных углах зрения). Плашечные краски используют вместо триадных красок или в добавление к ним. Несколько фирм занимаются производством таких цветов. Это в первую очередь Pantone, TRUMATCH и Focoltone.

На рис. 4.3 приведён пример сопоставления цветового охвата модели *СМУК* с цветами Pantone.



**Рис. 4.3. Варианты расширения цветового охвата *СМУК*-модели путём использования технологии HiFi Color и плашечных цветов фирмы Pantone**

### 4.2.3. Перцепционные цветовые модели

Для дизайнеров, художников и фотографов основным инструментом индикации и воспроизведения цвета служит глаз. Этот естественный "инструмент" обладает цветовым охватом, намного превышающим возможности любого технического устройства, будь то сканер, принтер или фотоэкспонирующее устройство вывода на пленку.

Как было показано ранее, используемые для описания технических устройств цветовые системы *RGB* и *СМУК* являются аппаратнозависимыми. Это значит, что воспроизводимый или создаваемый с помощью них цвет определяется не только составляющими модели, но и зависит от характеристик устройства вывода. Для устранения аппаратной зависимости был разработан ряд так называемых перцепционных (интуитивных) цветовых моделей. В их основу заложено раздельное определение яркости и цветности. Такой подход обеспечивает ряд преимуществ:

- позволяет обращаться с цветом на интуитивно понятном уровне;
- значительно упрощает проблему согласования цветов, поскольку после установки значения яркости можно заняться настройкой цвета.

Прототипом всех цветовых моделей, использующих концепцию разделения яркости и цветности, является *HSV*-модель. К другим подобным системам относятся *HSI*, *HSB*, *HSL* и *YUV*. Общим для них является то, что цвет задаётся не в виде смеси трёх основных цветов: красного, синего и зелёного, а определяется путём указания двух компонентов: цветности (цветового тона и насыщенности) и яркости.

*Цветовая модель HSB.* Модель *HSB* (*Hue* – цветовой тон, *Saturation* – насыщенность, *Brightness* – яркость) или её ближайший аналог *HSL* представлены в большинстве современных графических пакетов. Из всех используемых в настоящее время моделей эта модель наиболее точно соответствует способу восприятия цветов человеческим глазом. Она позволяет описывать цвета интуитивно ясным способом. В *HSB*-модели все цвета определяются с помощью комбинации трёх базовых параметров:

- цветовой тон (*H*);
- насыщенность (*S*);
- яркость (*B*).

*Цветовой тон.* Как уже отмечалось, каждый реальный источник света воспроизводит его в виде смеси волн, имеющих разные длины. Под цветовым тоном (*hue*) понимается свет с доминирующей длиной волны. Обычно для описания цветового тона (в некоторых источниках применяется термин "оттенок") используется название цвета, например, красный, оранжевый или зелёный. В традиционной интерпретации этой модели каждый цветовой тон занимает определённое положение на периферии цветового круга и характеризуется величиной угла в диапазоне от 0 до 360° (рис. 4.4). Обычно для красного цвета берётся угол 0°, для чисто зелёного – 120° и для чисто синего – 240°.

На цветовом круге первичные цвета расположены на равном расстоянии друг от друга. Вторичные цвета находятся между первичными. В свою очередь, каждый цвет расположен напротив дополняющего его (комплиментарного) цвета, причём он находится между цветами, с помощью которых получен. Например, сложение жёлтого и голубого цветов даёт зелёный. Таким образом, на цветовом круге зелёный цвет должен располагаться между жёлтым и голубым. Хотя оранжевый или фиолетовый не являются первичными или вторичными цветами (они представляются комбинацией первичного и вторичного цветов), они показаны на круговой диаграмме цветов, чтобы проиллюстрировать их положение относительно других цветов.



**Рис. 4.4. Расположение цветов на цветовом круге:**

А – цветовой тон; Б – насыщенность

Однако само по себе понятие цветового тона не содержит всей полноты информации о цвете. Например, свет, в котором преобладает компонента с длиной волны около 450 нм, будет восприниматься большинством людей с нормальным зрением как оттенок, обычно ассоциируемый с синим цветом (ему соответствует на цветовом круге угол 240°).

**Насыщенность.** Цветовой тон не единственный атрибут цвета, различаемый людьми. Другой компонент — насыщенность — характеризует чистоту цвета. Он определяет соотношение между основной, доминирующей компонентой цвета и всеми остальными длинами волн (количеством серого), участвующими в формировании цвета. Количественное значение этого параметра выражается в процентах от 0% (серый) до 100% (полностью насыщенный).

По другому определению, насыщенность отражает, насколько далеко отстоит данный цвет от равного с ним по яркости белого цвета. В этом случае насыщенность можно измерять числом едва заметных переходов (градаций), лежащих между данным цветом и белым.

Чем выше значение насыщенности, тем сильнее и яснее ощущается цветовой тон. Например, пастельный синий цвет воспринимается как размытый синий цвет из-за незначительного содержания в нём чистого оттенка. Снижение насыщенности приводит к тому, что цвет становится нейтральным, без чётко выраженного тона. Если вы возьмете цветную фотографию и понизите насыщенность до 0%, то в итоге получите чёрно-белую фотографию (в градациях серого).

Примерами цветов с максимальной насыщенностью могут служить спектральные цвета, в частности жёлтый цвет, соответствующий линии спектра натрия с длиной волны 536 нм. В то же время жёлтый цвет, полученный путём аддитивного сложения красного с зелёным, характеризуется пониженной насыщенностью. И совсем низкую насыщенность имеет жёлтый свет солнечного диска, содержащего практически полный спектр видимых цветов.

Примерами "полностью" нейтральных (ахроматических) цветов могут служить серый, белый и чёрный цвета. По мере перемещения к центру круга цвет приближается к серому, поскольку при этом все базовые цвета смешиваются в равной пропорции.

Естественные цвета имеют низкую насыщенность, поэтому слишком насыщенные цвета выглядят ненатуральными и подчёркнутыми.

Перемещение поперёк цветового круга (в отличие от движения по окружности) приводит к уменьшению доли цвета, от которого вы удаляетесь, и возрастанию доли цвета, к которому вы приближаетесь. В итоге это приводит к понижению насыщенности, которая имеет максимальное значение (100 %) на поверхности окружности и минимальное (0 %) — в центре круга.

**Яркость.** Яркость (*B*) характеризует интенсивность, с которой энергия света воздействует на рецепторы нашего глаза. Её можно интерпретировать также как относительную освещённость или затемнённость цвета (светлоту цвета). Солнечный зайчик — пример высокой интенсивности освещения (яркого). В то же время тлеющие угли — низкой. Любые цвета и оттенки независимо от их цветового тона можно сравнить по яркости, то есть определить, какой из них темнее, а какой светлее.

Яркость никоим образом не влияет на цветность, но от неё зависит, насколько сильно цвет будет восприниматься нашим глазом. При нулевой яркости мы не видим ничего, поэтому любой цвет будет восприниматься как чёрный. Исходя из этого, яркость иногда трактуют подобно насыщенности, т.е. как величину, обратную степени разбавленности цвета чёрным. В этом случае при отсутствии чёрного мы получаем чистый спектральный цвет, а максимальная яркость вызывает ощущение ослепительно белого цвета.

Когда говорят о яркости как атрибуте цвета, под белым цветом понимают абсолютную яркость, а под чёрным цветом — полное отсутствие яркости. Серый цвет характеризует промежуточное значение яркости.

Ахроматические цвета, т.е. белые, серые и чёрные, характеризуются только яркостью. Это проявляется в том, что одни цвета темнее, а другие светлее. Величина яркости измеряется в процентах в диапазоне от 0% (чёрный) до 100% (белый). По мере снижения процентного содержания яркости цвет становится темнее, стремясь к чёрному. Данная компонента является нелинейной, что соответствует нашему восприятию светлых и тёмных цветов.

Яркость и цветовой тон не являются полностью независимыми параметрами. Изменение яркости изображения влияет на изменение цветового тона, что создаёт нежелательный цветовой отлив (сдвиг) в изображении. Так, при значительном уменьшении яркости зелёные цвета синеют, синие приближаются к фиолетовым, жёлтые — к оранжевым, а оранжевые — к красным. Сильное увеличение яркости излучения вызывает другой эффект. Красные цвета переходят в оранжевые, затем в жёлтые и, наконец, — в белые.

**Достоинства и ограничения HSB-модели.** Модель *HSB* в отличие от моделей *RGB* и *CMYK* носит абстрактный характер. Отчасти это связано с тем, что цветовой тон и насыщенность цвета нельзя измерить непосредственно. Любая форма

ввода цветовой информации всегда начинается с определения красной, зелёной и синей составляющих, на базе которых затем с помощью математического пересчёта получают компоненты *HSB*-модели. В результате эта цветовая модель имеет то же цветовое пространство, что и *RGB*-модель, а значит, и присущий ей недостаток – ограниченное цветовое пространство.

Вместе с тем *HSB*-модель обладает по сравнению с *RGB*- и *CMYK*-моделями двумя важными преимуществами:

1. Аппаратной независимостью. Задание составляющих этой модели в виде значений цветового тона, насыщенности и яркости позволяют однозначно определить цвет без необходимости учёта параметров устройства вывода.
2. Более простым и интуитивно понятным механизмом управления цветом.

Это связано с тем, что цветовой тон, насыщенность и яркость представляют собой независимые характеристики цвета. Например, чистый красный цвет расположен на цветовом круге под углом  $0^\circ$ . Если нужно сместить красный тон к оранжевому, то следует лишь несколько увеличить угол, определяющий цветовой тон. Для получения более блеклого цвета достаточно лишь снизить насыщенность, а для придания ему большей яркости соответственно увеличить значение яркости. Получение таких эффектов с помощью *RGB*-модели практически невозможно, поскольку значения её цветовых компонентов очень сильно зависят друг от друга. Поэтому при изменении одной из её составляющих, например, красной, это окажет влияние не только на цветовой тон, но одновременно и на насыщенность и яркость.

#### 4.2.4. Колориметрические системы

Как уже подчёркивалось, для корректного измерения цвета необходимо создание специальных цветовых моделей, обеспечивающих однозначность и воспроизводимость результатов измерений. Рассмотренные ранее *RGB*- и *CMYK*-модели не отвечают этим требованиям по причине ограниченного цветового охвата и аппаратной зависимости. Перцепционные модели на базе цветовой модели *HSB* также не подходят для этих целей, поскольку их компоненты определяются из *RGB*-модели. В принципе, можно было бы обойтись без использования цветовых моделей. Но для этого потребовалось бы измерять, хранить и воспроизводить не цвет объекта, а полный его спектр. И хотя современные приборы для измерения спектрального состава света, спектрофотометры, становятся всё доступнее, реализовать эту возможность пока практически невозможно.

Для решения этой проблемы в 1931 году на VIII сессии Международной комиссии по освещению – МКО (в литературе вместо МКО часто используется обозначение *CIE* – от французского названия Commission Internationale de L'Éclairage) были предложены два варианта аппаратнонезависимых колориметрических моделей:

- цветовая система *RGB* МКО (или просто модель *RGB* МКО);
- цветовая модель *XYZ*.

##### Цветовая система *RGB* МКО

Эта система представляет собой дальнейшее развитие аппаратнозависимой *RGB* цветовой модели путём выбора в качестве линейно независимых цветов трёх монохроматических: красного *R* ( $\lambda = 700$  нм, легко выделяемый красным светофильтром из спектра лампы накаливания); зелёного *G* ( $\lambda = 546,1$  нм – линия *e* в спектре ртутной лампы); синего *B* ( $\lambda = 435,8$  нм – линия *g* в спектре ртутной лампы).

Однако эта модель обладает рядом недостатков, основными из которых являются сложность расчётов и наличие отрицательных координат (рис. 4.5), что неизбежно в случае попытки воспроизведения всех цветов видимого спектра при использовании в качестве основных цветов компонентов *RGB*-модели.

Как уже отмечалось, с помощью аддитивного синтеза невозможно создание всех цветов видимого спектра. Например, для получения сине-зелёного цвета необходимо объединить потоки синего и зелёного цветов, но их сумма выглядит светлее, чем необходимый цвет. Если попытаться сделать его темнее с помощью красного, то получим ещё более светлый результирующий цвет, так как световые энергии при аддитивном синтезе складываются, т.е. мы можем добавлять красный только для получения более светлого образца. С точки зрения математики для получения нужного нам цвета необходимо вычесть красный цвет из суммы двух оставшихся базовых цветов, т.е. добавить отрицательный компонент красного цвета (см. рис. 4.5).

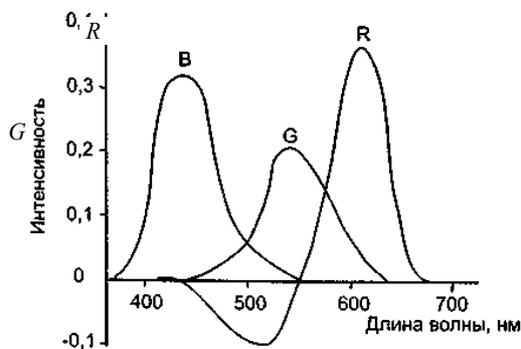


Рис. 4.5. Спектральные кривые *R*, *G*, *B* цветовой модели МКО *RGB*  
 $C = gG + bB - rR$ .

Однако физически это невозможно, так как отрицательной интенсивности света не существует.

**Цветовая модель *XYZ*.** Разработчики цветовой модели *XYZ* обратились к глазу человека. Несмотря на некоторые вариации нашего зрения, мы все видим почти одинаково. Значит, глаз и является универсальным прибором, поэтому хранить и воспроизводить картинку надо с той точностью, которую обеспечивает глаз человека. Чтобы измерить восприятие

цвета глазом человека, были проведены эксперименты с группой наблюдателей, на базе которых была измерена цветовая реакция "стандартного" человека на свет различного спектрального состава. Результатом стало получение трёх спектральных кривых, названных  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ . Эти кривые по внешней форме близки к спектральным кривым  $R$ ,  $G$  и  $B$  цветовой модели МКО  $RGB$  (рис. 4.5).  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  – это виртуальные первичные цвета, которых не существует в природе. Выбор цветовых составляющих  $XYZ$ -модели вытекал из задач, поставленных при её разработке, основной из которых являлось устранение недостатков, присущих  $RGB$  цветовой системе МКО. В настоящее время колориметрическая система  $XYZ$  принята в качестве рабочей системы. В ней обычно выражают результаты измерений, и на её базе построен ряд новых более совершенных цветовых систем, в частности  $Lab$ .

Работать с трёхмерными графиками достаточно сложно, поэтому для удобства использования данного цветового пространства был разработан его нормированный вариант –  $xyY$ , являющийся двухмерным аналогом полного цветового пространства  $XYZ$ . В нём введены нормированные значения цветовых координат:

$$x = X/(X + Y + Z), y = Y/(X + Y + Z), z = Z/(X + Y + Z),$$

где  $x + y + z = 1$ .

Поэтому величина  $z$  может быть легко определена на основе известных значений цветовых координат  $x$  и  $y$ :  $z = 1 - x - y$ .

В нормированном варианте  $xyY$  модели величина  $Y$  определяет не имеющую прямого отношения к цвету яркость, поскольку для полного описания цвета кроме цветности необходимо учитывать и её.

Эта модель достаточно наглядна и популярна, поскольку именно в координатах  $xy$  принято изображать цветовой охват глаза (локус), включающий все наблюдаемые цвета. Цветовые охваты (gamut) всех реальных устройств, используемых в технологии работы с цветом, находятся внутри этого локуса (рис. 4.6), что удобно, например, при сопоставлении цветовых охватов разных устройств, входящих в состав настольных издательских систем.

Международная комиссия по освещению решила ориентировать треугольник  $XYZ$  таким образом, что равные количества гипотетических основных цветов  $XYZ$  давали в сумме белый цвет. В центре треугольника находится *опорный белый цвет* – точка равных энергий с координатами  $x = y = 0,33$ .



**Рис. 4.6. Диаграмма цветности  $xy$  с нанесённым на неё цветовым охватом гипотетического  $RGB$ -устройства**

Несмотря на свои многочисленные плюсы, цветовая система  $xyY$  имеет ряд недостатков, главными из которых являются:

- сложность учёта яркости;
- неравномерность, проявляющаяся в том, что небольшое изменение длины световой волны (в единицах  $\Delta E$ ) в одной области цветового пространства может остаться практически незамеченным, в то время как изменение на такую же величину другого цвета будет просто катастрофическим.

Поэтому система  $xyY$  непригодна для оценки количественного выражения цветовых различий. Для проведения такого сравнения необходима система, в которой расстояние между точками для любых цветов было бы прямо пропорционально визуально наблюдаемому различию между ними.

К настоящему времени разработано множество равноконтрастных колориметрических систем, основанных на различных принципах; среди них самое широко практическое применение нашла система  $CIE Lab$ .

*Цветовое пространство  $Lab$ .* В 1976 году модель МКО ( $CIE$ ) была усовершенствована и её преемница получила название  $CIE Lab$  (рис. 4.7). В результате абстрактные параметры  $x$  и  $y$  были заменены на реальные параметры:

- $L$  – светлота (Lightness), представляющая собой аналог яркости;
- $a$  – цветность в диапазоне от зелёного до красного;
- $b$  – цветность в диапазоне от синего до жёлтого.

Используемые в  $Lab$ -модели цветовые координаты удивительно согласуются с биологическим механизмом восприятия цвета, открытым в 1981 году американскими учеными Давидом Хьюблом (David H. Hubel) и Торстеном Вайзелом (Torsten N. Wiesel), получившими Нобелевскую премию за исследование зрения. В числе прочего они показали, что глаз предоставляет в мозг вовсе не информацию о красном, зелёном и синем. Вместо этого мозг получает:

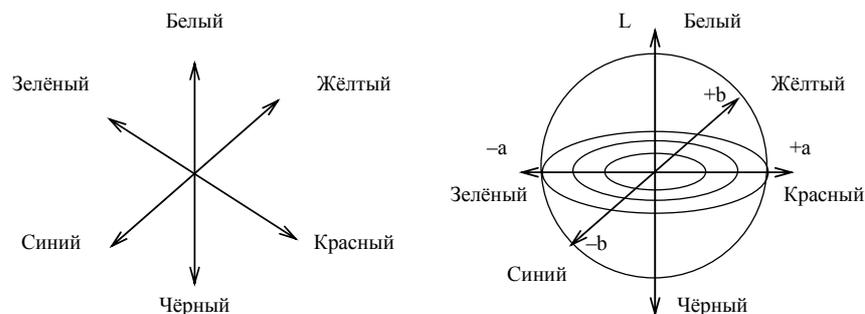


Рис. 4.7. Цветовое пространство *Lab*

- разницу между светлым и тёмным;
- разницу между зелёным и красным;
- разницу между синим и жёлтым, где жёлтый – сумма красного и зелёного.

Параметры *Lab*-модели получаются путём нелинейного пересчёта из параметров *XYZ*-модели.

На рис. 4.8 приведён горизонтальный срез *Lab*-модели, в котором все цвета имеют одинаковую яркость. Это означает, что каждый цвет может быть точно описан в цветовых координатах *a* и *b*. Диапазон изменения значений компонентов цветности *a* и *b* зависит от способа практической реализации *Lab*-модели. Так, в программе Photoshop они изменяются в диапазоне от  $-120$  до  $120$ , а в Corel PHOTO-PAINT – от  $-60$  до  $60$ .

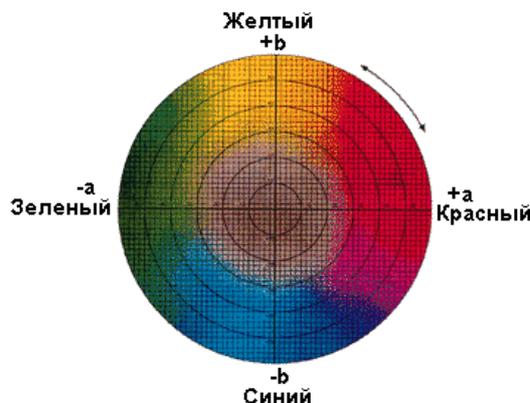


Рис. 4.8. Горизонтальный срез *Lab*-модели, в котором все цвета имеют одинаковую яркость

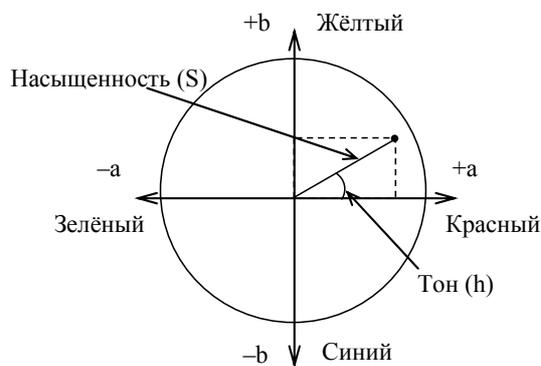
На базе параметров этой цветовой системы можно легко определить параметры других цветовых моделей. Например, параметры *HSB*-модели идентифицируются с помощью схемы, изображённой на рис. 4.9. Этой схеме соответствуют математические формулы для определения цветового тона (*H*) и насыщенности (*S*), определяемые углом между цветовым вектором с осью *a* и расстоянием между цветовым locusом и средней точкой:

$$H = \arctan(b/a), S = (a^2 + b^2)^{0.5}.$$

Третий параметр, яркость (*L*), представляется вертикальной координатой, которая в большинстве пакетов принимает значения от 0 (чёрный) до 100 (белый).

Как и модель *XYZ*, модель *Lab* призвана решить проблему универсального подхода к репродуцированию изображений, связанную с использованием различных типов мониторов и устройств печати. В силу своей независимости от аппаратных средств она позволяет воссоздавать одни и те же цвета независимо от особенностей устройства (монитора, принтера или компьютера), которое используется для создания или вывода изображений. Поскольку цветовая палитра этой модели перекрывает цветовые палитры *RGB*- и *CMYK*-моделей, то в ряде современных графических программ (как, например, Photoshop) эта модель используется в качестве внутренней модели для реализации взаимного конвертирования *RGB*- и *CMYK*-моделей.

**Системы управления цветом.** Конечно, нам хотелось бы сделать так, чтобы все устройства были совместимы при работе друг с другом. Для этого используются системы управления цветом – Color Management System.



**Рис. 4.9. Процедура преобразования параметров *Lab*-модели в параметры *HSB*-модели**

*Система управления цветом* (CMS, Color Management System) – это набор программных средств, предназначенных для согласования цветовых пространств различных компонентов настольной издательской системы (сканеров, мониторов, принтеров, фотонаборных автоматов и печатающих машин) с целью получения согласованного воспроизведения цвета на всех этапах подготовки изображения для печати.

Таким образом, назначение системы управления цветом состоит в компенсации разницы в способах воспроизведения цвета составными частями компьютерного аппаратного обеспечения. В идеале это означает, что цвета, которые вы видите на экране монитора, будут без искажения воспроизведены при печати. Это также подразумевает, что созданный вами цвет будет выглядеть одинаково везде, вне зависимости от используемых прикладных программ, мониторов или операционных систем.

Фактически задачей систем управления цветом (CMS) является не достижение полного соответствия цвета на экране монитора цвету, полученному при печати (что невозможно), а максимальное приближение этих цветов друг к другу и достижение их предсказуемости.

Основными составляющими системы управления цветом являются три главных компонента.

1. Аппаратнонезависимое цветовое пространство, используемое в качестве эталонного пространства.
2. Цветовые профили, которые определяют цветовые характеристики отдельных устройств системы воспроизведения цвета.
3. Модуль управления цветом (Color Management Module, CMM), который "расшифровывает" находящуюся в профиле устройства информацию и выполняет на её основе преобразование цветовой информации из одного цветового пространства в другое.

#### 4.3. АЛГОРИТМЫ СЖАТИЯ ФАЙЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Прежде всего нужно определиться, какие и какого качества изображения необходимо сжимать при работе с графикой при разработке автоматизированных систем:

1. Изображения с небольшим количеством цветов (4 – 16) и большими областями, заполненными одним цветом. Плавные переходы цветов отсутствуют. Примеры: деловая графика – гистограммы, диаграммы, графики и т.п.

2. Изображения с плавными переходами цветов, построенные на компьютере. Примеры: графика презентаций, эскизные модели в САПР.

3. Фотореалистичные изображения. Пример: отсканированные фотографии.

4. Фотореалистичные изображения с наложением деловой графики. Пример: реклама.

Приложения различного назначения предъявляют к алгоритмам компрессии следующие требования:

1. Высокая степень компрессии.
2. Высокое качество изображений. Выполнение этого требования напрямую противоречит выполнению предыдущего.
3. Высокая скорость компрессии. Это требование для некоторых алгоритмов с потерей информации является взаимоисключающим с первыми двумя.
4. Высокая скорость декомпрессии. Достаточно универсальное требование, актуальное для многих приложений.
5. Масштабирование изображений. Данное требование подразумевает лёгкость изменения размеров изображения до размеров окна активного приложения.
6. Возможность показать огрубленное изображение (низкого разрешения), используя только начало файла.
7. Устойчивость к ошибкам. Данное требование означает локальность нарушений в изображении при порче или потере фрагмента передаваемого файла.
8. Учёт специфики изображения.
9. Редактируемость. Под редактируемостью понимается минимальная степень ухудшения качества изображения при его повторном сохранении после редактирования.
10. Небольшая стоимость аппаратной реализации. Эффективность программной реализации.

### 4.3.1. Алгоритмы сжатия изображений без потерь

Методы сжатия без потерь разделяют на две категории:

1. Методы сжатия источников данных без памяти (т.е. не учитывающих последовательность символов).
2. Методы сжатия источников с памятью.

#### *RLE (Run Length Encoding)*

Данный алгоритм необычайно прост в реализации. Изображение в нём вытягивается в цепочку байт по строкам раstra. Само сжатие в RLE происходит за счёт того, что в исходном изображении встречаются цепочки одинаковых байт. Замена их на пары <счётчик повторений, значение> уменьшает избыточность данных.

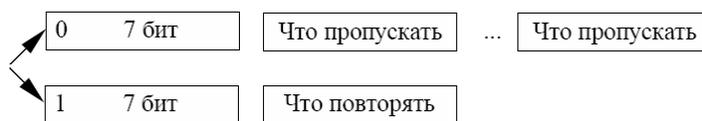
*RLE – первый вариант.* В данном алгоритме признаком счётчика (counter) служат единицы в двух верхних битах считанного файла. Соответственно оставшиеся 6 бит расходуются на счётчик, который может принимать значения от 1 до 64. Строку из 64 повторяющихся байтов мы превращаем в два байта, т.е. сожмём в 32 раза.



Алгоритм рассчитан на деловую графику – изображения с большими областями повторяющегося цвета. Ситуация, когда файл увеличивается, для этого простого алгоритма не так уж редка. Её можно легко получить, применяя групповое кодирование к обработанным цветным фотографиям. Для того, чтобы увеличить изображение в два раза, его надо применить к изображению, в котором значения всех пикселей больше двоичного 11000000 и подряд попарно не повторяются.

Данный алгоритм реализован в формате PCX.

*RLE – второй вариант.* Второй вариант этого алгоритма имеет большую максимальную степень сжатия и меньше увеличивает в размерах исходный файл.



Признаком повтора в данном алгоритме является единица в старшем разряде соответствующего байта.

Как можно подсчитать, в лучшем случае этот алгоритм сжимает файл в 64 раза (а не в 32 раза, как в предыдущем варианте), в худшем увеличивает на 1/128. Средние показатели степени компрессии данного алгоритма находятся на уровне показателей первого варианта. Похожие схемы компрессии использованы в качестве одного из алгоритмов, поддерживаемых форматом TIFF, а также в формате TGA.

К положительным сторонам алгоритма RLE можно отнести только то, что он не требует дополнительной памяти при архивации и разархивации, а также быстро работает.

#### Методы сжатия источников без памяти

##### 1. Сжатие по Хаффману.

Самый известный и распространённый метод. Сдаёт позиции более мощному арифметическому сжатию. Использует только частоту появления одинаковых байт в изображении. Сопоставляет символам входного потока, которые встречаются большее число раз, цепочку бит меньшей длины. И, напротив, встречающимся редко – цепочку большей длины. Для сбора статистики требует двух проходов по изображению.

Алгоритм Хаффмена практически не применяется в чистом виде и обычно используется как один из этапов компрессии в более сложных схемах. Характерной особенностью этого метода является "неувеличение" размера исходных данных в худшем случае (если не считать необходимости хранить таблицу перекодировки вместе с файлом).

##### 2. Арифметическое кодирование.

В 1970-е годы у алгоритма Хаффмена появился достойный конкурент – арифметическое кодирование. Этот метод основан на идее преобразования входного потока в одно число с плавающей запятой. Естественно, что чем длиннее сообщение, тем длиннее получающееся в результате кодирования число, т.е. на выходе арифметического компрессора получается число меньше 1 и больше либо равное 0. Из этого числа можно однозначно восстановить последовательность символов, из которых оно было построено.

Рассмотрим работу арифметического компрессора на примере сообщения "BILL GATES".

Поставим в соответствие каждому символу сообщения вероятность его появления в сообщении (табл. 4.1).

Затем присвоим каждому символу интервал вероятности в промежутке от 0 до 1. Длина интервала для символа равна вероятности его появления в сообщении. Положение интервала вероятности каждого символа не имеет значения. Важно только то, чтобы и кодер, и декодер располагали символы по одинаковым правилам. Интервалы вероятности для символов нашего сообщения приведены в табл. 4.2.

#### 4.1. Вероятности появления символов в сообщении

Символ	Вероятность
Пробел	1/10
A	1/10
B	1/10
E	1/10
G	1/10
I	1/10
L	2/10
S	1/10
T	1/10

#### 4.2. Интервалы вероятностей для символов сообщения

Символ	Вероятность	Интервал
Пробел	1/10	[0,00; 0,10]
A	1/10	[0,10; 0,20]
B	1/10	[0,20; 0,30]
E	1/10	[0,30; 0,40]
G	1/10	[0,40; 0,50]
I	1/10	[0,50; 0,60]
L	2/10	[0,60; 0,80]
S	1/10	[0,80; 0,90]
T	1/10	[0,90; 1,00]

В общем виде алгоритм арифметического кодирования может быть описан следующим образом:

НижняяГраница = 0.0; ВерхняяГраница= 1.0;

**Пока** ((ОчереднойСимвол = ДайОчереднойСимвол()) != КОНЕЦ)

Интервал = ВерхняяГраница – НижняяГраница;

ВерхняяГраница = НижняяГраница + Интервал \* ВерхняяГраницаИнтервалаДля(ОчереднойСимвол);

НижняяГраница = НижняяГраница + Интервал \* НижняяГраницаИнтервалаДля(ОчереднойСимвол);

**Конец Пока**

Выдать (НижняяГраница)

Для нашего примера этот алгоритм будет работать следующим образом (табл. 4.3).

#### 4.3. Шаги алгоритма арифметического кодирования при обработке сообщения

Очередной символ	Нижняя граница	Верхняя граница
	0,0	1,0
B	0,2	0,3
I	0,25	0,26
L	0,256	0,258
L	0,2572	0,2576
ПРОБЕЛ	0,25720	0,25724
G	0,257216	0,257220
A	0,2572164	0,2572168
T	0,25721676	0,2572168
E	0,257216772	0,257216776
S	0,2572167752	0,2572167756

Таким образом, согласно нашей схеме, число 0.2572167752 однозначно кодирует сообщение "BILL GATES". Алгоритм арифметического декодирования может быть описан следующим образом:

Число = ПрочитатьЧисло();

**Всегда**

Символ =Найти\_Символ\_В\_интервал\_Которого\_Попадает\_Число(Число)

Выдать (Символ) Интервал = ВерхняяГраницаИнтервалаДля (Символ) – НижняяГраницаИнтервалаДля (Символ);

Число = Число – НижняяГраницаИнтервалаДля(Символ);

Число = Число / Интервал;

**Конец Всегда**

Характеристики арифметического сжатия: позволяет сжимать несколько сильнее, чем алгоритм Хаффмана, однако работает медленнее за счёт необходимости выполнения арифметических операций с рациональными дробями.

### Методы сжатия источников с памятью

Входную последовательность символов можно рассматривать как последовательность строк, содержащих произвольное количество символов. Идея словарных методов состоит в замене строк символов на такие коды, что их можно трактовать как индексы строк некоторого словаря.

Можно сказать, что мы пытаемся преобразовать исходную последовательность путём её представления в таком алфавите, что его "буквы" являются фразами словаря, состоящими, в общем случае, из произвольного количества символов входной последовательности.

Словарь – это набор таких фраз, которые, как мы полагаем, будут встречаться в обрабатываемой последовательности. Индексы фраз должны быть построены таким образом, чтобы в среднем их представление занимало меньше места, чем требуют замещаемые строки. За счёт этого и происходит сжатие.

#### 1. Классические алгоритмы Зива-Лемпела.

Алгоритмы словарного сжатия Зива-Лемпела появились во второй половине 1970-х годов. Это были так называемые алгоритмы LZ77 и LZ78, разработанные совместно Зивом (Ziv) и Лемпелом (Lempel). В дальнейшем первоначальные схемы подвергались множественным изменениям, в результате чего мы сегодня имеем десятки достаточно самостоятельных алгоритмов и бесчётное количество модификаций.

LZ77 и LZ78 являются универсальными алгоритмами сжатия, в которых словарь формируется на основании уже обработанной части входного потока, т.е. адаптивно. Принципиальным отличием является лишь способ формирования фраз. В модификациях первоначальных алгоритмов это свойство сохраняется. Поэтому словарные алгоритмы Зива-Лемпела разделяют на два семейства: алгоритмы типа LZ77 и алгоритмы типа LZ78. Иногда также говорят о словарных методах LZ1 и LZ2.

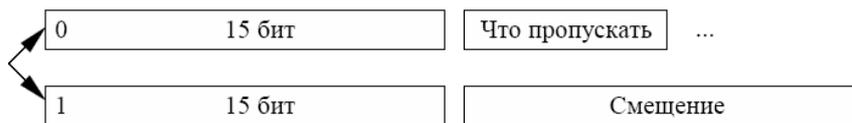
Если некий исследователь существенно изменял какой-то алгоритм, относимый к семейству LZ, то в названии полученной модификации к строчке "LZ" обычно дописывалась первая буква его фамилии, например: алгоритм LZB, автор Белл (Bell).

Этот словарный алгоритм сжатия является самым старым среди методов LZ. Описание было опубликовано в 1977 году, но сам алгоритм разработан не позднее 1975 года.

LZ77 является "родоначальником" целого семейства словарных схем – так называемых алгоритмов со скользящим словарем или скользящим окном. В LZ77 в качестве словаря используется блок уже закодированной последовательности. Как правило, по мере выполнения обработки положение этого блока относительно начала последовательности постоянно меняется, словарь "скользит" по входному потоку данных;

LZSS. Модификация LZ77 была предложена в 1982 году Стопером (Storer) и Жимански (Szymanski) Идея алгоритма заключается в добавление к каждому указателю и символу однобитового префикса, позволяющего различать эти объекты.

В потоке сжатых данных идёт либо пара <счётчик, смещение относительно текущей позиции>, либо просто <счётчик> "пропускаемых" байт и сами значения байтов (как во втором варианте алгоритма RLE). При разархивации для пары <счётчик, смещение> копируются <счётчик> байт из выходного массива, полученного в результате разархивации, на <смещение> байт раньше, а <счётчик> (т.е. число равное счётчику) значений "пропускаемых" байт просто копируются в выходной массив из входного потока.



LZW. Название алгоритм получил по первым буквам фамилий его разработчиков – Lempel, Ziv и Welch. Модификация LZ78. За счёт предварительного занесения в словарь всех символов алфавита входной последовательности результат работы LZW состоит только из последовательности индексов фраз словаря. Из-за устранения необходимости регулярной передачи одного символа в явном виде LZW обеспечивает лучшее сжатие, чем LZ78.

0	'0'	Таблица словаря для LZW состоит из 4096 строк. Коды 256 и 257 являются служебными, 258...4095 содержат непосредственно сжимаемую информацию.
...	...	
255	'255'	Класс изображений LZW ориентирован на 8-битные изображения, построенные на компьютере. Сжимает за счёт одинаковых подцепочек в потоке.
256	ClearTable	
257	EndOfInformation	Почти симметричен, при условии оптимальной реализации операции поиска строки в таблице.
258		
259		LZW реализован в форматах GIF и TIFF.
...		
4095		

#### 4.3.2. Алгоритмы сжатия изображений с потерями

На сегодняшний день существует три основных методики сжатия изображений с потерями:

1. Фрактальное преобразование.
2. Дискретно-косинусоидальное преобразование (DCT).

### 3. Дискретное WaveLet преобразование (DWT).

#### *Фрактальное сжатие изображений*

Всё началось в 1904 году, когда малоизвестный немецкий математик фон Кох, изучая работы Георга Кантора и Карла Вейерштрассе, натолкнулся на описания некоторых "странных" кривых с необычным "поведением".

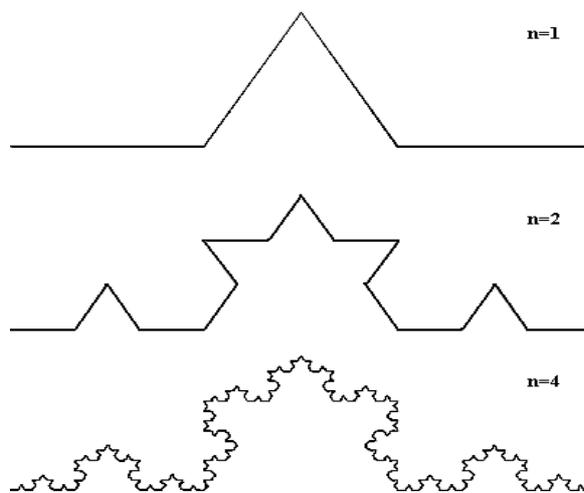
Странность заключалась в том, что любой, даже ничтожно малый отрезок кривой в точности повторяет по свойствам саму кривую.

Взяв лист бумаги, Кох принялся выстраивать "собственную" линию, нисколько не догадываясь, что отныне она навсегда войдет в математические анналы под именем "снежинки" Коха (рис. 4.10).

Рождение фрактальной геометрии обычно связывают с выходом в 1977 году книги Бенуа Мандельброта "Фрактальная геометрия природы".

Именно он ввёл термин фрактал (от английского "fractional" – дробный). Одна из основных идей книги заключалась в том, что средствами традиционной геометрии (т.е. используя линии и поверхности), чрезвычайно сложно представить природные объекты. Фрактальная геометрия задаёт их очень просто.

В 1981 году Джон Хатчинсон опубликовал статью "Фракталы и самоподобие", в которой была представлена теория построения фракталов с помощью системы итерируемых функций (IFS, Iterated Function System). Четыре года спустя появилась статья Майкла Барнсли и Стефана Демко, в которой приводилась уже достаточно стройная теория IFS. В 1987 году



**Рис. 4.10. Фрактальные кривые ("снежинка" Коха)**

Барнсли основал Iterated Systems, компанию, основной деятельностью которой является создание новых алгоритмов и ПО с использованием фракталов. Всего через год, в 1988 году, он выпустил фундаментальный труд "Фракталы повсюду". Помимо описания IFS, в ней был получен результат, известный сейчас как Collage Theorem, который лежит в основе математического обоснования идеи фрактальной компрессии.

Если построение изображений с помощью фрактальной математики можно назвать прямой задачей, то построение по изображению IFS – это обратная задача. Довольно долго она считалась неразрешимой, однако Барнсли, используя Collage Theorem, построил соответствующий алгоритм. В 1990 и 1991 годах эта идея была защищена патентами. Если коэффициенты занимают меньше места, чем исходное изображение, то алгоритм является алгоритмом архивации.

Первая статья об успехах Барнсли в области компрессии появилась в журнале BYTE в январе 1988 года. В ней не описывалось решение обратной задачи, но приводилось несколько изображений, сжатых с коэффициентом 1:10000, что было совершенно ошеломительно. Но практически сразу было отмечено, что несмотря на броские названия ("Тёмный лес", "Побережье Монтере", "Поле подсолнухов"), изображения в действительности имели искусственную природу. Это вызвало массу скептических замечаний, подогреваемых ещё и заявлением Барнсли о том, что "среднее изображение требует для сжатия порядка 100 часов работы на мощной двухпроцессорной рабочей станции, причём с участием человека".

Отношение к новому методу изменилось в 1992 году, когда Арнауд Джеквин, один из сотрудников Барнсли, при защите диссертации описал практический алгоритм и опубликовал его. Этот алгоритм был крайне медленным и не претендовал на компрессию в 10000 раз (полноцветное 24-разрядное изображение с его помощью могло быть сжато без существенных потерь с коэффициентом 1:8 – 1:50). Но его несомненным достоинством было то, что вмешательство человека удалось полностью исключить. Сегодня все известные программы фрактальной компрессии базируются на алгоритме Джеквина. В 1993 году вышел первый коммерческий продукт компании Iterated Systems. Ему было посвящено достаточно много публикаций, но о коммерческом успехе речь не шла, продукт был достаточно "сырой".

Фрактальная архивация основана на том, что с помощью коэффициентов системы итерируемых функций изображение представляется в более компактной форме. IFS – это набор трёхмерных преобразований подобия, переводящих одно изображение в другое. Преобразованию подвергаются точки в трёхмерном пространстве (x-координата, y-координата, яркость). Наиболее наглядно этот процесс продемонстрировал сам Барнсли в своей книге "Фрактальное сжатие изображения". В ней введено понятие Фотокопировальной Машины, состоящей из экрана, на котором изображена исходная картинка, и системы линз, проецирующих изображение на другой экран. Каждая линза проецирует часть исходного изображения. Расставляя линзы и меняя их характеристики, можно управлять получаемым изображением. На линзы накла-

дывается требование: они должны уменьшать в размерах проектируемую часть изображения. Кроме того, они могут менять яркость фрагмента и проецируют не круги, а области с произвольной границей.

### Правила машины Барнсли

1. Линзы могут проецировать часть изображения произвольной формы в любое другое место нового изображения.
2. Области, в которые проецируются изображения, не пересекаются.
3. Линза может менять яркость и уменьшать контрастность.
4. Линза может зеркально отражать и поворачивать свой фрагмент изображения.
5. Линза должна масштабировать (причём только уменьшая) свой фрагмент изображения.

Расставляя линзы и меняя их характеристики, мы можем управлять получаемым изображением. Одна итерация работы машины заключается в том, что по исходному изображению с помощью проектирования строится новое, после чего новое берётся в качестве исходного. Утверждается, что в процессе итераций мы получим изображение, которое перестанет изменяться. Оно будет зависеть только от расположения и характеристик линз и не будет зависеть от исходной картинки. Это изображение называется "неподвижной точкой" или аттрактором данной IFS. Соответствующая теория (Collage Theorem) гарантирует наличие ровно одной неподвижной точки для каждой IFS.

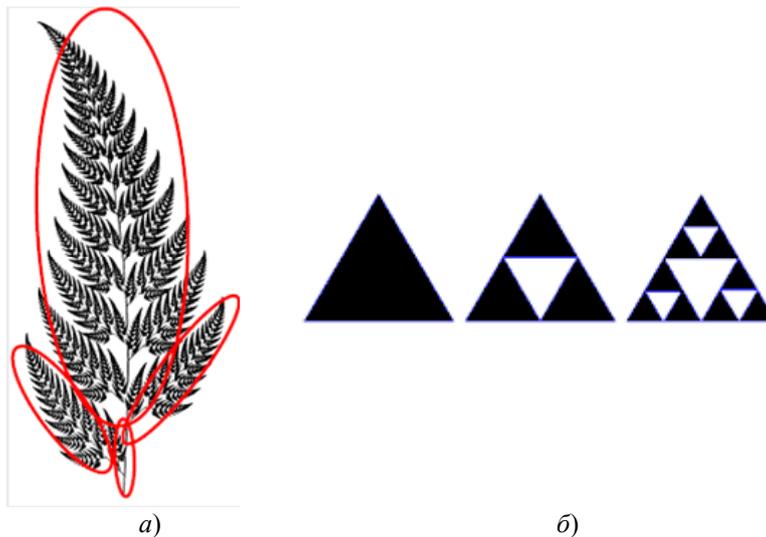
Наиболее известны два изображения, полученных с помощью IFS: "треугольник Серпинского" и "папоротник Барнсли".

Папоротник Барнсли (рис. 4.11, а) задаётся четырьмя преобразованиями подобия. Изображение имеет четыре области, каждая из которых подобна изображению, и их объединение покрывает всё изображение (Стебель, Листья).

"Треугольник Серпинского" (рис. 4.11, б) задаётся тремя преобразованиями подобия.

Декомпрессия алгоритма фрактального сжатия чрезвычайно проста. Необходимо провести несколько итераций трёхмерных преобразований подобия, коэффициенты которых были получены на этапе компрессии.

В качестве начального может быть взято абсолютно любое изображение (например, абсолютно чёрное), поскольку соответствующий математический аппарат гарантирует нам сходимость последовательности изображений, получаемых в ходе итераций IFS, к неподвижному изображению (близкому к исходному). Обычно для этого достаточно 16 итераций.



**Рис. 4.11. Фрактальные IFS-кривые:**

*а* – папоротник Барнсли; *б* – треугольник Серпинского

Для фрактального алгоритма компрессии, как и для других алгоритмов сжатия с потерями, очень важны механизмы, с помощью которых можно будет регулировать степень сжатия и степень потерь.

1. Ограничение количества преобразований, заведомо обеспечивает степень сжатия не ниже фиксированной величины.
2. Можно потребовать, чтобы в ситуации, когда разница между обрабатываемым фрагментом и наилучшим его приближением будет выше определённого порогового значения, этот фрагмент дробился обязательно (для него обязательно заводится несколько "линз").
3. Можно запретить дробить фрагменты размером меньше, допустим, четырёх точек.

### Дискретно-косинусоидальное преобразование (DCT)

Идея гармонического анализа: представить сигнал в виде суперпозиции (суммы) гармонических колебаний (рис. 4.12).

Графическое изображение можно рассматривать как совокупность пространственных волн, причём оси *x* и *y* совпадают с шириной и высотой картинки, а по оси *z* откладывается значение цвета соответствующего пиксела изображения (рис. 4.13).

Частоте в некотором смысле соответствует понятие "уровень детализации". Высокие частоты отвечают за передачу мелких деталей, низкие – крупных.

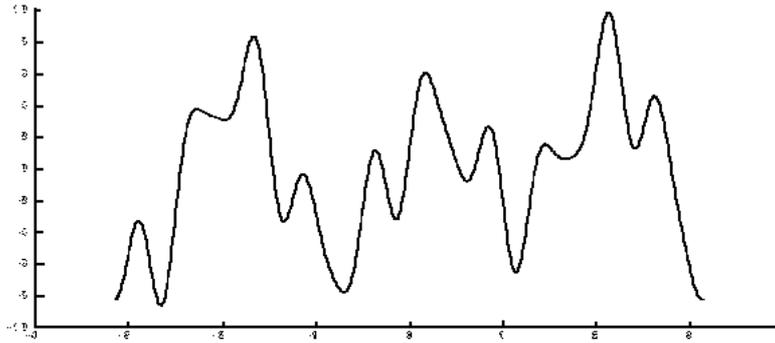
Низкочастотная фильтрация – обращение в 0 коэффициентов (амплитуд) при высоких частотах (исключение мелких деталей) – эффект размытия изображения.

Высокочастотная фильтрация – обращение в 0 коэффициентов при низких частотах (исключение "основы" изображения) – эффект выделения перепадов.

Гармонический анализ не имеет пространственной локализации, поскольку не имеют пространственной локализации гармонические функции, поэтому для повышения эффективности методов сжатия данных необходимо дробить данные на фрагменты и применять преобразования Фурье к каждому фрагменту по отдельности.

JPEG практически является стандартом де-факто для полноцветных изображений. Оперирует областями 8×8, на которых яркость и цвет меняются сравнительно плавно. Вследствие этого, при разложении матрицы такой области в двойной ряд по косинусам значимыми оказываются только первые коэффициенты. Таким образом, сжатие в JPEG осуществляется за счёт плавности изменения цветов в изображении.

Алгоритм разработан в 1991 году группой экспертов в области фотографии специально для сжатия 24-битных изображений. JPEG – Joint Photographic Expert Group – подразделение в рамках ISO – Международной организации по стандартизации.



$$f(x) = \sin x - 2 \cos 2x + 5 \sin(3x + 1) + 3 \sin(10x + 0,5) + \cos(15x - 1)$$

Рис. 4.12. Суперпозиция гармонических колебаний

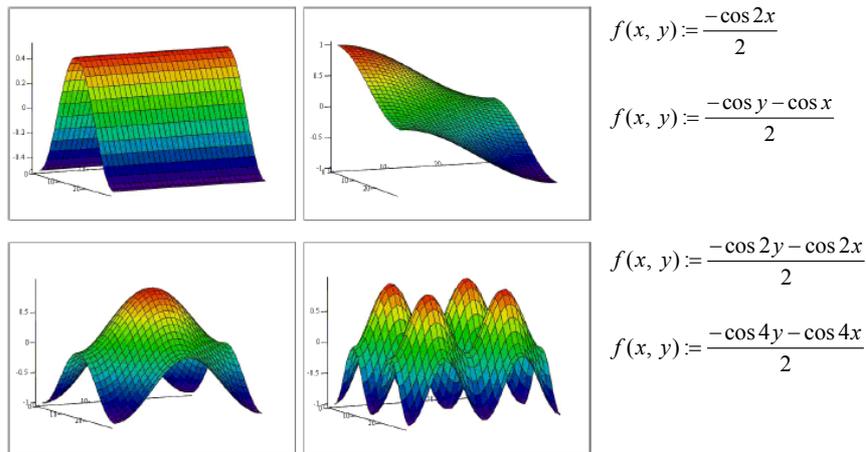


Рис. 4.13. Применение преобразования Фурье к графическому изображению

Общая схема работы алгоритма JPEG приведена на рис. 4.14. Рассмотрим последовательно все этапы его работы.

1. Переводим изображение из RGB YUV (Y – luminance, luminosity, luma – яркость, V – хроматический красный, U – хроматический синий).

Разбиваем изображение на матрицы 8×8. Если установлена слабая степень сжатия, то компоненты YUV кодируются 8 битами как есть. Если сильная, то каналы цветности усредняются по блокам 2×2 пикселей (YUV 4:2:0), т.е. из матрицы 16×16 получается матрица 8×8. При этом мы теряем 3/4 полезной информации о цветовых составляющих изображения и получаем сразу сжатие в два раза.

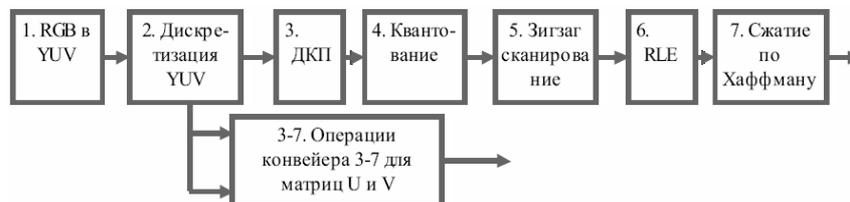
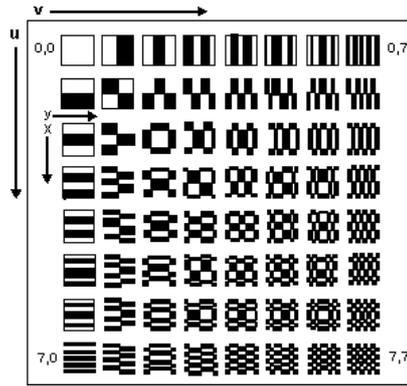


Рис. 4.14. Схема работы алгоритма JPEG

2. Применяем ДКП к каждой рабочей матрице. При этом мы получаем матрицу, в которой коэффициенты в левом верхнем углу соответствуют низкочастотной составляющей изображения, а в правом нижнем – высокочастотной.



4. Производим квантование. В принципе, это просто целочисленное деление рабочей матрицы на матрицу квантования поэлементно. Для каждой компоненты ( $Y$ ,  $U$  и  $V$ ), в общем случае, задаётся своя матрица квантования  $q[u, v]$  (далее МК). На этом шаге осуществляется управление степенью сжатия, и происходят самые большие потери. Задавая МК с большими коэффициентами, мы получим больше нулей и, следовательно, большую степень сжатия. В стандарт JPEG включены рекомендованные МК, построенные опытным путём. Матрицы для большей или меньшей степени сжатия получают путём умножения исходной матрицы на некоторое число  $\gamma$ .

С квантованием связаны и специфические эффекты алгоритма. При больших значениях коэффициента  $\gamma$  потери в низких частотах могут быть настолько велики, что изображение распадётся на квадраты  $8 \times 8$ . Потери в высоких частотах могут проявиться в так называемом "эффекте Гибса", когда вокруг контуров с резким переходом цвета образуется своеобразный "нимб".

5. Переводим матрицу  $8 \times 8$  в 64-элементный вектор при помощи "зигзаг"-сканирования. Таким образом, в начале вектора мы получаем коэффициенты матрицы, соответствующие низким частотам, а в конце – высоким.

$a_{0,0}$	$a_{0,1}$	$a_{0,2}$	$a_{0,3}$	$a_{0,4}$	$a_{0,5}$	$a_{0,6}$	$a_{0,7}$
$a_{1,0}$	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$	$a_{1,4}$	$a_{1,5}$	$a_{1,6}$	$a_{1,7}$
$a_{2,0}$	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	$a_{3,0}$			
$a_{3,0}$	$a_{3,1}$	$a_{3,0}$	$a_{3,0}$				
$a_{4,0}$	$a_{4,1}$	$a_{4,2}$					
$a_{5,0}$	$a_{5,1}$						
$a_{6,0}$	$a_{6,1}$						
$a_{7,0}$	$a_{7,1}$						

6. Свёртываем вектор с помощью алгоритма группового кодирования (аналог RLE). При этом получаем пары типа <пропустить, число>, где "пропустить" является счётчиком пропускаемых нулей, а "число" – значение, которое необходимо поставить в следующую ячейку.

7. Свёртываем получившиеся пары кодированием по Хаффману с фиксированной таблицей.

Характеристики алгоритма JPEG.

- Степень сжатия:  $2 \dots 200$  (задаётся пользователем).
- Класс изображений: Полноцветные 24 битные изображения или изображения в градациях серого без резких переходов цветов (фотографии).
- Симметричность: 1.
- Характерные особенности: в некоторых случаях, алгоритм создает "ореол" вокруг резких горизонтальных и вертикальных границ в изображении (эффект Гибса). Кроме того, при высокой степени сжатия изображение распадается на блоки  $8 \times 8$  пикселей.

### WaveLet анализ

Предположим, что мы хотим изучить какой-то сигнал. Идея многомасштабного анализа (относящиеся сюда английские слова – multiscale и multiresolution) состоит в том, чтобы взглянуть на сигнал сначала под микроскопом, потом – через лупу, потом отойти на пару шагов, потом посмотреть совсем издалека.

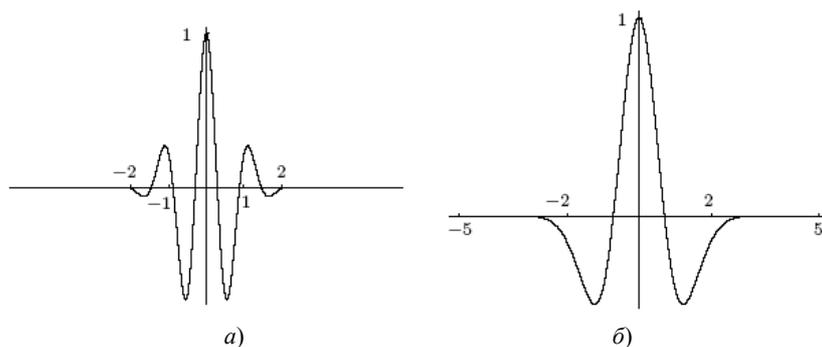
Эта идея реализуется разными способами, но все они сводятся к последовательному огрублению той информации, которая дана изначально. Иногда действуют наоборот: сначала сильно огрубляют сигнал, смотрят на те особенности, которые ещё сохранились, и начинают уточнять их положение.

Слово "вейвлет" является калькой с английского "wavelet", что означает в переводе "маленькая волна", или "волны, идущие друг за другом". И тот и другой перевод подходит к определению вейвлетов. Вейвлеты – это семейство функций, которые локальны во времени и по частоте, и в которых все функции получаются из одной посредством её сдвигов и растяжений по оси времени (рис. 4.15).

Вейвлет-анализ возник при обработке записей сейсмодатчиков в нефтеразведке и с самого начала был ориентирован как раз на локализацию разномасштабных деталей. Выросшую из этих идей технику теперь обычно называют непрерывным вейвлет-анализом. Её основные приложения: локализация и классификация особых точек сигнала, вычисление его различных фрактальных характеристик, частотно-временной анализ нестационарных сигналов. Например, у таких сигналов, как музыка и речь, спектр радикально меняется во времени, а характер этих изменений – очень важная информация.

Другая ветвь вейвлет-анализа – ортогональный вейвлет-анализ. Именно ортогональному вейвлет-анализу обязана своей популярностью вся тематика вейвлетов, с ним связана "вейвлет-революция" конца восьмидесятых годов. Главные применения – сжатие данных и подавление шумов.

В 1983 году Бэрт (P. Burt) и Адельсон (E. Adelson) написали небольшую статью о сжатии изображений при помощи пирамидального представления. В ней содержались основные идеи того, что позднее, после работ И. Мейера (Y. Meyer) и С. Малла (S. Mallat), получило название многомасштабный анализ (multiresolution analysis).



**Рис. 4.15. Примеры вейвлетов:**

*a* – вейвлет Морле; *б* – Мексиканская шляпа

Первая идея – многомасштабное представление строится применением одного и того же сглаживающего фильтра на последовательно удваивающихся масштабах.

Вторая идея – сигнал компактно представляется в виде разностей между своими версиями разной подробности.

Главная идея состоит в том, что "большое" пространство "всех возможных сигналов" надо исчерпать растянутыми и сжатыми копиями некоего "эталонного" пространства, порождённого ровно одним фиксированным сигналом и его сдвигами.

Принцип работы алгоритмов арифметического и статистического сжатия основывается на повышении энтропии сигнала, т.е. исключении избыточной информации. Другими словами, чем больше повторяющихся значений содержит сигнал, тем выше степень его сжатия. Поскольку для гладких сигналов подавляющее большинство коэффициентов детализации близки к нулю, а количество коэффициентов аппроксимации экспоненциально уменьшается с повышением глубины разложения, то сжатие вейвлет-разложения сигнала потенциально более эффективно, чем сжатие исходного сигнала. Более того, использование методики обнуления коэффициентов, подобной описанной выше, позволяет реализовать сжатие с потерями (т.е. реконструированный сигнал отличается от исходного в допустимых пределах) с ещё большей эффективностью. В целом, методика сжатия сигналов с использованием вейвлет-преобразования подобна методике очистке сигнала от шума.

Вейвлет Хаара (рис. 4.16, *a*) является ортогональным. Система его сдвигов и двоичных растяжений и сжатий – это широко известный базис Хаара, построенный ещё в начале XX века. Для частотно-временного анализа этот базис плохо подходит, так как частотная локализация у него слабая. А вот, например, в обработке изображений и компьютерной графике он бывает очень полезен.

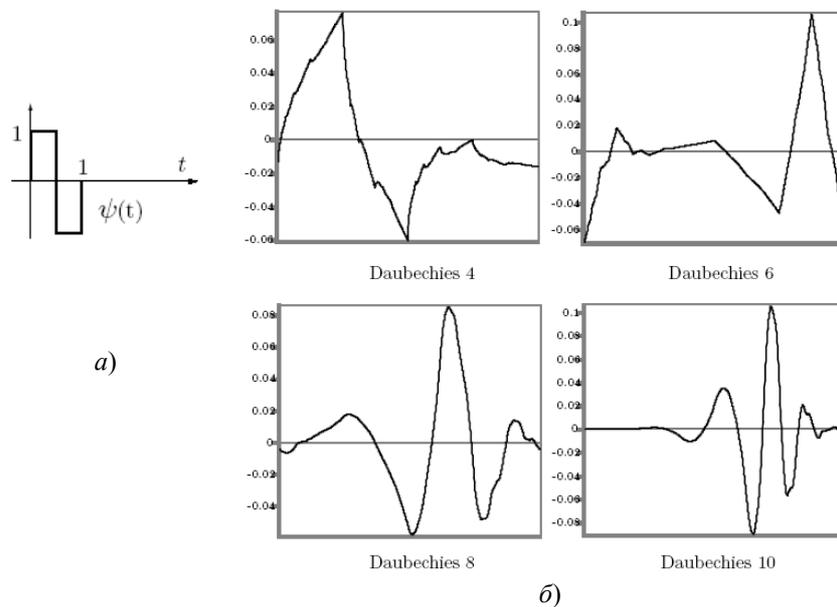
К моменту создания теории многомасштабного анализа было несколько примеров ортогональных вейвлетов, более гладких, чем вейвлет Хаара. Но у этих примеров был один практический недостаток – набор коэффициентов был бесконечным. Ингрид Добеши (Ingrid Daubechies) нашла целую бесконечную серию ортогональных вейвлетов, порождённых двумя, четырьмя, шестью и т.д. коэффициентами (рис. 4.16, *б*).

Смысл DWT – представить данные в виде грубого приближения и детализирующей информации. Упрощённая идея алгоритма DWT (вейвлет Хаара) заключается в том, что мы сохраняем в файл разницу – число между средними значениями соседних блоков в изображении, которая обычно принимает значения, близкие к 0.

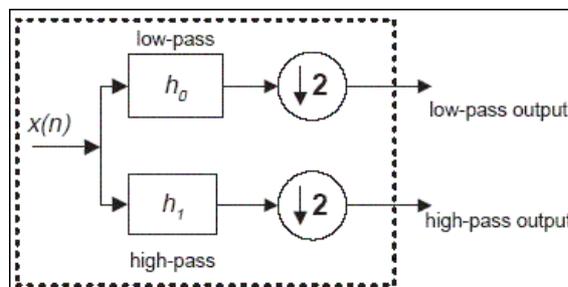
DWT обрабатывает каждую строку и столбец исходного изображения с помощью частотного фильтра (рис. 4.17).

В связи с тем, что каждый проход с использованием частотного фильтра на выходе увеличивает объём информации в два раза, после обработки размер изображения уменьшается в два раза. После одного этапа DWT обрабатываемый фрагмент делится на четыре сегмента:

1. LL – низкие частоты по строкам и столбцам.
2. HL – высокие частоты по строкам и низкие по столбцам.
3. LH – низкие частоты по строкам и высокие по столбцам.
4. HH – высокие частоты по строкам и столбцам.



**Рис. 4.16. Базовые вейвлеты:**  
*a* – вейвлет Хаара; *б* – вейвлеты Добеши



**Рис. 4.17. Схема работы частотного фильтра**

В результате преобразования мы получаем множество прямоугольных диапазонов вейвлет-коэффициентов, которые принято называть частотными диапазонами, так как они содержат информацию о том, как ведёт себя исходный двухмерный сигнал (изображение) при разном разрешении (т.е. набор коэффициентов при разной частоте).

Алгоритм *JPEG 2000* разработан той же группой экспертов в области фотографии, что и *JPEG*. Формирование *JPEG* как международного стандарта было закончено в 1992 году. В 1997 году стало ясно, что необходим новый, более гибкий и мощный стандарт, который и был доработан к зиме 2000 года. Основные отличия алгоритма в *JPEG 2000* от алгоритма в *JPEG* заключаются в следующем:

1. Лучшее качество изображения при сильной степени сжатия. Или, что то же самое, большая степень сжатия при том же качестве для высоких степеней сжатия. Фактически это означает заметное уменьшение размеров графики "Web-качества", используемой большинством сайтов.

2. Поддержка кодирования отдельных областей с лучшим качеством. Известно, что отдельные области изображения критичны для восприятия человеком (например, глаза на фотографии), в то время как качеством других можно пожертвовать (например, задний план). При "ручной" оптимизации увеличение степени сжатия проводится до тех пор, пока не будет потеряно качество в какой-то важной части изображения. Сейчас появляется возможность задать качество в критичных областях, сжав остальные области сильнее, т.е. мы получаем ещё большую окончательную степень сжатия при субъективно равном качестве изображения.

3. Основной алгоритм сжатия заменён на *wavelet*. Помимо указанного повышения степени сжатия это позволило избавиться от 8-пиксельной блочности, возникающей при повышении степени сжатия. Кроме того, плавное проявление изображения теперь изначально заложено в стандарт *Progressive JPEG*, активно применяемый в Интернет, появился много позднее *JPEG*.

4. Для повышения степени сжатия в алгоритме используется арифметическое сжатие. Изначально в стандарте *JPEG* также было заложено арифметическое сжатие, однако позднее оно было заменено менее эффективным сжатием по Хаффману, поскольку арифметическое сжатие было защищено патентами. Сейчас срок действия основного патента истёк, и появилась возможность улучшить алгоритм.

5. Поддержка сжатия без потерь. Помимо привычного сжатия с потерями *JPEG 2000* обеспечивает и сжатие без потерь. Таким образом, становится возможным использование *JPEG* для сжатия медицинских изображений, в полиграфии, при сохранении текста под распознавание *OCR*-системами и т.д.

6. Поддержка сжатия однобитных (2-цветных) изображений. Для сохранения однобитных изображений (рисунки тушью, отсканированный текст и т.п.) ранее повсеместно рекомендовался формат *GIF*, поскольку сжатие с использовани-

ем ДКП весьма неэффективно к изображениям с резкими переходами цветов. В JPEG при сжатии 1-битная картинка приводилась к 8-битной, т.е. увеличивалась в 8 раз, после чего делалась попытка сжимать, нередко менее чем в 8 раз. Сейчас можно рекомендовать JPEG 2000 как универсальный алгоритм.

7. На уровне формата поддерживается прозрачность. Плавно накладывать фон при создании WWW страниц теперь можно будет не только в GIF, но и в JPEG 2000. Кроме того, поддерживается не только 1 бит прозрачности (пиксел прозрачен/непрозрачен), а отдельный канал, что позволит задавать плавный переход от непрозрачного изображения к прозрачному фону.

Кроме того, на уровне формата поддерживаются включение в изображение информации о копирайте, поддержка устойчивости к битовым ошибкам при передаче и широкополосности, можно запрашивать для декомпрессии или обработки внешние средства (plug-ins), можно включать в изображение его описание, информацию для поиска и т.д.

Схема работы алгоритма JPEG 2000 представлена на рис. 4.18.

Рассмотрим алгоритм по шагам.

*Шаг 1.* В JPEG 2000 предусмотрен сдвиг яркости (DC level shift) каждой компоненты (RGB) изображения перед преобразованием в YUV. Это делается для выравнивания динамического диапазона (приближения к 0 гистограммы частот), что приводит к увеличению степени сжатия.

*Шаг 2.* Переводим изображение из цветового пространства RGB, с компонентами, отвечающими за красную (Red), зелёную (Green) и синюю (Blue) составляющие цвета точки, в цветовое пространство YUV. Этот шаг аналогичен JPEG (см. матрицы преобразования в описании JPEG), за тем исключением, что кроме преобразования с потерями предусмотрено также и преобразование без потерь. Его матрица выглядит так:

$$\begin{vmatrix} Y \\ U \\ V \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \left[ \frac{R + 2G + B}{4} \right] \\ R - G \\ B - G \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} R \\ G \\ B \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U + G \\ Y - \left[ \frac{U + V}{4} \right] \\ V + G \end{vmatrix}$$



**Рис. 4.18. Схема работы алгоритма JPEG 2000**

*Шаг 3.* Дискретное wavelet преобразование (DWT).

*Шаг 4.* Так же, как и в алгоритме JPEG, после DWT применяется квантование. Коэффициенты квадрантов делятся на заранее заданное число. При увеличении этого числа снижается динамический диапазон коэффициентов, они становятся ближе к 0, и мы получаем большую степень сжатия. Варьируя эти числа для разных уровней преобразования, для разных цветовых компонент и для разных квадрантов, мы очень гибко управляем степенью потерь в изображении. Рассчитанные в компрессоре оптимальные коэффициенты квантования передаются в декомпрессор для однозначной распаковки.

*Шаг 5.* Для сжатия получающихся массивов данных в JPEG 2000 используется вариант арифметического сжатия, называемый MQ-кодер, прообраз которого (QM-кодер) рассматривался ещё в стандарте JPEG, но реально не использовался из-за патентных ограничений.

Характеристики алгоритма JPEG 2000.

- Коэффициенты компрессии: 2...200 (задаётся пользователем), возможно сжатие без потерь.
- Класс изображений: полноцветные 24-битные изображения, изображения в градациях серого, 1-битные изображения (JPEG 2000 наиболее универсален).

• Симметричность: 1.

• Характерные особенности: можно задавать качество участков изображений.

Напоследок приведём параметры различных алгоритмов сжатия изображений, рассмотренных выше (табл. 4.4).

#### 4.4. Основные характеристики алгоритмов сжатия изображений

Алгоритм	Коэффициент сжатия	Симметричность	Назначение	Потери	Размерность
RLE	1/32 1/2 2/1	1	3, 4-битовые	нет	1D
LZW	1/1000 1/4 7/5	1,2...3	1 – 8-битовые	нет	1D
Хаффмана	1/8 2/3 1/1	1...1,5	5 – 8-битовые	нет	1D
Wavelet	2...200	1,5	24-битовые	да	2D
JPEG	2...20	≈1	24-битовые	да	2D
JPEG 2000	2...200	1,5	24-битовые	да	2D
Фрактальный	2...2000	1000...10000	24-битовые	да	2D

## 4.4. ФОРМАТЫ ГРАФИЧЕСКИХ ФАЙЛОВ

Форматом файла можно назвать совокупность методов, правил представления и размещения данных. Соответственно, *формат графических файлов* – это набор методов и правил, предназначенных для представления, хранения, обработки и распространения изображений, представленных в цифровой форме.

### 4.4.1. Классификация форматов

Форматы графических файлов можно классифицировать по разным признакам. Например, эти форматы можно разделить на такие два класса:

- те, что кодируют только одно изображение;
- те, что могут кодировать последовательность нескольких изображений, которые демонстрируются поочередно с заданной частотой, что воспринимается как фильм (анимационные или видеоформаты).

Самые примитивные анимационные форматы хранят полные изображения, которые последовательно, обычно в цикле, отображаются. В усовершенствованных форматах сохраняется только одно изображение и много карт цветов для него. При последовательной загрузке карт цветов изображение изменяется и кажется, что объекты на изображении двигаются. Сначала для уменьшения объёма видеофайлов каждое изображение сжималось с помощью базовых алгоритмов сжатия неподвижных изображений. Более совершенные анимационные форматы сохраняют только разность между двумя соседними изображениями (так называемыми "*фреймами*" или *кадрами*) и модифицируют только те пикселы, которые действительно изменяются при отображении очередного фрейма. Для мультипликационноподобной анимации требуется частота 10 – 15 фреймов в секунду, а для видео-анимаций, чтобы создать иллюзию плавного движения, – 20 и более фреймов в секунду.

К анимационным (видео-) форматам, в частности, принадлежат GIF (в общем, этот формат не предназначен для создания мультипликации), ANI, DAT, FLC, FLI, FLM, Intel Indeo, MJPEG, MVE, VIC, SMR, TDDD, TTDDD.

Как отдельную группу следует выделить форматы для сохранения трёхмерных данных – 3D-форматы. Они сохраняют описания формы, цветов и т.п. трёхмерных моделей придуманных или реальных объектов. Обычно трёхмерные модели создаются из многоугольников и гладких поверхностей, для которых описаны такие характеристики, как цвета, текстуры, отражение и т.п. Модели помещены в сцены с источниками света, камерами и т.п. Программы моделирования и анимации, такие, например, как Lightwave и 3D Studio Max, используют эти данные для создания растровых изображений или фреймов, последовательность которых можно использовать для создания анимаций.

Как дальнейшее развитие анимационных форматов можно рассматривать *форматы мультимедиа*. Они разработаны для того, чтобы сохранять в одном файле данные разных типов (графику, звук, видеoinформацию и т.п.). Форматы IFF, RIFF (и его специальный случай – формат AVI), QuickTime (QTIF, в операционной системе Windows – формат MOV), MPEG (а именно MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, MPEG-21) и другие принадлежат к форматам мультимедиа.

Форматы графических файлов можно также разделить на такие классы:

- те, что сохраняют изображение в растровом виде (BMP, DIB, RLE, CAM, CLP, CPT, CUR, DCM, DCX, IFF, IMG, JPEG, FIF, KDC, LBM, LWF, MrSID, KDC, PBM, PIC, PGM, PNG, PSD, RAS, RAW, RBS, PCD, PCX, PIC, PIX, Scitex CT (.set), SUN, STING, TGA, TIFF, XPM и др.);
- те, что сохраняют изображение в векторном виде (AutoCAD DXF, Microsoft SYLK, Shockwave Flash и др.);
- те, что могут соединять растровые и векторные представления (AI, CDR, EPS, FH7, PICT и др.);
- метафайлы (CGM, EMF, PDF, WMF, а также DXF-, Excel-, HPGL-, PLT-графика, файлы Adobe Table Editor, OLE-объекты, рисунки Lotus PIC и прочие), которые кроме информации о растровых и(или) векторных изображениях, содержат также информацию о командах визуализации.

### 4.4.2. Растровые форматы

Растровые форматы служат для описания растровой графической информации. Каждый отдельный пиксел изображения представляет самого себя, вне зависимости от его расположения и роли, которую он играет в рисунке. Наиболее распространённые из них: TIFF, BMP, PCX, GIF, JPEG, PNG. Графические компоненты всемирной сети Internet в подавляющем большинстве представлены последними тремя форматами.

Растровые форматы один от другого отличаются следующими свойствами: цветовыми моделями, методами сжатия, максимальным размером обеспечиваемого изображения, поддержкой слоёв разных типов, наличием Alpha-канала или канала плашечных цветов, возможностью осуществлять анимацию, наличием чересстрочного развёртывания и т.п. Некоторые характеристики популярных растровых форматов приведены в табл. 4.5.

#### Ф о р м а т B M P

Формат BMP (от слова *bitmap*) широко используется в ОС Windows для растровой графики.

Общая структура BMP-файла такая:

BITMAPFILEHEADER	14 байт
BITMAPINFOHEADER	40 байт
Палитра	Размер зависит от количества цветов
Битовый массив растрового изображения	Количество байтов определяется размерами раstra и количеством битов на пиксел

#### 4.5. Основные характеристики растровых форматов

Формат	Фирма-разработчик	Максимальное количество цветов (бит на пиксел)	Максимальный размер изображения	Метод сжатия	Запись анимации
BMP	Microsoft	16777216 (24 бита)	65535×65535	RLE	–
GIF	CompuServe	256 (8 бит)	65535×65535	LZW	+
JPEG	Joint Photographic Experts Group	16777216 (24 бита)	65535×65535	JPEG	–
PCX	Z-Soft	16777216 (24 бита)	65535×65535	RLE	–
PNG	W3C	281474976710656 (48 бит)	2147483647×2147483647	Deflate	–
TGA	Truevision	4294967296 (32 бита)	65535×65535	RLE	–
TIFF	Aldus	16777216 (24 бита)	Всего 4294967295	LZW, RLE, JPEG и др.	+

Заголовок файла BMP – BITMAPFILEHEADER содержит общее описание файла и состоит из полей, описание которых приведено в табл. 4.6.

Далее в файле присутствует ещё один заголовок – BITMAPINFOHEADER, в котором хранится описание размеров раstra и цветового формата пикселей (табл. 4.7).

#### 4.6. Описание полей заголовка BITMAPFILEHEADER

Название	Длина в байтах	Назначение
bfType	2	Содержит символы кода формата "BM"
bfSize	4	Общий размер файла в байтах
bfReserved1	2	Зарезервировано, пока что равняется 0
bfReserved2	2	Зарезервировано, пока что равняется 0
bfOffBits	4	Адрес битового массива в данном файле

#### 4.7. Описание полей заголовка BITMAPINFOHEADER

Название	Длина в байтах	Назначение
biSize	4	Размер заголовка равняется 40
biWidth	4	Ширина раstra в пикселах
biHeight	4	Высота раstra в пикселах
biPlanes	2	Должно быть равно 1
biBitCount	2	Бит на пиксел. Может быть 1, 4, 8, 16, 24 или 32
biCompression	4	Компрессия: 0 – без компрессии; 1 – компрессия RLE8 (8 бит на пиксел); 2 – компрессия RLE4 (4 бита на пиксел); 3 – без компрессии, для 16, 32 бита на пиксел
biSizeImage	4	Размер в байтах битового массива раstra
biXPelsPerMeter	4	Разрешающая способность по X в пикселах на метр
biYPelsPerMeter	4	Разрешающая способность по Y в пикселах на метр
biClrUsed	4	Если равняется 0, то используется макси-

		мальное число цветов
biClrImportant	4	Равняется 0, если biClrUsed = 0

Далее в файле BMP записывается палитра и растр в виде битового (а точнее, байтового массива). В битовом массиве последовательно записываются байты строк растра. Количество байтов в строке должно быть кратным четырём, поэтому, если количество пикселей по горизонтали не соответствует такому условию, то по правую сторону в каждую строку дописывается определённое количество битов (выравнивание строк на границу двойного слова).

### Ф о р м а т B i t m a p 3 2

Это сравнительно новый формат, созданный на базе формата BMP, от которого отличается тем, что данные об одной точке сохраняются не в 24, а в 32 битах. Дополнительные 8 битов используются для Alpha-канала – характеристики прозрачности, которая хранится внутри файла с текстурой. Формат пока что не получил широкого распространения, но имеет хорошие перспективы, особенно после появления Windows XP, где Alpha-канал был узаконен на уровне ядра системы.

### Ф о р м а т P C X

Формат PCX предложен компанией Z-Soft в программе Paintbrush. Может быть использован на платформе Macintosh, хотя был написан для PC. Этот формат применялся многими компаниями, которые специализируются в области программного обеспечения. Он удобен для хранения изображений типа деловой графики (чертежи, диаграммы, схемы и т.п.). Поддерживаются цветовые форматы 1, 4, 8 и 24 бита на пиксел. К недостаткам PCX следует отнести неприспособленность к записи фотографий, а также наличие многочисленных версий.

В формате PCX использован один из вариантов алгоритма сжатия RLE (рассмотрен в п. 4.3).

Общая структура PCX-файла:

Заголовок	128 байт
Кодированный массив растра	Размер зависит от изображения
Разделитель	1 байт
256-цветная палитра	728 байт

### Ф о р м а т T G A

Для поддержки своих видеокарт фирмой Truevision был разработан формат *Targa Image File (TGA)*. Несколько компаний время от времени перекупали права на этот формат одна у другой. С файлами TGA работали адаптеры Targa, True Vista и др. Формат позволяет хранить изображения с глубиной цвета до 32 бит, и при этом файл TGA быстро читается и распаковывается. Формат имеет специальную опцию "Bottom-up orientation", т.е. загрузка файла не "сверху вниз", а "снизу вверх".

В TGA используется алгоритм сжатия RLE, отличающийся от варианта алгоритма, использованного в формате PCX. Второй вариант алгоритма RLE имеет большую максимальную степень компрессии для некоторых растров и не так сильно увеличивает в размерах исходный файл в самом плохом случае. Упрощённо данный вариант алгоритма RLE можно представить следующим образом: если в строке растра встречается последовательность одинаковых байтов, то она кодируется парой <счётчик, значение>, при этом признаком счётчика является единица в старшем бите; если в строке растра встречаются неповторяемые значения байтов, то они представляются литералами, которые объединяют один или несколько неповторяемых байтов. Старший бит счётчика литеральной группы должен быть нулем.

Как можно подсчитать, в лучшем случае этот алгоритм сжимает файл в 64 раза (а не в 32 раза, как в предыдущем варианте кодирования в PCX-формате). Возможно также увеличение размеров, однако, оно значительно меньше, чем в случае PCX.

### Ф о р м а т G I F

Формат GIF (*Graphics Interchange Format*) – популярный растровый формат. В 1987 году GIF 87a был предложен фирмой CompuServe как независимое от аппаратного обеспечения средство обмена растровыми изображениями в сети Интернет. Формат поддерживает изображения, содержащие до 256 цветов.

В 1989 году опубликована пересмотренная спецификация формата, получившая название GIF 89a. Возможности формата были значительно расширены, в частности, появилась возможность хранить текстовые и графические данные в одном файле и работать с областями прозрачности, что позволяет создавать изображения непрямоугольной формы.

Предусмотрена возможность записи изображений с чередованием строк (*interlacing*, чересстрочная развёртка). При чересстрочной визуализации изображений сначала выводится каждая восьмая строка, потом – каждая четвёртая и т.д. Такая схема позволяет оценить изображения по его части. Пользователь может прервать приём изображения из сети, не ожидая вывода всех строк изображения. К недостаткам чересстрочной записи следует отнести некоторое увеличение размера файла.

В формате GIF можно назначить один или более цветов прозрачными, они станут невидимыми в браузерах Интернета и в некоторых других программах.

Ещё одно полезное свойство этого формата – это поддержка анимированных изображений. Файл GIF может содержать не одно, а несколько растровых изображений, которые браузеры могут загружать друг за другом с указанной в файле частотой. Так обеспечивается иллюзия движения (GIF-анимация). Формат GIF хорошо подходит для создания небольших и простых анимационных фрагментов. GIF-файлы не требуют значительного объёма памяти для их хранения. Чтобы создать анимацию, необходимо сначала создать каждый отдельный фрейм, например, с помощью пакетов Adobe или Corel. Потом необходимо компилировать ряд отдельных фреймов в единый GIF-файл.

В формате GIF для сжатия растров используется алгоритм LZW, который был рассмотрен в п.4.3.

## Формат PNG

Формат PNG – это новый графический стандарт, созданный для замены формата GIF. Он разработан специальным комитетом, возглавляемым Томасом Бутеллем. Аббревиатура PNG (произносится как "пинг") – означает Portable Network Graphics. Как видно из названия, этот формат предназначен специально для передачи изображений по сетям.

Этот формат не защищён патентами, не требует лицензирования и финансовых отчислений и поэтому может получить широкое распространение. Именно из-за патентования и жёсткого лицензирования алгоритма LZW и возник PNG.

Общие черты GIF и PNG:

- использование методов компрессии без потерь;
- поддержка индексированных цветов до 8 битов на пиксел;
- маска прозрачности (Alpha-канал);
- обеспечение *прогрессивного показа* (по мере загрузки файла несколько стадий показа – от грубой версии к полноценному изображению);
- кроме изображения, файл может содержать также и текст.

Отличия PNG от GIF:

- большая максимальная глубина цвета – до 48 битов на пиксел для изображений типа TrueColor, а для градаций серого – до 16 битов на пиксел;
- полный Alpha-канал до 16 битов на пиксел;
- запись в файл гамма-коррекции;
- эффективное распознавание повреждений данных;
- запись в файл PNG базового формата только одного изображения – нет поддержки анимации как в GIF (в следующих версиях PNG планируется это изменить).

Для поддержки прогрессивного показа используется двумерный interlacing (не только строк, но и столбцов). Чересстрочный режим вывода выполняется по методу Adam7 (его изобретатель – Адам М. Костелло, цифра семь указывает на число проходов, за которые изображение полностью выводится на экран). При такой схеме изображение появляется на экране сначала в виде квадратов 8×8, потом – прямоугольников 8×4, потом – 4×4, после этого – прямоугольников 4×2 и т.д. В сравнении с чересстрочной схемой формата GIF метод Adam7 значительно ускоряет предварительную визуализацию растровых изображений.

В отличие от GIF (версии 87a), где прозрачность или есть, или нет, PNG поддерживает также полупрозрачные пикселы за счёт Alpha-канала со многими (максимум 2<sup>16</sup>) градациями.

В стандарте PNG поддерживается аппаратная независимость графики. В файл формата PNG записывается информация о гамма-коррекции. Кроме этого, в файл можно записать значения цветов R, G, B и белого в точных колориметрических координатах МКО XYZ. Это позволяет профессиональной графической системе наиболее точно отобразить цветное изображение. Также PNG может сохранять соотношение ширины и высоты изображения – это может быть использовано при выводе изображения на графическом устройстве, у которого разная разрешающая способность по горизонтали и вертикали.

Вместе с графической информацией в формате PNG можно хранить метаданные или информацию об индексировании изображения. Эти данные используются поисковыми машинами, что значительно ускоряет и облегчает поиск файлов PNG в Интернете.

В формате PNG использован эффективный алгоритм сжатия данных "без потерь" Deflate (это разновидность словарного метода LZ77). Для повышения эффективности сжатия предусмотрены фильтры, которыми обрабатываются строки изображения.

## Формат JBIG2

При сканировании документации обычно получают бинарное растровое изображение (bi-level images), представляющее собой одну прямоугольную битовую плоскость, все биты которой принимают одно из двух значений. Это изображение имеет, в зависимости от оптического разрешения, большой объём (от 300 Кбит до 100 Мбит и выше). Поэтому для представления бинарных (обычно чёрно-белых) изображений используются специальные форматы. Это, например, формат G3 (стандарт Group III) и его усовершенствованный вариант G4 (стандарт на сжатие информации в факсимильных системах с 1984 года CCITT/ITU GROUP IV), формат jbig (Joint Bi-level Image Experts Group), с 1993 года являющийся международным стандартом (ISO/IEC 1154, CCITT/ITU T.82).

JBIG2 – относительно новый формат сжатия бинарных изображений, который обеспечивает в два-шесть раз лучшее сжатие, чем G3, G4 и JBIG. В сентябре 2000 года JBIG2 был официально одобрен как международный стандарт ITU (International Telecommunications Union) и ISO.

Стандарт JBIG2 предназначен для кодирования как текстовых, так и полутоновых данных и предоставляет гибкую стратегию кодирования без потерь и с потерями, базирующуюся на методах сопоставления с образцом.

Как предполагается в заключительном проекте комитета по JBIG2, типичная страница содержит главным образом текст и возможно немного общей графики. JBIG2-кодер сегментирует изображение на различные области и использует различные механизмы кодирования для текста и для полутоновых изображений.

В JBIG2 кодирование текста основано на методах сопоставления с образцом. На типичной странице текста есть много повторяющихся символов. Вместо того чтобы кодировать все пикселы при каждом возникновении очередного символа, кодируется точечный рисунок (битмап) одного представителя образца символа, этот код помещается в словарь. Такой битмап называют "символом" в текстовых областях. Если сравнивать попиксельно, то видно, что два образца одного и того же символа часто не соответствуют друг другу. Можно измерить несоответствие между одним образцом символа и другим образцом этого же или другого символа, например, используя как меру несоответствия расстояние Хемминга.

В методе сопоставления с образцом и замене (*pattern matching and substitution – PM&S*) выбран критерий, чтобы решать проблему несоответствия двух символов. Чтобы запрограммировать новый символ, ищется входное слово словаря, которое имеет наименьшее несоответствие с символом, который будет закодирован. Если найденное наименьшее несоответствие меньше, чем предварительно установленный порог, можно закодировать символ, используя указатель на это

входное слово словаря. Если самое близкое входное слово даёт большее несоответствие, чем предусмотрено критерием, то кодируется новый битмап символа и добавляется в словарь. В любом случае, должна кодироваться также позиция символа на странице, обычно относительно предварительно закодированного символа.

Использование PM&S позволяет достичь высокого коэффициента сжатия с потерями для бинарных изображений, которые имеют много повторяющихся символов. Однако есть неизбежные ошибки замены. Если эти ошибки неприемлемы, JBIG2 позволяет использовать разностный кодер. Различие между версией с потерями и оригинальным изображением может быть закодировано методом JBIG без потерь, что приводит к конечному изображению без потерь, имеющему лучшее сжатие, чем сжатие непосредственно методом JBIG.

Для сжатия полутоновых изображений в JBIG2 были предложены два метода.

Первый – подобен методу арифметического кодирования на основе контекста, используемого в JBIG1, причём новый стандарт позволяет контекстному шаблону иметь больше пикселей шаблона, а именно – 16, четыре из которых могут быть адаптивными. Использование больших шаблонов обычно приводит к существенному увеличению коэффициента сжатия.

Второй метод основан на обратном преобразовании полутонового изображения в градации серого и передаче значений градаций серого. В соответствии с этим методом бинарное изображение разбивается на блоки пикселей по  $m_b$  строк и  $n_b$  столбцов (при необходимости изображение может быть дополнено нулями снизу и справа).

#### Ф о р м а т J P E G и J P E G 2 0 0 0

Развитие технических средств машинной графики привело к быстрому росту размеров и качества компьютерных изображений, а, следовательно, и росту размеров графических файлов. Профессиональные дизайнеры, например, оперируют изображениями размером в сотни мегабайт, для фотографий нужна глубина цвета не меньше, чем 24 бита на пиксел. В связи с этим при *Международном Комитете стандартизации (ISO)* была создана исследовательская группа *Joint Photographic Experts Group (JPEG)* для разработки эффективного способа записи больших объёмов графической информации. Результатом работы этой исследовательской группы явился файловый формат с высокой степенью сжатия данных на основе алгоритма JPEG.

Официально имя "JPEG" (произносится как "джейпег") указывает на алгоритм, метод сжатия, а не на формат файла. Для унификации файловых форматов, использующих метод JPEG, были распространены рекомендации, получившие название JFIF (JPEG File Interchange Format). Метод сжатия JPEG используется в других форматах файлов, например, TIFF, Kodak Photo CD, QuickTime и др.

Новый стандарт JPEG 2000, в разработке которого приняли участие Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization), Международный союз телекоммуникаций (International Telecommunications Union), компании Agfa, Canon, Fujifilm, Hewlett-Packard, Kodak, LuraTech, Motorola, Ricoh, Sony и другие, он создавался как новая система кодирования изображений с разными характеристиками (естественными, научными, медицинскими, текстовыми, моделированными и т.п.). Основное отличие JPEG 2000 от предшествующей версии этого формата – использование рекурсивного wavelet-преобразования вместо дискретного косинусного преобразования.

Подробно алгоритмы сжатия, используемые в этих форматах, рассмотрены в п. 3.3.2.

#### Ф о р м а т T I F F

Формат TIFF (*Tagged Image File Format*) предложен фирмой Aldus Corporation. Он был разработан для хранения сканированных изображений с высокой разрешающей способностью. Высокая разрешающая способность обуславливает большой объём файлов, который усложняет их обработку. Основная идея формата TIFF – это поддержка быстрого доступа к отдельным фрагментам изображения. Это позволяет редактировать изображения отдельными частями.

Положительной чертой формата TIFF является его гибкость. Он может хранить несколько изображений. Могут использоваться разнообразные цветовые модели. Поддерживается много методов сжатия – LZW, Deflate, JPEG и прочие.

Итак, этот формат можно считать стандартом обмена графическими данными. Однако насыщенность возможностей обуславливает проблемы для разработчиков программ. Случается, что файл, записанный одной программой, не читается другими. Для решения этой проблемы в стандарте TIFF версии 6.0 определено подмножество Baseline TIFF, которую должны поддерживать все программы.

#### Ф о р м а т D j V u

DjVu (произносится "дежавю") – это комплект технологий сжатия, формата файла и программной платформы, который разрабатывался с 1996 года в фирме AT&T Labs специально с целью размещения в Интернете сканированных документов (книг, журналов, документации, изображений с высокой разрешающей способностью и т.п.). В марте 2000 года формат был продан фирме LizardTech Inc.

Это относительно новый формат, который использует волновой (*wavelet*) алгоритм сжатия. Конечный результат сжатия сопоставим по своим качествам с оригинальной сканированной версией. При многократном его увеличении не появляется растровая мозаика.

DjVu хранит изображение, используя три слоя.

*Первый слой* содержит маску (битовый массив), указывающую, какая точка изображения соответствует переднему плану (текст, рисунки, подписи) и какая – фону (текстура бумаги, фотографии). Этот слой кодируется алгоритмом без потерь.

*Второй слой* содержит информацию о фоне, при этом используется кодирование, основанное на волновом сжатии.

*Третий слой* содержит информацию о переднем плане, сжатую по тому же алгоритму, что и предыдущий слой.

Одна из основных технологий DjVu – способность отделить фон изображения и передний план. Традиционные методы сжатия изображения пригодны для фотографий, но они значительно ухудшают резкие переходы цвета между контрастными сопредельными областями. Отделяя текст от фона, DjVu может сохранить текст с высокой разрешающей способностью (т.е. сохранить острые грани и максимизировать чёткость) и в то же время сжать фон с более низкой разрешающей способностью (используя методику на основе волнового алгоритма).

Фактически, DjVu – четыре методики сжатия, которые объединены в одном формате.

1. *DjVuPhoto* (иначе IW44) – методика сжатия с потерями на основе волнового алгоритма для изображений с непрерывным спектром тонов (т.е. фотографий и рисунков).

2. *DjVuBitonal* (иначе JB2) – методика сжатия с потерями (без потерь) для чёрно-белых или палитровых изображений, которая особенно эффективна применительно к изображениям с повторяющимися фрагментами.

3. *DjVuDocument* – методика для сканированных цветных документов. В соответствии с нею изображение разделяется на передний план, который содержит текст и линии рисунка, и фон, который содержит рисунки и фоновые текстуры. Передний план кодируется с помощью DjVuBitonal, фон – DjVuPhoto.

4. *BZZ* – универсальная методика сжатия данных, подобная bzip2. Bzz используется, чтобы сжать метаданные в документах DjVu.

#### 4.4.3. Векторные форматы

Эти графические форматы служат для хранения изображений в виде совокупности геометрических примитивов: линий, дуг, прямоугольников, эллипсов и т.п. Графические форматы этого типа либо состоят из списка примитивов, либо содержат в себе набор инструкций, команд для построения примитивов. Не исключена и комбинация этих способов. В векторном виде хранят информацию системы автоматизированного проектирования, например, AutoCAD, программы, создающие иллюстративную графику, такие, как CorelDraw. Векторные форматы могут содержать также либо введенные в файл растровые объекты, либо ссылки на растровые файлы (технология OPI).

Векторные изображения встречаются в Интернете не очень часто, хотя сейчас довольно быстро распространяется формат *Shockwave Flash* фирмы Macromedia. Этот формат специально разрабатывался для использования в Интернете, он способен хранить гипертекстовые ссылки, графику, анимацию и т.п.

При передаче данных из одного векторного формата в другой возникают осложнения, связанные с использованием программами разных описаний графических примитивов, разных алгоритмов при построении векторных объектов и описаний растров. Фирмой Aldus разработана технология OPI (Open Prepress Interface), которая позволяет импортировать вместо оригинальных файлов их образы, создавая в программе лишь копию низкой разрешающей способности (эскиз) и ссылку на оригинал. В процессе печати на принтере эскизы заменяются оригинальными файлами. Применение OPI даёт возможность экономить ресурсы компьютера (прежде всего память) и повышать его производительность.

#### 4.4.4. Метафайлы и другие форматы

При совместной работе нескольких программ часто возникает потребность в обмене разными графическими данными как растровыми, так и векторными. Для поддержки обмена такими данными используются специальные графические форматы – метафайлы. Метафайлы могут хранить информацию про растровые и(или) векторные изображения и про команды визуализации. Как примеры метафайлов можно привести файлы CGM, EPS, PICT, WMF/EMF, графику Excel, файлы Adobe Table Editor, HPGL- и PLT-графику, OLE-объекты, изображения Lotus PIC. В числе примеров использования метафайлов в Интернете в первую очередь следует назвать формат PDF, предложенный и активно продвигаемый фирмой Adobe.

Следует отметить, что разделять метафайлы и векторные форматы трудно. Главным признаком метафайла является графическое описание объектов посредством *команд* для определённого графического устройства (принтера, драйвера GDI и т.п.).

Разработчики форматов относят к метафайлам следующие: WMF/EMF, PICT, PostScript, EPS, PSD, CDR.

#### 4.4.5. 3D-форматы

##### Формат VRML

VRML (язык моделирования виртуальной реальности – *Virtual Reality Modeling Language*) – графический формат, который базируется на подмножестве Open Inventor фирмы Silicon Graphics. Он предназначен для описания трёхмерных изображений и обмена ими в сети World Wide Web.

Язык VRML, разработанный Gavin Bell, Rick Carey, Mark Pesce и Tony Parisi, стал первым языком трёхмерного моделирования для Web. VRML-файл имеет расширение WRL. Он использует формат ASC II и представляет собой обычный текстовый файл со списком объектов, которые названы узлами (nodes). К узлам VRML 2.0, в частности, относятся 3D-геометрия, свойства света, который создается с помощью VRML, файлов изображений формата JPEG, видеофайлов формата MPEG, звуковых файлов формата MIDI, текстовых документов формата HTML.

##### Формат 3DS

Это один из наиболее распространенных форматов для 3D-графики. Файлы формата 3DS были стандартными файлами программы 3D Studio, ещё когда она работала под DOS. В 3D Studio MAX появился другой формат сохранения – MAX, но для разработки игр этот новый формат оказался неудобным. Вместе с тем формат 3DS оказался пригодным для этой цели. Кроме самих трёхмерных моделей (которые представляют собой каркасные сетки), он хранит их положение в мировых координатах, координаты текстур, цвета вершин, ключевые кадры анимации, данные о свойствах материалов и атмосферные эффекты. С помощью этого формата можно хранить модели и целые карты (только скриптовые команды приходится хранить в отдельности). Формат 3DS применим для любых видов игровых моделей. Он широко используется для обмена данными между системами трёхмерного моделирования.

#### Контрольные вопросы

1. Чем определяется качество изображения?
2. На чём основано фрактальное сжатие изображений?
3. Перечислите основные недостатки фрактального сжатия изображений?

4. Какие типы графических форматов вы знаете?
5. Какие типы сжатия используются в форматах изображений?
6. Перечислите известные вам алгоритмы сжатия. Поясните принцип их действия.
7. Для хранения растрового изображения размером  $64 \times 64$  пикселя отвели 512 байт памяти. Каково максимально возможное число цветов в палитре изображения?

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мультимедиа является бурно развивающейся областью деятельности, фактически приближающей компьютерные технологии к человеку. Несмотря на большое количество известных технологий работы со звуком, изображениями и видео ежемесячно разрабатываются новые.

В данном учебном пособии рассмотрены основные понятия мультимедиа и сферы применения мультимедиа продуктов, стандартные носители мультимедиа информации, основополагающие знания о текстовой информации в ММП, а также основные понятия теории цвета, колориметрические модели и системы и различные алгоритмы сжатия информации, применяющиеся в графических форматах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, М.Н. Компьютерная графика : учебник / М.Н. Петров, В.П. Молочков – СПб. : Питер, 2003. – 736 с.
2. Баканов, В.М. Программирование мультимедиа-систем : учебное пособие / В.М. Баканов. – М. : МГАПИ, 2004. – 121 с.
3. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 384 с.
4. Карлащук, В.И. Презентация на компакт-диске / В.И. Карлащук – М. : СОЛОН-Р, 2002. – 160 с.
5. Кречман, Д.Л. Мультимедиа своими руками / Д.Л. Кречман, А.И. Пушков – СПб. : ВHV–Санкт-Петербург, 1999. – 528 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. Основные понятия, сфера применения .....	5
1.1. Сферы применения мультимедиа продуктов .....	7
1.2. Процесс создания мультимедиа продукта. Этапы разработки мультимедиа продукции .....	9
2. СТАНДАРТНЫЕ НОСИТЕЛИ МУЛЬТИМЕДИА ИНФОРМАЦИИ .....	12
3. Текстовая информация в мультимедиа продуктах .....	15
3.1. Основные термины и определения .....	15
3.2. Основные требования, предъявляемые к работе над шрифтами .....	17
3.3. Особенности компьютерного оформления текстов .....	21
4. Компьютерная графика .....	23
4.1. Основные понятия теории цвета .....	23
4.2. Цветовые модели .....	26
4.2.1. Аддитивные цветовые модели .....	28
4.2.2. Субтрактивные цветовые модели .....	31
4.2.3. Перцепционные цветовые модели .....	34
4.2.4. Колориметрические системы .....	38
4.3. Алгоритмы сжатия файлов изображений .....	44
4.3.1. Алгоритмы сжатия изображений без потерь .....	45
4.3.2. Алгоритмы сжатия изображений с потерями .....	51
4.4. Форматы графических файлов .....	65
4.4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ФОРМАТОВ .....	65
4.4.2. РАСТРОВЫЕ .....	66
4.4.3. ВЕКТОРНЫЕ ФОРМАТЫ .....	76
4.4.4. МЕТАФАЙЛЫ И ДРУГИЕ ФОРМАТЫ .....	76
4.4.5. 3D-ФОРМАТЫ .....	77
заключение .....	78
Список литературы .....	79