

# МЕТОДЫ — СВОЙСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СТАНДАРТОВ ПЕРЕДАЧИ И ХРАНЕНИЯ ВИДЕОДАНЫХ

А. А. Зайцева

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН  
199178, Санкт-Петербург, 14-я линия ВО, д.39  
<cher@mail.iias.spb.su>

---

УДК 681.3

А. А. Зайцева. **Методы — свойства и ограничения при построении стандартов передачи и хранения видеоданных** // Труды СПИИРАН. Вып. 2, т. 2. — СПб.: Наука, 2005.

**Аннотация.** Исследованы различные подходы к обработке видеоданных, в том числе компрессии видеоданных. Рассмотрены некоторые стандарты беспроводной связи. Проведен сравнительный анализ технологий Wi-Fi и Bluetooth. — Библ. 8 назв.

UDC 681.3

A. A. Zaitseva. **Properties and restrictions of methods for construction of standards of video data communication and storing** // SPIIRAS Proceedings. Issue 2, vol. 2. — SPb.: Nauka, 2005.

**Abstract.** The different approaches to video data processing, including video data compression are viewed. Some standards of Wireless Networks are considered. The Wi-Fi and Bluetooth technologies are compared with. — Bibl. 8 items.

---

## Введение

К обработке и передаче видеоданных традиционно подходят с двух сторон: с одной стороны совершенствуются способы и стандарты связи, а с другой — появляются все новые методы компрессии видеоданных.

Разные классы задач по обработке видеоданных требуют различных подходов к их решению.

Исследования в области психологии познания в течение последних десятилетий показали, что видеоданные в форме сцен и картинок человеческий мозг обрабатывает исключительно в визуальных терминах, без соответствующего перевода или записи в вербальное представление, и люди часто реагируют строго на цветовые сигналы изображения. В последнее десятилетие значительно возросли мощности компьютеров и во много раз улучшилось качество передачи цвета на бумаге или мониторе. В результате цветное отображение легло в основу многих алгоритмов распознавания и классификации изображений, видеонаблюдения, видеокомпрессии.

Одним из подходов к обработке видеоданных является анализ видеоданных с использованием семантической составляющей, разработанный в лаборатории АНИ СПИИРАН на основе адаптивно-динамической сегментации [1, 2, 3].

## 1. Унифицированные стандарты компрессии видеоданных

Современные цифровые технологии позволяют использовать различные форматы сжатия и стандарты передачи данных. Однако возникает все более сложный класс задач, таких как телемедицина, Global Position System, который требует новых протоколов и форматов данных. В настоящее время основными стандартами являются стандарты линейки MPEG.

Форматы сжатия семейства MPEG сокращают объем информации следующим образом:

Устраняется временная избыточность видео (учитывается только разностная информация). Устраняется пространственная избыточность изображений путем подавления мелких деталей сцены. Устраняется часть информации о цветности. Повышается информационная плотность результирующего цифрового потока путем выбора оптимального математического кода для его описания.

MPEG4 использует технологию так называемого фрактального сжатия изображений. Фрактальное (контурно основанное) сжатие подразумевает выделение из изображения контуров и текстур объектов. Контуров представляются в виде т.н. сплайнов (полиномиальных функций) и кодируются опорными точками. Текстуры могут быть представлены в качестве коэффициентов пространственного частотного преобразования (например, дискретного косинусного преобразования).

Диапазон скоростей передачи данных, который поддерживает формат сжатия видео изображений MPEG 4, гораздо шире, чем в MPEG 1 и MPEG 2. Дальнейшие разработки специалистов направлены на полную замену методов обработки, используемых форматом MPEG 2. Формат сжатия видео изображений MPEG 4 поддерживает широкий набор стандартов и значений скорости передачи данных. MPEG 4 включает в себя методы прогрессивного и чересстрочного сканирования и поддерживает произвольные значения пространственного разрешения и скорости передачи данных в диапазоне от 5 кбит/с до 10 Мбит/с. В MPEG 4 усовершенствован алгоритм сжатия, качество и эффективность которого повышены при всех поддерживаемых значениях скорости передачи данных.

Кроме того, существует огромное количество вариаций формата MPEG-4, так называемые кодаки, и их число все время растет. Например, ВНА представила новую утилиту для кодирования видео в формат XVD (eXtended-play Video Disc). Новый формат уменьшает размер файла и улучшает качество. Сама утилита занимает всего 1,3 мегабайта и совместима с Windows Me/2000/XP. Новый кодек изначально разрабатывался компанией DigitalStream-USA. В нем использовались два патентованных алгоритма: один — для сжатия видео, и второй — для звука. Кодек можно настроить как для высококачественного кодирования, так и более легкий вариант — для передачи видео потоков. В новом формате на одном DVD-диске можно сохранять до двух часов высококачественной видеозаписи. Время кодирования двадцатисекундного AVI файла (720×480 / 700kbps) составляет около четырех с половиной минут, а размер — 2,38 мегабайта [4].

Заявленный в 1999 году группой MPEG стандарт MPEG-7 [5] в действующем виде так и не появился. Этот стандарт явился попыткой по-новому подойти к обработке аудиовизуального потока данных с точки зрения организации возможности понимания — узнавания информационного сообщения. MPEG-7 — первый пример попытки организации совместных структур данных представления аудио- видео информации с использованием аналитических и контекстных понятийных элементов [3].

В течение многих лет основным подходом к обработке и компрессии видеоданных являются различные методы кодирования с преобразованием. Одним из параметров этих методов является возможность извлечения данных.

Как следствие, «плотный» сигнал преобразуется в «разреженный», такой, где большая часть информации концентрируется в нескольких значащих коэффициентах.

Одним из способов компрессии является приведение всех незначущих коэффициентов преобразования к единому значению с последующим статистическим кодированием. Результирующая последовательность бит в таком случае содержит главным образом информацию о значащих коэффициентах.

До недавнего времени в компрессии использовалось в основном дискретное косинусное преобразование (DCT). Унифицированные стандарты для компрессии статических изображений (JPEG) и видео (MPEG) базируются именно на DCT. Оба стандарта дают хорошие результаты при условии использования не очень высоких степеней сжатия. При высоких степенях сжатия из-за разбиения на блоки, необходимого при вычислениях, может появляться так называемый «блочный эффект». К другим недостаткам относятся mosquito шум и искажения из-за наложения спектров.

Из-за описанных недостатков DCT происходит переход к дискретному вейвлет-преобразованию (DWT). Основное преимущество DWT заключается в том, что данное преобразование обеспечивает пространственно-частотное разложение изображений, в отличие от DCT и преобразования Фурье, которые обеспечивают только частотное разложение. DWT позволяет сконцентрировать энергию сигнала в низкочастотном поддиапазоне и обеспечивает пространственную локализацию границ в высокочастотном поддиапазоне [6].

Более того, DWT не дает «блочного эффекта» при высоких степенях сжатия данных. (рис. 1). Для статических изображений DWT легло в основу нового формата JPEG2000. Основные отличия JPEG2000 от обычного JPEG заключаются в использовании DWT, поддержке кодирования монохромных изображений, возможности сжатия без потерь, разной степени кодирования разных блоков изображения, декодировании в реальном времени.

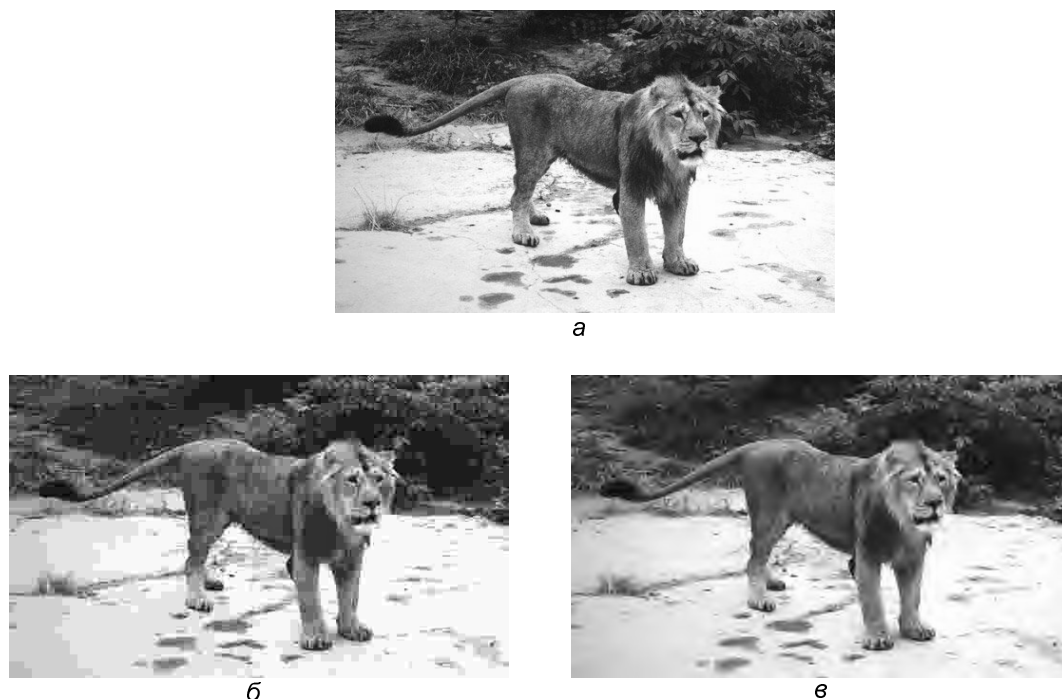


Рис. 1 Исходное изображение в формате .bmp размер 54К (а) и сжатое в формате JPEG (б) и JPEG2000 (в) до размера 3,7К.

Все форматы сжатия используют избыточность информации в изображениях, разделенных малым интервалом времени [7]. Между двумя соседними кадрами обычно изменяется только малая часть сцены — например, происходит плавное смещение небольшого объекта на фоне фиксированного заднего плана. В этом случае полная информация о сцене сохраняется выборочно — только для опорных изображений. Для остальных кадров достаточно передавать разностную информацию: о положении объекта, направлении и величине его смещения, о новых элементах фона, открывающихся за объектом по мере его движения. Причем эти разности можно формировать не только по сравнению с предыдущими изображениями, но и с последующими (поскольку именно в них по мере движения объекта открывается ранее скрытая часть фона).

Возможности развития методов обработки видеоданных тесно связаны с развитием стандартов и технологий передачи данных.

## 2. Стандарты беспроводной связи

Рассмотрим основные тенденции развития **беспроводных локальных сетей**. Они приобретают все большую популярность среди пользователей благодаря возможности предоставить подключение к сети там, где затруднено кабельное подключение или необходима полная мобильность. При этом беспроводные сети взаимодействуют с проводными сетями.

Основными используемыми в настоящее время стандартами беспроводных сетей являются Bluetooth и IEEE 802.11x альянса Wi-Fi. Альянс Wi-Fi — некоммерческая международная организация, образованная в 1999 году для сертификации совместимости продукции для беспроводных локальных сетей, основанных на спецификации IEEE 802.11. Цель членом альянса Wi-Fi — расширение возможностей пользователей посредством совместимости продукции.

Bluetooth не является стандартом для беспроводных локальных сетей (WLAN), хотя, при необходимости, такая возможность реализации сети есть. Bluetooth разработан для подключения к компьютеру периферии и различных устройств, а не для соединения компьютеров Точка-Точка. Сегодня устройства Bluetooth 1.1 уже широко распространены, и достаточно хорошо работают.

Bluetooth использует разрешенный (не в России) радио диапазон 2,4 ГГц, и не предназначен для работы на большом расстоянии. Bluetooth будет работать через стену или две, несмотря на слабые передатчики, которые обычно используются в оборудовании этого стандарта. Предполагается, что он используется для объединения устройств, которые располагаются достаточно близко друг от друга, чтобы можно было подключить их кабелем.

Не совсем правомерно говорить о противостоянии технологий Bluetooth и Wi-Fi. Они фактически не конкурируют, а скорее дополняют друг друга (рис. 2). И это вполне логично, ведь недостатки одной технологии скрашиваются достоинствами другой, и сегодня Bluetooth и Wi-Fi занимают разные ниши на рынке беспроводных устройств. Разумеется, есть и исключения, но они только подтверждают это правило.



Рис. 2 Сферы применения Bluetooth и Wi-Fi.

Технология Wi-Fi включает в себя несколько стандартов отличающихся по скорости передачи данных и принципам связи (табл. 1).

Все стандарты IEEE 802 работают на нижних двух уровнях модели ISO/OSI, физическом уровне и канальном уровне (рис. 3). Любое сетевое приложение, сетевая операционная система, или протокол (например, TCP/IP), будут так же хорошо работать в сети 802.11, как и в сети Ethernet.

Таблица 1 Стандарты 802.11

| Название стандарта | Краткая характеристика стандарта   |
|--------------------|--|
| <b>802.11</b>      | Первоначальный стандарт WLAN. Поддерживает передачу данных со скоростями от 1 до 2 Мбит/с  |
| <b>802.11a</b>     | Высокоскоростной стандарт WLAN для частоты 5 ГГц. Поддерживает скорость передачи данных 54 Мбит/с  |
| <b>802.11b</b>     | Стандарт WLAN для частоты 2,4 ГГц. Поддерживает скорость передачи данных 11 Мбит/с   |
| <b>802.11e</b>     | Требование качества запроса, необходимое для всех радио интерфейсов IEEE WLAN  |
| <b>802.11f</b>     | Описывает порядок связи между равнозначными точками доступа. Многократно разгружает распределенные между поставщиками сети WLAN          |
| <b>802.11g</b>     | Устанавливает дополнительную технику модуляции для частоты 2,4 ГГц. Предназначен, для обеспечения скоростей передачи данных до 54 Мбит/с |
| <b>802.11h</b>     | Описывает управление спектром частоты 5 ГГц для использования в Европе и Азии.   |



Рис. 3. Уровни модели ISO/OSI и их соответствие стандарту 802.11.

### Физический уровень 802.11

На физическом уровне определены два широкополосных радиочастотных метода передачи и один — в инфракрасном диапазоне. Радиочастотные методы работают в ISM диапазоне 2,4 ГГц и обычно используют полосу 83 МГц от 2,400 ГГц до 2,483 ГГц. Технологии широкополосного сигнала, используемые в радиочастотных методах, увеличивают надёжность, пропускную способность, позволяют многим несвязанным друг с другом устройствам разделять одну полосу частот с минимальными помехами друг для друга.

Стандарт 802.11 использует **метод прямой последовательности** (Direct Sequence Spread Spectrum, **DSSS**) и **метод частотных скачков** (Frequency Hopping Spread Spectrum, **FHSS**). Эти методы кардинально отличаются, и несовместимы друг с другом.

Для модуляции сигнала **FHSS** использует технологию Frequency Shift Keying (FSK). При работе на скорости 1 Mbps используется FSK модуляция по Гауссу второго уровня, а при работе на скорости 2 Mbps — четвёртого уровня.

При использовании метода частотных скачков полоса 2,4 ГГц делится на 79 каналов по 1 МГц. Отправитель и получатель согласовывают схему переключения каналов (на выбор имеется 22 таких схемы), и данные посылаются последовательно по различным каналам с использованием этой схемы. Каждая передача данных в сети 802.11 происходит по разным схемам переключения, а сами схемы разработаны таким образом, чтобы минимизировать шансы того, что два отправителя будут использовать один и тот же канал одновременно.

Метод FHSS позволяет использовать очень простую схему приёмопередатчика, однако ограничен максимальной скоростью 2 Mbps. Это ограничение вызвано тем, что под один канал выделяется ровно 1 МГц, что вынуждает FHSS системы использовать весь диапазон 2,4 ГГц. Это означает, что должно

происходить частое переключение каналов (например, в США установлена минимальная скорость 2,5 переключения в секунду), что, в свою очередь, приводит к увеличению накладных расходов.

Метод **DSSS** использует технологию модуляции Phase Shift Keying (PSK). При этом на скорости 1 Mbps используется дифференциальная двоичная PSK, а на скорости 2 Mbps — дифференциальная квадратичная PSK модуляция.

Заголовки физического уровня всегда передаются на скорости 1 Mbps, в то время как данные могут передаваться со скоростями 1 и 2 Mbps.

Метод DSSS делит диапазон 2,4 ГГц на 14 частично перекрывающихся каналов (в США доступно только 11 каналов). Для того, чтобы несколько каналов могли использоваться одновременно в одном и том же месте, необходимо, чтобы они отстояли друг от друга на 25 МГц (не перекрывались), для исключения взаимных помех. Таким образом, в одном месте может одновременно использоваться максимум 3 канала. Данные пересылаются с использованием одного из этих каналов без переключения на другие каналы. Чтобы компенсировать посторонние шумы, используется 11 битная последовательность Баркера, когда каждый бит данных пользователя преобразуется в 11 бит передаваемых данных. Такая высокая избыточность для каждого бита позволяет существенно повысить надёжность передачи, при этом значительно снизив мощность передаваемого сигнала. Даже если часть сигнала будет утеряна, он в большинстве случаев всё равно будет восстановлен. Тем самым минимизируется число повторных передач данных.

### **Канальный (Data Link) уровень 802.11**

Канальный уровень 802.11 состоит из двух подуровней: управления логической связью (Logical Link Control, LLC) и управления доступом к носителю (Media Access Control, MAC). 802.11 использует тот же LLC и 48-битовую адресацию, что и другие сети 802, что позволяет легко объединять беспроводные и проводные сети, однако MAC уровень имеет отличия.

MAC уровень 802.11 очень похож на реализованный в 802.3, где он поддерживает множество пользователей на общем носителе, когда пользователь проверяет носитель перед доступом к нему. Для Ethernet сетей 802.3 используется протокол Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD), который определяет, как станции Ethernet получают доступ к проводной линии, и как они обнаруживают и обрабатывают коллизии, возникающие в том случае, если несколько устройств пытаются одновременно установить связь по сети. Чтобы обнаружить коллизию, станция должна обладать способностью и принимать, и передавать одновременно. Стандарт 802.11 предусматривает использование полудуплексных приёмопередатчиков, поэтому в беспроводных сетях 802.11 станция не может обнаружить коллизию во время передачи.

Чтобы решить эту проблему, 802.11 использует модифицированный протокол, известный как Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA), или Distributed Coordination Function (DCF). CSMA/CA пытается избежать коллизий путём использования явного подтверждения пакета (ACK), что означает, что принимающая станция посылает ACK пакет для подтверждения того, что пакет получен неповреждённым.

MAC уровень 802.11 также предоставляет возможность расчёта CRC и фрагментации пакетов. Каждый пакет имеет свою контрольную сумму CRC, которая рассчитывается и прикрепляется к пакету. Здесь наблюдается отличие от сетей Ethernet, в которых обработкой ошибок занимаются протоколы более вы-

сокого уровня (например, TCP). Фрагментация пакетов позволяет разбивать большие пакеты на более маленькие при передаче по радиоканалу, что полезно в очень "заселённых" средах или в тех случаях, когда существуют значительные помехи, так как у меньших пакетов меньше шансы быть повреждёнными. Этот метод в большинстве случаев уменьшает необходимость повторной передачи и, таким образом, увеличивает производительность всей беспроводной сети. MAC уровень ответственен за сборку полученных фрагментов, делая этот процесс "прозрачным" для протоколов более высокого уровня.

Основное дополнение, внесённое 802.11b в основной стандарт (табл. 1) — это поддержка двух новых скоростей передачи данных — 5,5 и 11 Mbps. Для достижения этих скоростей был выбран метод DSSS, так как метод частотных скачков в силу ограничений FHSS не может поддерживать более высокие скорости.

Стандарт 802.11g подразумевает OFDM-схему модуляции сигнала — ортогональное мультиплексирование частот, то есть метод частотного уплотнения канала. OFDM менее подвержена такому явлению как помехи от работающих рядом каналов (интерференция). Таким образом, стандарт 802.11g может "обслуживать" беспроводных клиентов с меньшими задержками, чем 802.11b. 802.11g присущи те же недостатки, что и 802.11b, то есть только три непересекающиеся канала и помехи от беспроводных телефонов и микроволновок. Так что если в сети 802.11b наблюдается большое число помех, они никуда не денутся и при переходе к 802.11g.

В конце сентября 2003 года Международным Институтом инженеров электрики и электроники IEEE представлена новая версия стандарта — 802.11n. Этот стандарт в два раза быстрее (от 100 Мбит/с), чем его предшественники "a" и "g", которые имеют максимум в районе 54 Мбит/с. Так же теперь скоростные характеристики регламентируются более строго. В основу измерения скорости положен не размер низкоуровневого трафика со служебными заголовками, как это было ранее, а реальная скорость передачи файлов или потоков. В принципе, каких-либо новых идей не используется, все достигается за счет улучшения технологии: более оптимальное использование выделенного диапазона частот, новая конструкция адаптера и т.д.

Но, судя по всему, на этом возможности стандарта Wi-Fi не исчерпаны, и сегодня ведется работа над еще двумя версиями, которые должны появиться предположительно в 2004 году. Первая из них, 802.11e, будет отличаться улучшенным качеством сервиса (расширение функциональности за счет поддержки потоковых мультимедиа-данных и гарантированного качества услуг (QoS)), но основные надежды возлагаются на версию 802.11i, в которой особое внимание будет уделено безопасности соединения. Не секрет, что одной из самых острых проблем беспроводных технологий передачи данных является их незащищенность от несанкционированного подключения посторонних пользователей.

Так, например, сегодня существуют три спецификации, дополняющих стандарт Wi-Fi с точки зрения защиты информации. Наибольшее распространение получил протокол защиты Wired Equivalent Privacy, но его недостаточно для широкого использования беспроводных сетей в бизнесе. Что касается последних разработок, то появившаяся летом 2003 года технология защиты данных WPA (Wi-Fi Protected Access) претендует на роль ключевой, поскольку заложенные в ней принципы защиты будут являться основой стандарта 802.11i.



Можно упомянуть также о еще нескольких, находящихся в стадии разработки редакциях Wi-Fi. Это 802.11d, преследующий цели усовершенствования физического уровня протокола, и 802.11j, оговаривающий работу в одном диапазоне нескольких видов беспроводных сетей.

В скором будущем серьезную конкуренцию стандартам Bluetooth и Wi-Fi может составить технология ультраширокополосной радиосвязи UWB (Ultra Wide Band) [8].

Существующие сегодня UWB-решения обеспечивают скорость передачи данных в районе 40–60 Мбит/с, а теоретический максимум для этой технологии составляет 220 Мбит/с. Причиной таких высоких скоростей является использование очень широкого частотного диапазона. Так, например, в США предполагается выделить для UWB диапазон 3,1–10,6 ГГц, что в итоге дает общий спектр в 7,5 ГГц. К тому же использование более высоких частот обеспечивают лучшую проникаемость через различные естественные и искусственные препятствия, что является немаловажным для создания офисных сетей.

Еще одним преимуществом этой технологии является очень малое энергопотребление, поскольку UWB базируется на передаче коротких импульсов в широкой полосе частот. С другой стороны, преимущества этой технологии сопровождаются и недостатками. Использование такой широкой полосы частот предъявляет особые требования к помехоустойчивости, ведь возможность появления сторонних излучений очень велика. Поэтому сегодня пока что существуют ограничения на мощность UWB-передатчиков, и реальные системы имеют радиус действия, не превышающий 10-50 м. На сегодняшний день технология находится в завершающей стадии разработки, и первые коммерческие продукты ожидаются в 2004-2005 годах.

## Заключение

Хранить, обрабатывать видеоданные необходимо на специализированной технике, принципы организации которой будут ориентированы на конкретную задачу. Следует различать узкоспециализированное назначение методов обработки видеоданных, например, видеонаблюдение и фейс-контроль, и универсальное, например, космическая широкоспектрально-зональная съемка и анализ видеоданных по сугубо различным классам задач, от прогнозирования урожая до поиска подлодок. В этом случае в задачах к стандартам передачи и форматам сжатия предъявляются требования как можно более точной передачи информационного содержания. Тогда программа обработки и анализа видеоданных должна лишь подчеркивать и выделять заданные цели. Именно с этой целью разрабатываются методы адаптивно-динамической сегментации, в которой достаточный уровень представления выделяется оператором в процессе итерационного анализа, что и является по сути поиском методов выявления семантической составляющей.

Создание баз видеоданных, доступных в глобальной сети, обмен большими объемами информации невозможны без развития стандартов и протоколов связи, в том числе, беспроводной связи. Таким образом, в настоящее время идет постоянный качественный обмен между общей тенденцией развития передачи данных и концепциями обработки видеоданных. Постоянно появляющиеся новые стандарты беспроводной связи открывают новые возможности и накладывают новые ограничения на методы обработки видеоданных.

## Литература

- [1] Александров В. В., Арсентьева А. В. Информация и развивающиеся структуры. — Л.: ЛИИАН, 1984. — 182 с.
- [2] Alexandrov V. V., Laikov E. V., Frenkel B. E. Dynamic Adaptive Data Structures for Semantic Analysis of Video Information // Proc. Third Asian Conference Computer Vision, Hong Kong, 1998. — pp. 1–5
- [3] Зайцева А. А. Ассоциативная идентификация. // Труды СПИИРАН, выпуск 1, том 3, СПб, 2003 — с. 118–125.
- [4] Computer News, 12.06.2003 < <http://pc.imo.ru/news/2003/06/12/990.htm>>
- [5] Day Neil, Martinez Jose M. Introduction to MPEG-7 // International Organisation for Standardisation. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 №3751. La Baule: October 2000.
- [6] Morales E., Shih F. Y. Wavelet coefficients clustering using morphological operations and pruned quadrees. — Pattern Recognition 33, 2000, p. 1611–1620
- [7] Chiariglione L. MPEG and Multimedia Communications // IEEE Trans. CSVT, Vol.7, No. 1, Feb. 1997.
- [8] Мир беспроводных коммуникаций. Компьютер-Price, №4 (477), январь 2004 г. <[www.comprice.ru](http://www.comprice.ru)>