

УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ  
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи

Назаров У.Н.

«Исследование и перспективы развития IPTV»

Специальность: 5А522104

Цифровое телевидения и радиовещания

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание академической степени магистра

Работа рассмотрена  
и допускается к защите  
зав. кафедрой ТВ и РВ  
к.т.н. доцент Рахимов Т.Г.

\_\_\_\_\_  
(подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 г.

Научный руководитель  
к.т.н. Холиков Ф.

\_\_\_\_\_  
(подпись)

## Введение

IP-телевидением принято называть цифровую технологию многопрограммного интерактивного телевизионного вещания в IP-сети с помощью пакетной передачи видео-данных по IP-протоколу (Video over IP). На практике это выглядит так - головное IPTV оборудование передает, а абонентское оборудование принимает потоковое видео (streaming video). Этот термин обозначает технологии сжатия, сокращения и буферизации видео-данных, которые позволяют передавать видео в реальном времени через Интернет. Главная особенность потокового видео заключается в том, что при его передаче пользователь не должен ждать полной загрузки файла для того, чтобы его просмотреть. Потоковое видео пересылается непрерывным потоком в виде последовательности IP-пакетов и проигрывается по мере того, как передается на абонентское устройство.

Для просмотра потокового видео используется специальная приставка к телевизору или в современной терминологии Set top Box (STB), который с одной стороны подключен к сети оператора (среда вещания), а с другой - имеет соединение с телевизором. Абонентское устройство STB декодирует видео-данные и выводит расшифрованное видео на экран телевизора.

Абонент IPTV получает от оператора пакет услуг, важнейшим отличием которых от услуг, предоставляемых классическим кабельным телевидением, является интерактивность, то есть возможность для абонента оперативно выбирать и менять состав услуг, на которые он подписан, и в любой момент заказать дополнительную услугу, например, дополнительный платный просмотр фильма. Конечно, интерактивность может быть реализована и на базе кабельной DVB-C сети с обратным каналом, но такие решения не распространены сколько-нибудь широко. Рассмотрим подробнее состав возможных услуг, которые может предоставить IP-телевидение.

Базовой услугой, прежде всего, является многопрограммная трансляция телевизионных каналов, или собственно IP-телевидение. Здесь могут быть реализованы два варианта просмотра телепрограмм: первый -

оператором формируется несколько пакетов телеканалов, из которых зрители могут выбирать желаемый набор, причём каждый пакет имеет свою абонентскую плату; второй - зрители формируют индивидуальные пакеты из каналов, транслируемых оператором; абонентская плата определяется стоимостью выбранных каналов, входящих в индивидуальный пакет. Интерактивность IP-телевидения позволяет предложить абоненту ряд дополнительных услуг.

Задачей данной работе является Исследование технологий и перспективы развития IPTV, которое позволило бы увеличить доходы вещательных компаний в условиях мирового финансово-экономического кризиса.

Телевизионное вещание является одним из самых распространенных средств информационного обслуживания и находит широкое применение в различных сферах деятельности общества. В настоящее время происходит слияние средств вещания, телекоммуникаций и компьютерных технологий в целях интеграции служб, в глобальном информационном пространстве. Радикальным способом на пути достижения этих целей, является переход вещания от аналоговых к цифровым методам формирования и передачи сигналов через IP сет.

Актуальность работы. Важнейшей тенденцией в развитии современного наземного телевизионного вещания является переход к цифровым методам обработки и модуляции ТВ программ позволяющий использования радиочастотного спектра, обеспечения помехозащищенности, высокого качества обслуживания и возможностей дальнейшей конвергенции с интерактивными услугами. Переход к цифровому наземному телевизионному вещанию стандарта DVB-T. Поэтому исследование технологий и перспективы развития цифрового наземного телевизионного вещание являются актуальными на сегодняшний день.

Цель работы. Целью данной диссертационной работы является исследование наиболее важных технологий цифрового

многопрограммного интерактивного телевизионного вещания в IP-сети с помощью пакетной передачи видео - данных по IP-протоколу и анализировать его перспективы развития в мире.

Задачи исследования. Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие основные задачи:

- провести анализ основные подходы к реализации IPTV;
- провести анализ, общую характеристику и структуру системы IPTV;
- исследование и анализ основные протоколы IPTV с использованием IGMP snooping и IGMP.

- провести настройка IGMP в локальной сети для контроля широковещательных IPTV потоков с использованием Cisco Catalyst 3550-12T.

Научная новизна. Предложен метод обеспечение сельского населения в удаленных и труднодоступных районах программами IPTV.

Структура диссертации. Диссертационная работа включает в себя введение, 3 главы, заключение, список литературы.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры «Устройства систем радиосвязи», на республиканских научно-технических конференциях.

# ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

## 1.1. Общие сведения о наземном цифровом телевизионном вещании

Новое тысячелетие по праву можно считать началом эры широкой информатизации. Мировое сообщество взяло курс на создание единого информационного пространства, на построение глобальной информационной инфраструктуры. Унификация и объединение разных технологий будут позволять населению нашей земли получать доступ к необходимой информации и обмениваться ею как в стационарных условиях, так и в условиях мобильности, независимо от времени и географического места нахождения. Современные тенденции в области цифрового телевизионного и звукового вещания также характеризуются эволюционным развитием комплексных цифровых инфокоммуникационных систем и переходом, в дальнейшем, к глобальной информационной сети.

Цифровые технологии в сетях связи позволяют реализовать многопрограммное радиотелевизионное вещание, расширить номенклатуру телекоммуникационных услуг, а также их качество.

Что дает цифровое телевидение? До массового зрителя практически без искажений доходит сигнал студийного качества – исчезают помехи, характерные для аналогового вещания. Появляется возможность передавать видеоизображение телевидения высокой четкости (ТВЧ, HDTV) с числом строк развертки 720, 1080 (соотношение строк и столбцов 9:16) и выше против стандартных сегодня 480 – 625 строк (формат 3:4). Однако увидеть эту высокую четкость можно лишь на экране ТВ-приемника с соответствующими характеристиками кинескопа. Поэтому не менее важно, что ЦТВ позволяет, гораздо эффективнее использовать спектральный диапазон – вместо одного аналогового ТВ-канала можно формировать несколько цифровых, на порядок возрастает число одновременно доступных ТВ-программ. Наконец, развитие средств доставки цифрового телевизионного сигнала – важный шаг к столь интенсивно

прорабатываемому, сегодня «телевидению по запросу», когда зритель выбирает уже не канал, а именно фильм или передачу, которые он хочет сейчас смотреть.

Выделяют четыре основных механизма передачи ТВ-трафика конечным потребителям – кабельный, спутниковый, наземный (эфирное вещание) и так называемый сотовый. Последний метод реализуют высокочастотные системы с труднопроизносимыми аббревиатурами: MMDS (Multichannel Microwave Distribution System), LMDS (Local Microwave Distribution System), MWS (Multimedia Wireless System). Однако стратегический вопрос развития телевидения в государстве – сеть наземного вещания.

Одной из важных и сложных задач международной стандартизации цифрового наземного ТВ вещания стало изыскание эффективных методов передачи сигналов ТВ программ по наземной передающей сети с учетом ограничений при выделении радиочастотных каналов.

Решению этой задачи способствовал сформулированный глобальный подход к разработкам систем ТВ вещания на базе цифровых технологий, принципиальной особенностью которого является учет и гармонизация технологических особенностей основных участков ТВ трактов с их радиочастотным обеспечением при соблюдении жестких международных норм электромагнитной совместимости, требуемых зон покрытия, методов планирования сетей и др.

В условиях наземного ТВ вещания скорость передачи данных по одному стандартному наземному радиоканалу при существующих способах цифрового сжатия составляет 17-24 Мбит/с.

Источник цифрового сигнала ТВЧ может формировать видеоданные со скоростью 1200-1500 Мбит/с. Для обеспечения возможности ТВЧ вещания по стандартному наземному радиоканалу необходимо уменьшить скорость передачи исходного сигнала в 50 и более раз путем его цифрового сжатия и использования эффективных многопозиционных видов модуляции. Методы

сжатия могут включать адаптивную обработку сигналов источника информации, компенсацию движения, кодирование информации с учетом особенностей зрительного восприятия ТВ изображений, статистическое кодирование и др.

Для удовлетворения требований ряда применений и служб система НЦТВ должна работать в режиме как прогрессивной, так и чересстрочной развертки изображения в широком диапазоне пространственной и временной разрешающей способности. При использовании таких методов с помощью системы стандартного телевидения с разложением изображения на 525 или 625 строк может быть обеспечена передача по одному каналу сигналов нескольких программ ТВ вещания. Применение способов цифровой модуляции, например, со спектральной эффективностью 3-4 бит/(с·Гц) обеспечивает скорость передачи данных 6-8 Мбит/с на одну программу, и по одному радиоканалу удастся передавать до четырех - пяти сигналов программ вещания. В дальнейшем это число может быть увеличено до 10 и более. НЦТВ может обеспечивать доставку программ ТВЧ или стандартного телевидения со скоростью передачи данных около 20 Мбит/с. Для этого требуется спектральная эффективность 4 бит/(с·Гц) для каналов с полосой 6 МГц либо 3 бит/(с·Гц) при полосе пропускания канала 7 или 8 МГц.

Стандарты наземного телевизионного вещания принимают страны или группы стран, а на решения такого масштаба неизбежно оказывают влияние политические и экономические факторы. Особенности стандартов значительно влияют на использование частотного диапазона. Страны, собирающиеся переходить к цифровому телевидению, тщательно изучают различные стандарты перед принятием решения. Результаты исследований, проводимых в национальных масштабах, конечно, интересны не только технической общественности.

Сегодня наземное телевидение представляет собой весьма сложную систему. Аналоговое вещание появилось так давно, что смесь телевизионных служб и технических инфраструктур в каждой стране образует уникальное

сочетание. Технические причины в такой своеобразии играют важную роль, но определяющими являются исторические, географические и политические факторы. Частотный диапазон, в котором ведется наземное вещание, близок к насыщению. Например, в странах Европы используется более 70 тысяч телевизионных передатчиков, многие из которых работают в метровом диапазоне. На частоте одного канала может работать до тысячи передатчиков. В таких условиях введение новых служб наземного цифрового телевизионного вещания является нетривиальной задачей.

Есть несколько серьезных аргументов в пользу сохранения наземного телевизионного вещания.

Во-первых, зрители, которые смотрели лишь программы наземного аналогового телевидения, не должны устанавливать антенны спутникового телевидения и подключаться к сети кабельного телевидения после введения цифрового вещания.

Во-вторых, прием на переносные телевизионные приемники или на комнатную антенну отвечает за значительный сегмент рынка услуг телевизионного вещания. Наземное телевидение - единственный способ доставки телевизионных программ к портативным переносным телевизорам и к приемникам, установленным на транспортных средствах.

В-третьих, наземное цифровое телевизионное вещание может оказаться важным фактором ускорения замены аналоговых телевизоров на цифровые и сокращения переходного периода совместного существования аналогового и цифрового телевидения. Аналоговое наземное телевидение является сейчас основным средством доставки программ во многих странах. Аналоговые телевизоры обладают высокой надежностью, и зрители могут продолжать смотреть привычные программы аналоговых каналов еще многие годы. Цифровое наземное телевидение может дать таким зрителям побудительный мотив для замены аналогового телевизора на цифровой. Поскольку оно способно предложить дополнительные платные программы, например кинофильмов и спортивных передач, без спутниковой антенны и кабельной

сети (ведь цифровой способ дает возможность передачи нескольких программ в полосе частот одного аналогового канала).

В развитии цифрового вещания телевизионные специалисты выделяют следующие основные этапы:

- создание полностью цифрового студийного оборудования, когда преобразование и вся обработка сигнала в пределах телецентра осуществляется цифровыми средствами;

- формирование гибридных аналогово-цифровых ТВ-систем со сжатием спектра информационного сигнала;

- освоение полностью цифровой ТВ-системы.

Первые предпосылки к созданию цифрового ТВ относятся к 1990 г. Полностью цифровая система была создана в США в 1993 г. Одновременно с этим с проектирования и производства были сняты последние аналоговые системы.

В настоящее время разработаны, исследованы и предложены для международного внедрения гармонизированные и сопряженные между собой системы цифрового наземного ТВ вещания ATSC (Advanced Television System Committee, Комитет перспективных систем телевидения, США) с одночастотной схемой модуляции 8-VSB (восьмиуровневая АИМ с подавленной нижней боковой); DVB-T (Европа) с многочастотной схемой модуляции OFDM (ортогональное разделение мультиплекса); ISDB-T (наземное цифровое вещание с интеграцией служб, Япония) с многочастотной схемой модуляции BST-OFDM (распределение ортогональных несущих в сегментах спектра).

Эти стандарты аналогичны в том смысле, что оба ориентированы на передачу видео- и аудиоданных, кодированных и компрессированных посредством MPEG-2. Звук может кодироваться с помощью других алгоритмов, например Dolby AC-3. Поэтому, вообще говоря, качество картинки мало зависит от выбора одного или другого метода модуляции, если она успешно принята приемником.

При цифровых методах каждая конкурирующая сторона стремилась предоставить новые возможности. Поэтому цифровые варианты трех систем рассматривались не как разные способы достижения одной и той же цели, а скорее как средства обеспечения гибкости, позволяющие адаптироваться к различным обстоятельствам, чтобы быть привлекательнее для операторов и массового пользователя.

В первую очередь требовалось проанализировать возможности сопряжения систем с учетом их общих и отличающихся функций и характеристик.

Системы DVB-T, ATSC и ISDB-T в основном различаются уровнем подсистемы адаптации к каналу вещания, в частности, применяемыми в них методами и параметрами цикловой синхронизации, корректирующего кодирования и модуляции, а также алгоритмами кодирования звукового сигнала. Полосы же и диапазоны частот радиоканала в базовых вариантах систем совпадают с принятыми для аналогового вещания в странах-разработчиках. Все системы использовали методы мультиплексирования и формирования транспортных пакетов, соответствующих требованиям стандарта MPEG-2. Во всех системах использовались такие виды борьбы с ошибками, как скремблирование, перемежение, внешнее кодирование Рида-Соломона, внутреннее кодирование сверточным кодом. Различия связаны с выбором параметров указанных преобразований потоков данных.

Небольшие отличия связаны с выбором набора системных команд и обеспечиваемых функций, которые определяются передачей конкретных данных сервисной информации. Однако эти различия не носят принципиального характера, т.к. не препятствуют возможности создания единого декодера для всех видов систем. Поток транспортных пакетов перед передачей по каналу подвергается различным преобразованиям и аранжируется в кадры данных, специфические для каждой из систем.

В США при выборе стандарта цифрового телевизионного вещания основное внимание уделяли повышению качества изображения. При этом

увеличение числа каналов со стандартным качеством изображения не рассматривалось. Очевидно, что изображение с высоким разрешением проявит себя на телевизорах с большим экраном – ну никак не меньше 32 дюймов, еще лучше – 55-60 дюймов. ТВ-приемники данного класса стоят соответственно 2-3 и 5-10 тыс. долл., т.е. гораздо дороже привычных телевизоров.

Система 8-VSB ATSC была разработана специально таким образом, чтобы к каждому действующему в США передатчику аналоговой системы NTSC можно было подключить ограниченный дополнительный комплекс аппаратуры, обеспечивающий переход на цифровой режим работы с сопоставимыми зонами охвата вещанием при фиксированном или, возможно, переносном приеме.

В Европе при разработке цифровой телевизионной системы DVB учли печальный опыт десятилетней давности, связанный с развертыванием коммерческого телевизионного вещания высокой четкости – в основном, аналоговой ТВЧ-системы MAC (Multiplexed analog components). Поэтому основное внимание уделили увеличению числа каналов со стандартной разрешающей способностью. Это позволило начать переход к ЦТВ с выпуска относительно дешевых (400–600 долл.) приставок для уже имеющихся телевизионных приемников. Кроме того, европейский стандарт рассматривается как основа для единой телекоммуникационной системы, ориентированной на передачу данных самой различной природы – отсюда требования к низкой вероятности ошибок.

Европейская система DVB-T была разработана с заложенным свойством существенной гибкости, которая достигалась за счет опций выбора широкого набора параметров, обеспечивающих фиксированный, мобильный и переносной прием, а также построение одночастотных сетей.

Система ISDB-T, разработанная в Японии, была близка к системе DVB-T, но при необходимости могла обеспечить расширенные возможности служб мультимедиа и по использованию радиоспектра в виде нескольких

сегментированных полос частот, для каждой из которых могли быть установлены свой тип модуляции и корректирующего кодирования.

## 1.2. Система ATSC

Стандарт цифрового телевидения ATSC был принят Федеральной комиссией по связи США в конце XX века. В ней применяется восьмиуровневая АИМ с частично подавленной нижней боковой полосой радиосигнала (8-VSB). Модулирующий сигнал представляет собой 8-уровневые импульсы, сглаженные формирующим фильтром. Протяженность нижнего и верхнего срезов спектра составляет 620 кГц при полной ширине спектра 6 МГц, соответствующей номинальной полосе частот используемого радиоканала.

Подавление несущей частоты и большей части нижней боковой полосы в процессе модуляции осуществляется путем подачи модулирующих сигналов на два смесителя этих сигналов с колебаниями одной и той же частоты с взаимным фазовым сдвигом 90°. Вместо подавленной несущей на ее частоте добавляется пилот-сигнал небольшого уровня. Для этого перед модуляцией к многоуровневому импульсному сигналу в основной полосе частот добавляется постоянное напряжение смещения, трансформируемое в пилот-сигнал в модулированном сигнале.

Модуляция 8-VSB имеет одномерное созвездие, в котором только половина точек используется для передачи полезной информации, а другая половина – для корректирующего кодирования. Поэтому по скорости передачи полезной информации модуляция 8-VSB фактически соответствует 4-VSB без кодирования. Скорость передачи символов практически втрое выше численного значения занимаемой полосы частот 6 МГц и составляет 19,29 Мбит/с.

Структурная схема системы показана на рис.1.1 в виде эталонной модели своих основных подсистем.



Рис. 1.1. Структурная схема передающей части системы 8-VSB ATSC.

В подсистеме кодирования источников информации применяется набор частот, основанный на эталонной частоте 27 МГц. Эта частота используется для получения цифровых отсчетов частоты длиной 42 бита, из которых первые 33 бита, называются базовыми эталонными метками времени программы, а оставшиеся 9 бит – расширенными эталонными метками времени. Последние эквивалентны отсчетам частоты 90 кГц, подстраиваемой по сигналу частоты 27 МГц, и используются в аудио и видео кодерах при формировании меток времени отображения и декодирования. Из частоты 27 МГц синтезируются необходимые частоты дискретизации видеоинформации ( $f_v$ ) и аудиоинформации ( $f_a$ ).

Транспортный кодер фактически выполняет роль мультиплексора системы 8-VSB ATSC, объединяющего кодированные потоки источников информации и сервисной информации. На его выходе действует поток транспортных пакетов, следующих с частотой  $f_{тр}$ . К выходу транспортного кодера подключены устройства цикловой синхронизации, кодовой защиты и однополосной модуляции, которые входят в состав подсистемы адаптации к каналу.

Среди основных достоинств нового формата можно отметить высокое вертикальное разрешение – до 1125 строк в кадре. Помимо этого, в ATSC

предусмотрена возможность модернизации с целью устранения недоработок и ошибок. Это оказалось полезным уже после первого выпуска телевизоров, предназначенных для приема цифрового сигнала.

Значительное внимание при разработке было уделено устойчивости к искажениям, связанным с движением приемника и взаимодействием между сигналами. Однако ATSC не считают стандартом, предназначенным для мобильных устройств. В США предполагают, что для этих целей должен быть разработан особый стандарт со своей обработкой сигнала и соответствующим способом модуляции.

Среди других отличительных характеристик системы ATSC отметим довольно небольшое соотношение сигнал/шум в 4-6 дБ, что накладывает значительные ограничения на мощность передающей и принимающей аппаратуры. Пропускная способность канала ATSC в США составляет 6 МГц, что вполне достаточно для передачи нескольких независимых программ. Помимо этого, система ATSC поддерживает работу с чересстрочной разверткой при частоте кадров 30 и 25 Гц и с прогрессивной разверткой при частоте 50 и 60 Гц. Чересстрочная развертка отличается от прогрессивной «экономией» на информации, что позволяет, с одной стороны, уменьшить объем передаваемых данных, но с другой, чревато появлением искажений.

ATSC использует традиционные для цифрового видео стандарты сжатия данных: MPEG-2 – для видео и Dolby 5.1 AC-3 – для аудио. В качестве средств помехоустойчивого кодирования используются код Рида-Соломона и код Унгербоика с фиксированной скоростью. Пороговое соотношение сигнал/шум составляет 14,9 дБ, хотя на практике встречаются значения 15,1 дБ. Отметим, что ATSC ориентирован на субъективное качество восприятия изображения человеком, а это значит, что он не рассчитан на передачу данных (допускается частота ошибок до 60 бит/с).

Стандарт ATSC разрабатывался с условием совместимости с существующими аналоговыми стандартами PAL и NTSC. Несмотря на то,

что главным назначением ATSC является телевидение высокой четкости HDTV, он поддерживает и другие форматы цифрового вещания: SDTV (Standart Definition TV) и EDVT (Enhanced Definition TV), которые обладают меньшим разрешением, нежели HDTV.

Система ATSC достаточно эффективна и способна работать в различных условиях, т. е. при наличии свободных каналов, либо (как было реализовано в США) в жестких условиях организации 1600 дополнительных каналов в переполненном спектре и необходимости обеспечить прием с помощью наружных (расположенных на крыше) или портативных антенн.

Система ATSC была разработана также исходя из требований защиты от многолучевого распространения, обеспечения эффективного использования спектра, а также простоты частотного планирования.

Система позволяет изменять формат программ (стандартная, либо высокая четкость) и, кроме того, имеет большие резервы для организации служб передачи данных, опираясь на заложенные в систему адаптивные возможности в части передачи данных.

### 1.3. Система DVB-T

В систему DVB-T с самого начала разработки была заложена гибкость в отношении использования всех возможных каналов: она позволяет работать не только в свободных каналах, но допускает частотное планирование с перемежением каналов и даже вещание единой программы разными передатчиками в совмещенном канале (одночастотные сети).

Она также обеспечивает гибкость обслуживания, предоставляя возможность приема на антенны, расположенные на крыше, а при желании осуществлять прием на переносные приемники.

Одним из главных требований, которые выдвигались при создании DVB-T, была его совместимость с существующими стандартами цифрового спутникового вещания DVB-S и кабельной передачи DVB-C. Реализация такого плана позволила бы без дополнительных затрат на перекодировку переносить ранее сформированный пакет программ из кабельной или спутниковой среды в эфирную.

В качестве основы для нового формата DVB-T использовались европейские аналоговые стандарты PAL и SECAM, поэтому в нем принята чересстрочная развертка с частотой 50 полукадров/с и вертикальным разрешением 625 строк. Опционально поддерживается и телевидение высокой четкости (HDTV), которое допускает удвоенное разрешение по вертикали и горизонтали. Кроме того, DVB-T предусматривает и передачу широкоформатного 16:9 изображения, которое используется в HDTV.

Эфирный стандарт предполагает три возможных варианта ширины канала передачи – 6, 7 и 8 МГц. Одной из самых больших проблем при разработке DVB-T была задача борьбы с искажениями, возникающими по причине взаимодействия волн в эфирном пространстве. Для борьбы с ними была придумана специальная модуляция, названная COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), которая успешно справляется с помехами, появляющимися при многолучевом приеме сигнала. Сжатие данных осуществляется при помощи алгоритмов MPEG-2 для видео и

MPEG-2 Layer II для аудио.

Как это было в случае с NTSC, PAL и SECAM, европейцам снова удалось разработать стандарт эфирного цифрового телевидения, который оказался в целом более помехоустойчивым и совершенным, нежели американский ATSC. В частности, благодаря своим техническим характеристикам сигнал DVB-T может приниматься и на обычные наземные антенны. Стандарт предусматривает использование, как в местных, так и в глобальных масштабах, выбирая для этого наиболее оптимальный по скорости передачи и по нагрузке на аппаратуру режим.

DVB гораздо гибче – в стандартной полосе 8 МГц он обеспечивает выбор скорости в диапазоне от 4,98 до 31,67 Мбит/с (возможна работа в регионах с каналами шириной 6 и 7 МГц). Соответственно изменяется и число ТВ-программ в этой полосе – от 16 до 2, причем возможна одновременная трансляция программы с низким разрешением, но высокой надежностью и с высоким разрешением при пониженной надежности приема. Уникальная особенность DVB – это мобильность приемника, он может перемещаться со скоростью до 300 км/ч – а это поезда, междугородный пассажирский автотранспорт, мобильные службы (скорая помощь, полиция) и т.п.

Стандарт определяет структуру передаваемого потока данных, систему канального кодирования и модуляции для мультипрограммных служб наземного телевидения, работающих в форматах ограниченной, стандартной, повышенной и высокой четкости.

Для обеспечения совместимости аппаратуры различных производителей стандарт определяет параметры цифрового модулированного радиосигнала и описывает преобразования данных и сигналов в передающей части системы ЦНТВ.

Максимальная эффективность использования частотного диапазона реализуется путем оптимального сочетания отдельных передатчиков, одночастотных и многочастотных сетей. Предусмотрена защита от типичных

для наземного ТВ вещания эхо-сигналов для обеспечения устойчивого приема в условиях многолучевого распространения радиоволн, в том числе, в условиях движения и прием на комнатные антенны.

Выполнение изложенных требований обеспечивается путем применения многочастотного метода передачи, получившего название OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex - ортогональное частотное разделение мультиплекса, т. е. цифрового потока, передаваемого по одному физическому каналу). Суть метода OFDM заключается в следующем. В полосе канала размещается от 2 до 8 тысяч несущих, каждая из которых модулируется низкоскоростным потоком данных, являющимся частью общего цифрового потока. В системе DVB-T возможен выбор одного из двух режимов вещания: режима 2k с общим числом 1705 ортогональных несущих или режима 8k с общим числом 6817 ортогональных несущих в одном символе OFDM. В качестве первичного метода модуляции этих несущих допускается использовать QPSK, 16- и 64-QAM.

Скорость передачи в каждом элементарном потоке равна общей системной скорости, поделенной на число несущих. Частотное распределение несущих в полосе радиоканала производится по определенному правилу их ортогональности, допускающему частичное перекрытие смежных спектров, но при условии, что на центральной частоте каждой из несущих спектральные составляющие всех остальных модулированных несущих переходят через ноль. В результате за счет большого числа несущих формируется близкий к прямоугольному, групповой спектр мощности, обеспечивающий максимальную эффективность использования полосы частот радиоканала.

При разработке системы DVB-T также учитывалось требование обеспечить устойчивость к помехам от задержанных сигналов, обусловленных как отражениями от земного рельефа или зданий, так и сигналами удаленных передатчиков одночастотной сети – нового предоставляемого системой средства планирования сетей ТВ-вещания,

которое позволяет повысить эффективность использования спектра, что необходимо в условиях его частичной перегрузки, как это имеет место в Европе.

При OFDM передаваемая информация разбита на большое число параллельных низкоскоростных подканалов, длительность тактового интервала для каждой несущей намного больше типичной задержки отраженных сигналов при многолучевом распространении. При этом широкополосный канал системы с одной несущей, подверженный селективному федингу, преобразуется в большое число независимо федингующих узкополосных каналов с частотным разделением. Кроме того, при OFDM небольшие группы несущих могут быть полностью подавлены практически без потерь принимаемой информации. Для этого вводят корректирующее кодирование данных в сочетании с частотным и временным перемежением. При таком комплексном построении модема схему модуляции часто называют кодированным OFDM или COFDM (Coded OFDM). С точки зрения физических процессов модуляции и передачи радиосигнала оба эти понятия равнозначны.

Для уменьшения межсимвольных искажений перед каждым символом передаваемого цифрового сигнала вводится защитный интервал. Следует отметить, что это не просто пауза между символами, достаточная для угасания сигнала символа до начала следующего. В защитном интервале передается фрагмент полезного сигнала, что гарантирует сохранение ортогональности несущих, но только в том случае, если эхо-сигнал при многолучевом распространении задержан не более чем на длительность защитного интервала.

Система DVB-T дает возможность выбирать ряд параметров, которые позволяют приспособлять систему к широкому диапазону отношений несущая/шум и характеристикам каналов, обеспечивая стационарный, мобильный или портативный прием, на основе компромисса в отношении используемой скорости передачи информации. В табл. 1.1 приведены

значения параметров системы DVB-T при использовании различных режимов вещания. Имеющийся диапазон параметров позволяет вещателям выбирать режимы, соответствующие планируемым применениям. Например, для обеспечения приема на портативные приемники требуется очень устойчивый режим (с соответствующим снижением полезной нагрузки). Если при планировании службы предусмотрено применение перемежающихся каналов, то можно использовать режим с умеренной устойчивостью и большей полезной нагрузкой. А если для реализации цифрового телевизионного вещания имеется в наличии свободный канал, то можно использовать режим с меньшим уровнем защиты и максимальной полезной нагрузкой.

Это демонстрирует особую гибкость системы DVB-T, которая позволяет пользователю оптимизировать систему, выбирая из различных предлагаемых режимов работы наиболее подходящий.

Исчерпывающее обсуждение оптимального использования всех параметров было бы сложным и слишком длительным. Тем не менее, необходимо не упускать из виду следующие особенности:

- в случае применения иерархических режимов канал делится на две различные (и настраиваемые) составляющие с разными требованиями по отношению  $C/N$ . Это обуславливает разные условия приема для одной и той же или для разных программ;

- чтобы снизить требования по отношению  $C/N$  для желательного варианта вещания, необходимо правильно выбрать скорость кода и схему модуляции;

- выбор режима 2k вместо режима 8k облегчает мобильный прием. Однако он позволяет реализовывать только небольшие одночастотные сети передатчиков (SFN).

Примеры подобных служб вещания, не использующих иерархические режимы, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Примеры значений параметров системы DVB-T при

использовании различных режимов вещания.

Скорость передачи, Мбит/с	Вид модуляции	Скорость кода	Применение
5	QPSK	1/2	Канал с высоким уровнем помех
15	16-QAM	2/3	Прием на портативные устройства в широкой зоне
26	64-QAM	3/4	Максимальный цифровой поток в свободном канале

#### 1.4. Система ISDB-T

ISDB представляет собой новый тип вещания для мультимедийного обслуживания. Этот вид вещания систематически объединяет различные виды цифровых программ, которые могут включать в себя множество видеопрограмм (телевизионных программ с низкой до высокой четкости), множество звуковых программ, графическую и текстовую информацию и т. п. Большинство цифровых программ в настоящее время кодируются в формате транспортного потока MPEG-2 и распространяются по всему миру. В этой связи весьма желательно интегрировать цифровые программы на основе транспортных потоков MPEG-TS.

Поскольку ISDB охватывает целый ряд служб, эта система должна удовлетворять широкому кругу требований, которые могут различаться для разных служб. Например, для службы ТВВЧ требуется высокая пропускная способность, а для таких услуг передачи данных, как доставка ключей условного доступа, скачивание программного обеспечения и т. п., требуется высокая готовность службы (или надежность передачи). Для объединения таких сигналов, удовлетворяющих требованиям различных служб, желательно, чтобы системы передачи предоставляли ряд видов модуляции и/или схем защиты от ошибок, которые можно будет выбирать, и комбинировать для максимального удовлетворения требований каждой из объединяемых служб.

Системы цифрового наземного вещания с интеграцией служб (ISDB-T) разрабатывались для обеспечения достаточной гибкости передачи не только телевизионных или звуковых программ, представленных в виде цифровых сигналов, но и организации мультимедийных служб, объединяющих такие различные виды цифровых данных, как видео-, звуковая и текстовая информации, а также компьютерные программы.

Они нацелены на реализацию преимуществ, присущих земным радиоволнам, и при использовании сегментированной схемой OFDM могут обеспечить стабильный прием на компактные, легкие и недорогие мобильные приемники в дополнение к интегрированным приемникам домашнего пользования.

Система цифрового наземного ТВ вещания ISDB-T разработана в трех вариантах применительно к существующим стандартным каналам наземного аналогового ТВ вещания с номинальной полосой частот 6, 7 или 8 МГц. В системе ISDB-T применяется модифицированная схема многочастотной модуляции с ортогональным частотным распределением мультиплекса (OFDM), допускающая передачу цифрового потока в нескольких полосах частот (OFDM сегментах) и называемая BST-OFDM (частотно-сегментированная передача по схеме OFDM). В качестве методов первичной модуляции несущих возможны DQPSK, QPSK, 16-QAM и 64-QAM. Система позволяет одновременно передавать по одному стандартному каналу наземного ТВ вещания различные цифровые сигналы, например, сигналы стандартного телевидения, сигналы ТВЧ, звук, графику, текст и т. п. с учетом требований пользователя к отдельным службам. В системе заложены два режима приема: полномерный широкополосный (несколько базовых сегментов используются преимущественно для вещания ТВ программ и/или больших массивов данных) и частичный узкополосный (один базовый сегмент для вещания звуковых программ и адекватных потоков данных). Возможность приема одного сегмента в системе ISDB-T отличает ее от других систем ЦНТВ. Этот прием предполагает использование упрощенного

узкополосного приемника, рассчитанного на прием в полосе только одного сегмента OFDM. Такой приемник может использоваться в носимом варианте для приема звуковых программ и/или телематической информации. Стоит заметить, что при этом приеме абонент получает часть общего транспортного потока, рассосредоточенного по полному числу сегментов. Таким образом, узкополосный приемник может принимать ряд служб из отдельно передаваемого сегмента или из центрального сегмента группы, а широкополосный приемник может принимать все службы из сегментов, входящих в допустимую полосу системы.

В зависимости от требуемых условий приема система может работать в следующих трех режимах:

- режим 1 - для приема сигналов подвижными приемниками;
- режим 2 - для приема сигналов как подвижными, так и стационарными приемниками;
- режим 3 - для фиксированных служб, использующих одночастотные сети.

Некоторые устройства в системе ISDB-T аналогичны по структуре и параметрам, соответствующим устройствам в системе DVB-T, чем достигается определенная гармонизация обеих систем, особенно приемников-декодеров. К числу таких устройств относятся внешний кодер Рида-Соломона, скремблеры, перемежители и внутренние сверточные кодеры. Структурная схема системы показана на рис. 1.2, в верхней и нижней частях которого изображены соответственно подсистема кодирования для канала и модулятор.

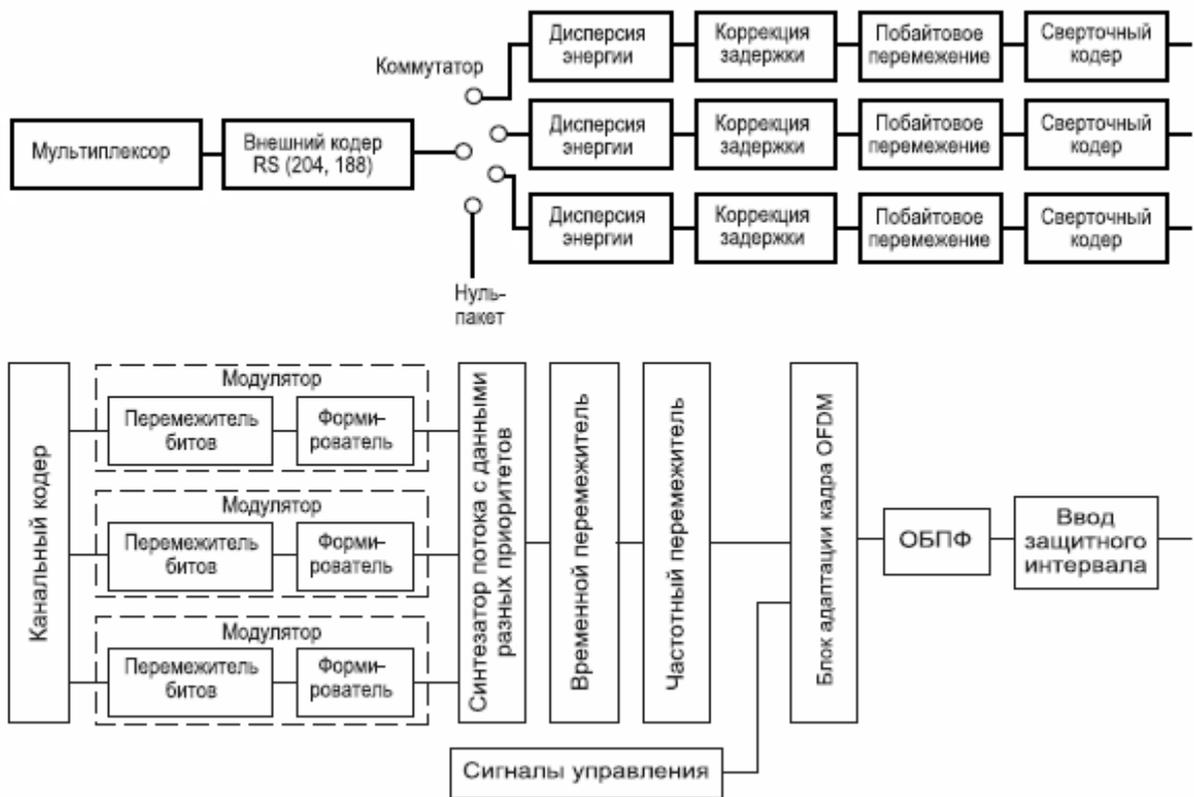


Рис. 1.2. Структурные схемы подсистемы кодирования для канала и модулятора в системе ISDB-T.

В системе ISDB-T подлежащие передаче транспортные потоки, сформированные в соответствии с требованиями стандарта MPEG-2, сначала подвергаются ремультимплексированию, т. е. преобразуются в группы данных, называемые сегментами данных. Каждый сегмент данных кодируется корректирующим кодом, после чего преобразуется в модулированный OFDM сегмент, к которому добавляются пилот-несущие ТМСС (служебные сигналы, сигнализирующие о схеме мультимплексирования и модуляции и служащие для правильной демодуляции и управления конфигурацией декодирования). Параметры корректирующего кода, глубина временного перемежения, тип первичной модуляции несущих и длина защитного интервала выбираются независимо для каждого сегмента. Для передачи какой-либо службы с большим объемом данных отводится необходимое число сегментов. Такая компоновка спектра и параметров передачи позволяет адаптировать систему к различным каналам и видам обслуживания. В системе предусматривается три уровня иерархического приема. Все это вместе взятое допускает отвести

часть полосы, например, для приема ТВ программ на стационарные приемники, а оставшуюся часть полосы – для приема звуковых сигналов и данных на мобильные и носимые приемники.

Подсистема кодирования для канала содержит три отдельных тракта рандомизации и внутреннего кодирования, обеспечивающих необходимую обработку данных для каждого из трех иерархических режимов передачи. Транспортные пакеты с выхода внешнего кодера коммутируются на вход того либо иного тракта в зависимости от установленного приоритета. Блоки коррекции задержки необходимы для выравнивания различных времен задержки, обусловленных процессами перемежения в трактах с разными приоритетами (видами модуляции и кодовыми скоростями).

Модулятор системы ISDB-T также содержит три тракта перемежения и отображения битов в модулированные символы. В каждом из трактов модуляции, соответствующих режимам работы с разными приоритетами, имеется, в свою очередь, по четыре перемежителя и формирователя для четырех возможных видов модуляции: DQPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM. Нужный режим работы обеспечивается коммутацией входных данных и выходных символов.

Сигнал системы ISDB-T состоит из 13 базовых сегментов OFDM, каждый из которых занимает полосу частот  $B/14$  МГц, где  $B$  - номинальная полоса частот канала. Таким образом, полная рабочая полоса частот системы ISDB-T равна  $13 \times B/14$  МГц, т. е. она примерно равна:

$$428,57 \times 13 \approx 5,57 \text{ МГц для канала вещания } 6 \text{ МГц};$$

$$500,0 \times 13 \approx 6,5 \text{ МГц для канала вещания } 7 \text{ МГц};$$

$$571,428 \times 13 \approx 7,43 \text{ МГц для канала вещания } 8 \text{ МГц}.$$

#### 1.5. Основные параметры тракта передачи сигналов в системах цифрового наземного ТВ вещания

Поскольку параметры передачи известных систем существенно зависят от номинальной полосы частот канала, то целесообразно сопоставить их варианты для каналов с некоторой нормированной полосой. Базовые

варианты систем разработаны применительно к каналу с полосой 6 МГц (США, Япония) и 8 МГц (Европа, Китай и другие страны). Параметры систем для этих двух полос приведены в таблице 1.2 и 1.3 соответственно.

Таблица 1.2. Параметры передачи систем ЦНТВ в канале 6 МГц.

Параметры	Значение для системы		
	ATSC	DVB-T	ISDB-T
1	2	3	4
Используемая полоса частот	5,38 МГц (-3 дБ)	5,74 МГц	5,575 МГц (режим 1) 5,573 МГц (режим 2) 5,572 МГц (режим 3)
Число излучаемых несущих	1	1705 (режим 2k) 6817 (режим 8k)	1405 (режим 1) 2809 (режим 2) 5617 (режим 3)
Число активных несущих	1	1512 (режим 2k) 6048 (режим 8k)	-
Методы модуляции	8-VSB	OFDM (QPSK, 16-QAM, 64-QAM, MR16-QAM, MR64-QAM)	Сегментированная OFDM (DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM)
Формирование спектра	Косинусное скругление, R=5,8 %	-	-
1	2	3	4
Длительность активного символа	92,9 нс	298,667 мкс (режим 2k) 1194,667 мкс (режим 8k)	252 мкс (режим 1) 504 мкс (режим 2) 1008 мкс (режим 3)
Разнос несущих	-	3348,214 Гц (режим 2k) 837,054 Гц (режим 8k)	3968 Гц (режим 1) 1984 Гц (режим 2) 992 Гц (режим 3)
Защитный интервал	-	1/4; 1/8; 1/16; 1/32 длительности активного символа	1/4; 1/8; 1/16; 1/32 длительности активного символа
			315; 283,5; 267,75;

Длительность полного символа	77,3 мкс (сегмент)	308,0; 317,3; 336,0; 373,3 мкс (режим 2k) 1232,0; 1269,3; 1344,0; 1493,3 мкс (режим 8k)	259,875 мкс (режим 1) 630; 567; 535,5; 519,75 мкс (режим 2) 1260; 1134; 1071; 1039,5 мкс (режим 3)
------------------------------	--------------------	--	--

1	2	3	4
Длительность передаваемого кадра	48,4 мкс	68 OFDM символов Один суперкадр состоит из 4 кадров	204 OFDM символа
Внутренний код канала	Trellis 2/3	Скорость сверточного кода: 1/2; 2/3; 4/5; 5/6; 7/8	Скорость сверточного кода: 1/2; 2/3; 3/4; 5/6; 7/8
Внутреннее перемежение	12 (независимо кодированные потоки с перемежением во времени)	Частотное перемежение	Временное и частотное перемежение
Внешний код канала	RS (207,187, t=10)	RS (204,188, t=8)	RS (204,188, t=8)
Внешнее перемежение	52 сегментное сверточное байтовое перемежение	Побайтовое сверточное перемежение, I=12	Побайтовое сверточное перемежение, I=12
Скорость полезных данных	19,392 Мбит/с	3,69 - 23,5 Мбит/с	3,651 - 23,235 Мбит/с
С/Ш в канале с АБГШ	14,9 дБ при вероятности ошибок $1,93 \times 10^{-4}$ на выходе транспортного декодера	3,1 дБ - 20,1 дБ при вероятности ошибок $2 \times 10^{-4}$ на выходе декодера Витерби (в зависимости от вида модуляции и скорости кода)	5,0 дБ - 23,0 дБ при вероятности ошибок $2 \times 10^{-4}$ на выходе декодера Витерби (в зависимости от вида модуляции и скорости кода)

Таблица 1.3. Параметры передачи систем ЦНТВ в канале 8 МГц.

Параметры	Значение для системы		
	ATSC	DVB-T	ISDB-T
1	2	3	4

Используемая полоса частот	7,00 МГц (-3 дБ)	7,608258 МГц (режим 2к) 7,611607 МГц (режим 8к)	7,434 МГц (режим 1) 7,431 МГц (режим 2) 7,430 МГц (режим 3)
Число излучаемых несущих	1	1705 (режим 2к) 6817 (режим 8к)	1405 (режим 1) 2809 (режим 2) 5617 (режим 3)
Число активных несущих	1	1512 (режим 2к) 6048 (режим 8к)	-
Методы модуляции	8-VSB	OFDM (QPSK, 16-QAM, 64-QAM, MR16-QAM, MR64-QAM)	Сегментированная OFDM (DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM)
Формирование спектра	Косинусное скругление, R=7,1 %	-	-
Длительность активного символа	71,4 нс	224 мкс (режим 2к) 896 мкс (режим 8к)	189 мкс (режим 1) 378 мкс (режим 2) 756 мкс (режим 3)

1	2	3	4
Разнос несущих	-	4464 кГц (режим 2к) 1116 кГц (режим 8к)	5291 Гц (режим 1) 2645 Гц (режим 2) 1322 Гц (режим 3)
Защитный интервал	-	1/4; 1/8; 1/16; 1/32 длительности активного символа	1/4; 1/8; 1/16; 1/32 длительности активного символа
Длительность полного символа	59,4 мкс (длительность сегмента, т.е. цикла из 832 символов)	231; 238; 252; 280 мкс (режим 2к) 924; 952; 1008; 1120 мкс (режим 8к)	236,250; 212,625; 200,813; 194,906 мкс (режим 1) 472,5; 425,25; 401,625; 389,813 мкс (режим 2) 945; 850,5; 803,25; 779,625 мкс (режим 3)

			3)
Длительность передаваемого кадра	37,2 мкс	68 OFDM символов Один суперкадр состоит из 4 кадров	204 OFDM символа
Внутренний код канала	Решетчатая сигнально-кодовая конструкция, скорость 2/3	Скорость сверточного кода: 1/2; 2/3; 3/4; 5/6; 7/8	Скорость сверточного кода: 1/2; 2/3; 3/4; 5/6; 7/8
Внутреннее перемежение	$I=12$ (независимо кодированные потоки с перемежением во времени)	Частотное перемежение	Временное и частотное перемежение
Внешний код канала	RS (207,187, $t=10$ )	RS (204,188, $t=8$ )	RS (204,188, $t=8$ )
Внешнее перемежение	52-сегментное сверточное байтовое перемежение	Побайтовое сверточное перемежение, $I=12$	Побайтовое сверточное перемежение, $I=12$
Скорость полезных данных	27,48 Мбит/с	4,98 - 31,67 Мбит/с	4,868 - 30,980 Мбит/с
С/Ш в канале с АБГШ	15,19 дБ при вероятности ошибок $1,93 \times 10^{-4}$ на выходе транспортного декодера	3,1 дБ - 20,1 дБ при вероятности ошибки $2 \times 10^{-4}$ на выходе декодера Витерби (в зависимости от вида модуляции и скорости кода)	6,2 дБ - 22,0 дБ при вероятности ошибки $2 \times 10^{-4}$ на выходе декодера Витерби (в зависимости от вида модуляции и скорости кода)

### 1.6. Сравнение систем наземного цифрового телевизионного вещания

Наибольшие различия между известными системами цифрового ТВ вещания связаны со структурой подсистемы адаптации к каналу наземного вещания, которая использует либо одночастотную, либо многочастотную схемы модуляции. Рассматриваемые системы являются объектом выбора в качестве стандартов стран, поэтому вполне понятен интерес, который они вызывают сами по себе и в сравнении друг с другом. При сравнении систем учитывают, что пока оно носит еще достаточно условный характер,

поскольку основывается на анализе воздействия различных искажений в различных эксплуатационных режимах при использовании приемников различных изготовителей.

Система ATSC для всех условий эксплуатации определена одним конкретным набором параметров. Система DVB-T может быть построена, исходя из требуемого сочетания параметров, выбираемых при проектировании сети вещания в зависимости от внешних условий как компромисс между устойчивостью системы и скоростью передачи. Поэтому при сравнении систем должно быть четко указано, какой вариант системы DVB-T является предметом рассмотрения. Соответственно, оценивая достоинства и недостатки систем, следует иметь в виду, что они относятся к конкретному варианту построения системы DVB-T, работающему в данных условиях. Оба стандарта используют систему компрессии MPEG-2, однако различаются структурой транспортного потока, методами модуляции и схемами кодирования каналов.

Каждая из сравниваемых систем имеет свои преимущества и недостатки. Анализ расчетных характеристик и данных лабораторных и полевых испытаний показывает, что система 8-VSB ATSC и максимально близкие к ней по скорости передачи варианты системы COFDM DVB-T с точки зрения радиотехнических показателей в целом отличаются мало, хотя при определенных условиях та или иная система может иметь некоторые преимущества.

В канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) обе схемы модуляции (8-VSB и OFDM) имеют близкие характеристики. Но в канале систем цифрового ТВ вещания действуют также импульсный шум, эхосигналы из-за многолучевого распространения, фединг и переходные помехи – в этих условиях имеют место различия.

Система 8-VSB ATSC более устойчива в канале с АБГШ, имеет более высокую спектральную эффективность, более низкое отношение пиковой мощности к средней. Она имеет сопоставимые с DVB-T характеристики при

низких уровнях эхо-сигналов и помех от аналогового телевидения в совмещенный канал цифрового телевидения. Поэтому система 8-VSB ATSC более выгодно в многочастотных сетях (MFN) и для предоставления служб ТВЧ в канале с полосой 6 МГц.

Система COFDM DVB-T имеет существенное преимущество в отношении переходных помех от цифрового канала в совмещенный аналоговый канал, но система 8-VSB ATSC лучше при действии помех типа цифра-цифра. Что касается соседних ТВ каналов, то обе системы демонстрируют одинаковую помехоустойчивость для всех видов передач. С другой стороны, система ATSC имеет лучшие характеристики помехоустойчивости для некоторых типов импульсного шума, а система DVB-T лучше работает в каналах, характеристики которых подвержены изменению во времени и в каналах со значительными статическими и динамическими искажениями из-за многолучевого распространения. Для системы DVB-T допустимы более высокие уровни эхо-сигналов (- 3 дБ, в некоторых случаях до 0 дБ) при их большой задержке (до 4,2 мкс).

При планировании ТВ вещания в расширенной зоне покрытия возможны два подхода: применение ретрансляторов совмещенного канала и построение одночастотных сетей (SFN). При использовании маломощных ретрансляторов, получающих сигнал по эфиру и излучающих на той же частоте, нет необходимости в их синхронизации по времени с основным передатчиком. При использовании SFN все ретрансляторы сети должны быть синхронизированы с основным передатчиком. Для подачи на них сигнала требуются параллельные распределительные тракты: спутниковые, волоконные или радиорелейные. Главная проблема SFN – активные эхо-сигналы, создаваемые соседними передатчиками сети. Так как системы COFDM более устойчивы по отношению к эхо-сигналам, то они лучше подходят для создания одночастотных сетей. Для построения SFN требуется выбирать достаточно большие защитные интервалы, значения которых пропорциональны расстоянию между соседними передатчиками. Чем больше

сеть, тем больше должны быть защитные интервалы, тем больше число несущих требуется иметь в системе, чтобы избежать заметного снижения пропускной способности.

Система COFDM DVB-T может быть выгодной для служб, предназначенных для построения больших SFN (в режиме излучения 8k) или для приема на подвижных средствах (в режиме излучения 2k).

Системы COFDM обладают повышенной гибкостью и масштабируемостью, что позволяет оптимально выбирать их параметры применительно к различным условиям вещания. В системе с одиночной несущей существует возможность выбора мощности канального кодирования, типа модуляции и формы сигнального созвездия. В системах COFDM к ним добавляются выбор длительности защитных интервалов, выбор числа несущих и групп несущих, а также исключение части несущих на тех частотных позициях, где максимален уровень переходных помех.

Основное различие систем ATSC и DVB-T с точки зрения эффективности использования радиоспектра заключается в том, что ATSC ориентирована на передачу в канале одной программы телевидения высокой четкости (ТВЧ), тогда как система DVB-T рассчитана на многопрограммное заполнение стандартного ТВ канала, что позволяет более эффективно (с точки зрения объема передаваемой информации) использовать полосы частот, выделенные для телевизионного вещания.

Значительным преимуществом системы DVB-T является то, что она в максимальной степени унифицирована с другими системами.

Выбор подходящей системы цифрового наземного ТВ вещания является важным этапом перехода от аналогового к цифровому вещанию. Этот процесс является предметом пристального внимания МСЭ-Р, где разрабатываются подходы, формализующие и облегчающие такой выбор. Окончательный выбор систем ЦНТВ с разными методами модуляции основывается на том, насколько хорошо эти системы могут соответствовать специфическим требованиям или приоритетам каждой страны, учитывать

также другие критические факторы не технического плана, такие, как географические и экономические аспекты, а также взаимосвязи с окружающими странами и регионами.

Первой страной, которая провела всесторонние сравнительные испытания систем цифрового наземного телевидения DVB-T и ATSC стала Австралия, результатом которого явился выбор DVB-T. Сингапур провел сравнительные испытания DVB-T, ATSC и ISDB-T и также выбрал DVB-T. Интересно, что стандарт ISDB-T не выдержал испытаний на движущемся автомобиле в туннеле. Страны ближнего зарубежья в выборе стандарта ЦТ последуют за Россией. Около 400 компаний телевещателей США отказываются вещать в стандарте ATSC и требуют принятия стандарта DVB-T как государственного.

На решение Австралии повлияло и то, что есть ряд полезных для практики вариантов работы системы вещания, в которых способна работать лишь система DVB. Прежде всего, это одночастотные сети. Примером может служить сеть малых передатчиков, располагающихся в зонах плохого приема сигнала основного передатчика и работающих на той же самой частоте, что и основной. Это и возможность осуществления иерархической модуляции. Иерархическая модуляция – это построение системы модуляции верхнего уровня как комбинации двух процессов модуляции нижнего уровня. Она позволяет осуществить одновременную передачу сигналов телевидения высокой четкости (верхний уровень) и стандартной четкости (нижний уровень), причем помехозащищенность системы стандартной четкости является более высокой. Программы телевидения высокой четкости принимаются на стационарную высококачественную антенну. Сигнал стандартного телевидения, обладающий большей помехозащищенностью, может приниматься на комнатную антенну или в движении. Более того, если сигнал телевидения высокой четкости претерпевает значительные искажения, например, из-за помех совмещенного канала, он может быть временно заменен сигналом телевидения стандартной четкости. Такая замена

позволяет уменьшить свойственный цифровой системе «пороговый» эффект, проявление которого заключается в том, что изображение цифрового телевидения или воспроизводится с высоким качеством или не воспроизводится совсем. Конечно, платой за это является некоторая потеря в качестве или уменьшение скорости цифрового потока уровня телевидения высокой четкости.

Австралия выбрала DVB, объявив одновременно о сохранении своей приверженности телевидению высокой четкости. Такое решение стало мощным импульсом к уточнению приложений DVB в сфере телевидения высокой четкости, которое пока не рассматривается большинством европейских стран в качестве близкой перспективы.

Основной целью проекта ATSC было создание системы цифрового телевидения высокой четкости. Американские специалисты утверждали, что ATSC – единственно правильный путь к телевидению высокой четкости, но выбор Австралией системы DVB для цифрового вещания с высокой четкостью делает эти утверждения не бесспорными. Решение Австралии может послужить импульсом для аналогичного выбора другими странами. Ведь многие страны не имеют достаточных ресурсов для проведения всесторонних испытаний. Поэтому они будут принимать стандарт на основе результатов уже проведенных испытаний, а также в соответствии с исторически сложившимися международными связями.

Среди всех систем наземного цифрового ТВ вещания наиболее динамично развивается система DVB-T. Этому способствует широкая стандартизация всех subsystem и технологий, которые находят применение не только сегодня, но и в перспективе с учетом прогресса других телекоммуникационных систем и изменения структуры и конъюнктуры рынка. Систему DVB-T из-за ее универсальности и многофункциональности уже приняли в качестве национального стандарта многие страны. Государственная Комиссия по Радиочастотам (ГКРЧ) Республики Узбекистан признала целесообразным принять за основу европейскую

систему цифрового телевидения DVB.

### Выводы

1. Применение цифровых методов в телевидении позволяет устранить многие недостатки аналоговых систем вещания, искажения сигналов при их формировании, обработке, передаче и приеме накапливающиеся с увеличением числа преобразований.

2. Эффективные методы сжатия данных и цифровой модуляции позволяют по одному каналу вместо традиционной передачи сигнала одной ТВ программы, передавать сигналы нескольких вещательных программ, включая ряд дополнительной информации.

3. Внедрение наземного цифрового телевизионного и звукового вещания позволяет внедрение дополнительные платные программы, например кинофильмов и спортивных передач, без спутниковой антенны.

## Глава 2. Подходы к реализации IPTV.

Технология интерактивного телевидения неплохо известна большинству специалистов в области связи. Однако сейчас немало вопросов возникает о принципах взаимодействия абонентской приставки с сервером. Какие бывают варианты отображения пользовательского интерфейса на экране телевизора и чем отличаются эти варианты? На просторах «рунета» этот вопрос обделен вниманием. Существуют два основных, совершенно разных подхода реализации системы. Первый основан на web-технологиях. В таком случае на приставке работает браузер, предлагаемый (за отдельную плату) заводом – изготовителем приставки. Он отображает генерируемую сервером web-страницу пользовательского интерфейса. Средства взаимодействия с плеером – java script. Второй подход заключается в том, что с приставки удаляется заводской софт, устанавливается операционная система, под которой графический интерфейс управления интерактивным ТВ – это уже отдельное, самостоятельное нативное приложение. Рассмотрим эти два подхода подробнее, разберемся в плюсах и минусах каждого из них.

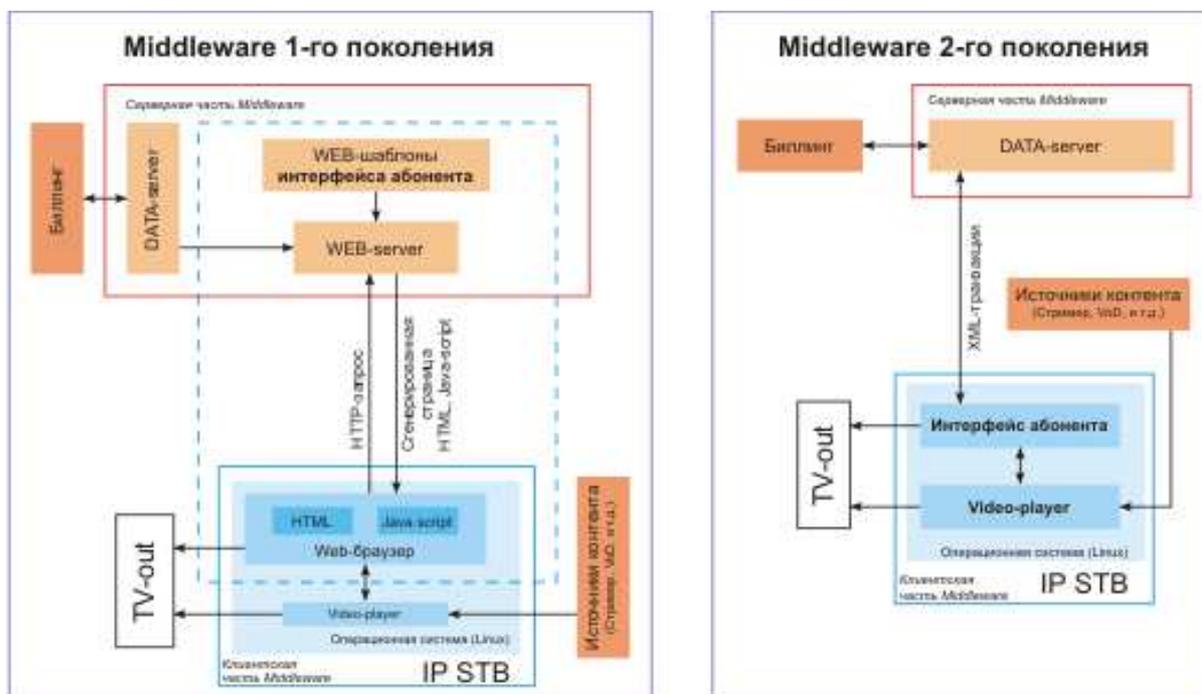


Рис.2.1. Подходы реализации системы IPTV.

## *2.1. Middleware на web-технологиях. Первое поколение*

Графический интерфейс абонента в такой реализации представляет собой набор web-шаблонов. Они хранятся на сервере и передаются на клиентскую приставку при каждом запросе каждого абонента. На клиентской приставке запущен браузер, с помощью которого и отображается необходимая web-страница. Будь то список ТВ-каналов, страница услуги VoD или информация о балансе – для каждой страницы необходим свой web-шаблон.

Считается, что разработать и модифицировать такой интерфейс сравнительно просто. Но на практике возникает множество проблем, сводящих к минимуму достоинства. Ниже перечислены основные недостатки.

1. Несовместимость разных приставок внутри одной сети. Это происходит из-за того, что в разных приставках установлены разные браузеры. А каждый браузер по-разному отображает одну и ту же страницу. У каждого браузера свой API для Java Script. Таким образом, web-интерфейс путем сложных манипуляций «подгоняется» под требования какого-либо конкретного браузера.
2. Невысокая скорость отображения интерфейса. Возникает из-за излишне длинной цепочки получения конечного результата. Запрос от абонента поступает на сервер. Сервер генерирует необходимую web-страницу. После чего она скачивается и обрабатывается браузером. При нагруженной сети эти задержки могут увеличиваться. Стоит учесть, что и сам браузер является неэффективным потребителем системных ресурсов приставки, что затормаживает работу интерфейса в целом.
3. Излишняя загруженность серверной части. Необходимость предоставлять для каждого пользователя свою страничку значительно нагружает сервер системы Middleware.

При таком подходе оператор в итоге получает систему, которую будет очень сложно модифицировать. Технологии не стоят на месте, на рынке постоянно появляются новые качественные ТВ-приставки по заманчивым ценам. Но использовать эти новинки в системе Middleware первого поколения, скорее всего, не получится. У абонента же – сомнительной скорости и функциональности интерфейс, работа с которым может вызвать вопросы о целесообразности всего интерактивного телевидения в принципе.

## *2.2. Middleware с низкоуровневой интеграцией приставок. Второе поколение.*

Одной из первых в России перешла к использованию нативных приложений (толстый клиент) для построения системы Middleware компания «НетАП». Для низкоуровневой интеграции приставок в IPTV-комплекс требуются партнерские отношения с производителями телевизионных приставок. Так как именно SDK от производителя позволяет использовать ресурсы STB максимально корректно и наиболее полно.

В Middleware второго поколения задача формирования графического интерфейса полностью переложена на клиентскую часть системы. На STB устанавливается операционная система Linux, под управлением которой работает специальное приложение, являющееся самостоятельным интерфейсом пользователя. То есть вся графика, все подпрограммы, модули и плагины находятся и исполняются на самой приставке, не обращаясь без необходимости к серверу.

Это позволяет не только разгрузить сервер, но предоставить еще ряд других значительных преимуществ:

1. Можно использовать в одной сети разные приставки. Это стало возможно благодаря тому, что одно и то же приложение интерфейса собирается для каждой конкретной приставки, используя SDK от производителя. А протокол взаимодействия между сервером и клиентом един для всех типов приставок. Любая новая приставка

может быть подключена к сети сразу же, как только для нее будет собрана своя прошивка.

2. Быстрота работы. Если нет необходимости подгружать недостающую графику и обрабатывать разнообразные скрипты, то нет и задержек при «перелистывании» страниц доступа к разнообразным услугам.
3. Автономность. В случае сбоя серверного оборудования системы Middleware абонент сможет продолжать получать медиа-контент в течение всего оплаченного срока подписки на услуги.
4. Отсутствуют ограничения визуализации и функциональности. Любая задумка может быть воплощена без особых проблем. Если нет браузера и шаблонов web-страниц, значит, нет и никаких ограничений в реализации графики или функционала.
5. Автоматическое обновление прошивок. Если возникает желание внедрить в IPTV-комплекс новый сервис, то следует только запустить автоматическое обновление софта на клиентской приставке. Новые ресурсы станут доступны всем.

Таким образом, при использовании системы Middleware второго поколения оператор связи получает решение с неограниченными возможностями. Новые приставки и новые сервисы могут быть введены в эксплуатацию без остановки всего комплекса IPTV. Абонент же оценит быстроту работы графического интерфейса и простоту добавления новых сервисов.

### 2.3. Основные протоколы IPTV.

Для передачи потокового видео используются ряд сетевых протоколов, из которых важнейшими являются протокол RTSP и протокол IGMP.

RTSP (Real-Time Streaming Protocol) - это протокол, с возможностью контролируемой передачи видео-потока в интернете. Протокол обеспечивает пересылку информации в виде пакетов между сервером и клиентом. При

этом получатель может одновременно воспроизводить первый пакет данных, декодировать второй и получать третий.

Протокол из этой же группы RTTP (Real-time transport protocol) определяет и компенсирует потерянные пакеты, обеспечивает безопасность передачи контента и распознавание информации. Вместе с RTP работает протокол RTCP (Real-Time Control Protocol). Он отвечает за проверку идентичности отправленных и полученных пакетов, идентифицирует отправителя и контролирует загруженность сети.

Для присоединения к сети или выхода из группы рассылки используется стандартный протокол IGMP (Internet Group Membership Protocol).

Сформированный IPTV головной станцией поток телевизионных каналов представляет собой поток IP-пакетов, передаваемых в сети по отдельному групповому IP-адресу, соответствующему данному телеканалу. Таким образом, вещание нескольких каналов представляет собой формирование нескольких потоков multicast-трафика, когда каждый из каналов однозначно определяется уникальным адресом групповой рассылки.

При использовании MPEG-2 как наиболее распространенного формата цифрового сжатия видео-данных, каждый телевизионный канал занимает в IP-сети от 3,5 до 6 Мбит/с. Сеть оператора загружается телевизионным каналом только в том случае, если имеется подписчик на этот канал, который выбрал его для просмотра, то есть запросил его просмотр в данный момент. Передача выбранного абонентом IP-сети телевизионного канала реализуется на базе технологии IP - multicast или для случая просмотра видео по заказу на базе IP – unicast.

Для обеспечения минимальных задержек и гарантированной скорости передачи видеоданных в IP-сети используется поддержка Quality of Service (QoS), для чего может использоваться, например, известный протокол RSRP (Resource Reservation Protocol), который обеспечивает резервирование необходимой ширины полосы в канале. Используется предоставление

маршрутизаторам сети общих характеристики трафика (например, скорость передачи данных, вариабельность). Маршрутизаторы сводят затем воедино запросы на выделение ресурсов на общих участках маршрутов движения видеотрафика. Протокол активно используется маршрутизаторами фирмы Cisco.

### 2.3.1. IGMP: протокол управления группами Internet

В этом пункте диссертационной работе приводится общее описание групповой адресации IP и описывается, как IP адреса класса D преобразуются в Ethernet адреса. Мы кратко упомянули, как осуществляется групповая рассылка в сети, состоящей из одного физического кабеля, однако отложили на потом рассмотрение вопроса, что происходит при групповой адресации в нескольких сетях и каким образом групповые датаграммы проходят через маршрутизаторы.

В этой главе мы рассмотрим протокол управления группами Internet (IGMP - Internet Group Management Protocol), который используется хостами и маршрутизаторами, для того чтобы поддерживать групповую рассылку сообщений. Он позволяет всем системам физической сети знать, какие хосты в настоящее время объединены в группы и к каким группам они принадлежат. Эта информация необходима для групповых маршрутизаторов, именно так они узнают, какие групповые датаграммы необходимо перенаправлять и на какие интерфейсы. IGMP определен в RFC 1112 [Deering 1989].

Как и ICMP, IGMP является частью IP уровня. Так же как ICMP, IGMP сообщения передаются в IP датаграммах. В отличие от других протоколов, которые мы уже рассмотрели, IGMP имеет сообщение фиксированного размера, без необязательных данных. На рисунке 13.1 показана инкапсуляция IGMP сообщения в IP датаграмму.

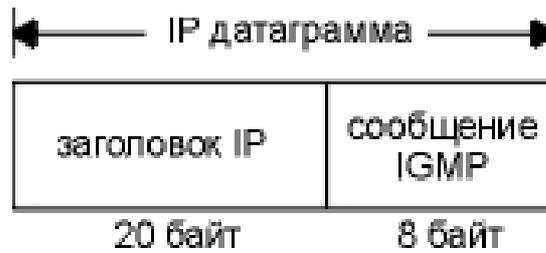


Рис.2.2. Инкапсуляция IGMP сообщения в IP датаграмму.

На то, что в IP датаграмме находится IGMP сообщение, указывает величина в поле протокола равная 2.

На рис.2.3. показан формат 8-байтового IGMP сообщения.

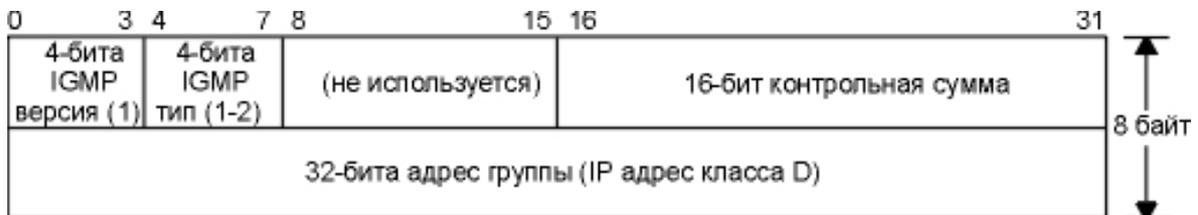


Рис.2.3. Формат полей IGMP сообщения.

Поле версии IGMP (IGMP version) установлено в 1. Поле тип IGMP (IGMP type) устанавливается в 1 для запроса, посылаемого групповым маршрутизатором, и в 2 для ответа, отправляемого хостом. Контрольная сумма (checksum) рассчитывается так же, как контрольная сумма ICMP.

Групповой адрес (group address) это IP адрес класса D.. В запросе поле группового адреса устанавливается в 0. В отчете оно содержит групповой адрес. Мы расскажем более подробно об этом в следующих разделах, когда будем говорить о том, как функционирует IGMP.

Фундаментальной концепцией для работы группы является то, что процесс вступает в группу с определенным интерфейсом хоста. (Мы используем термин процесс, который обозначает программу, которая запущена операционной системой.) Членство в группе динамическое - со временем процесс может как вступить, так и выйти из группы.

Естественно, процесс должен иметь возможность вступить в группу с указанным интерфейсом. Процесс также может покинуть группу, в которую он до этого вступил. Для вступления в группу и выхода из группы требуется, чтобы какой-либо API на хосте поддерживал групповую рассылку. Мы используем выражение "интерфейс", потому что членство в группе связано с интерфейсом. Процесс может вступить в одну и ту же группу с разных интерфейсов.

Релиз IP, поддерживающий групповую рассылку в Berkeley Unix Стэнфордского университета, детализирует эти изменения сокетов API. Эти изменения также присутствуют в Solaris 2.x и описаны в страницах помощи ip(7).

Поэтому идентификатор хоста в группе это адрес группы и интерфейс. Хост должен помнить таблицу всех групп, к которым принадлежит хотя бы один процесс, и счетчик обращений, то есть количество процессов, принадлежащих к группе.

*IGMP запросы и отчеты.* IGMP сообщения используются групповыми маршрутизаторами, чтобы поддерживать членство в группах для каждой сети, физически подключенной к маршрутизатору. Существуют следующие правила.

1. Хост отправляет первый IGMP отчет, когда первый процесс вступает в группу. Если несколько процессов на данном хосте вступили в одну и ту же группу, отправляется только один отчет, в тот момент, когда процесс первый раз вступил в группу. Отчет посылается на тот же интерфейс, с которым процесс вступил в группу.
2. Хост не посылает отчет, когда процесс выходит из группы, даже когда последний процесс вышел из группы. Хост знает, что в этой группе больше нет членов, поэтому когда он получает следующий запрос (следующий шаг), он не отправляет отчет.
3. Групповой маршрутизатор отправляет IGMP запрос с регулярными интервалами, чтобы выяснить, принадлежат ли процессы каких-либо

хостов к каким-либо группам. Маршрутизатор посылает один запрос на каждый интерфейс. Групповой адрес в запросе установлен в 0, так как маршрутизатор ожидает приход одного отклика от хоста для каждой группы, к которой от хоста принадлежит один или несколько членов.

4. Хост отвечает на IGMP запрос посылкой одного IGMP отчета для каждой группы, которая содержит хотя бы один процесс.

С использованием этих запросов и отчетов групповой маршрутизатор поддерживает таблицу, содержащую информацию о том, на каком из его интерфейсов имеется один или несколько хостов в группе. Когда маршрутизатор получает групповую датаграмму, которую необходимо перенаправить, он перенаправляет ее (с использованием соответствующего группового адреса канального уровня) только на тот интерфейс, на котором до сих пор есть хосты, процессы которых принадлежат к этой группе.

На рисунке 13.3 показаны два типа IGMP сообщений, отчеты, отправленные хостом, и запросы, отправленные маршрутизатором. Маршрутизатор опрашивает каждый хост, чтобы тот идентифицировал каждую группу для данного интерфейса.

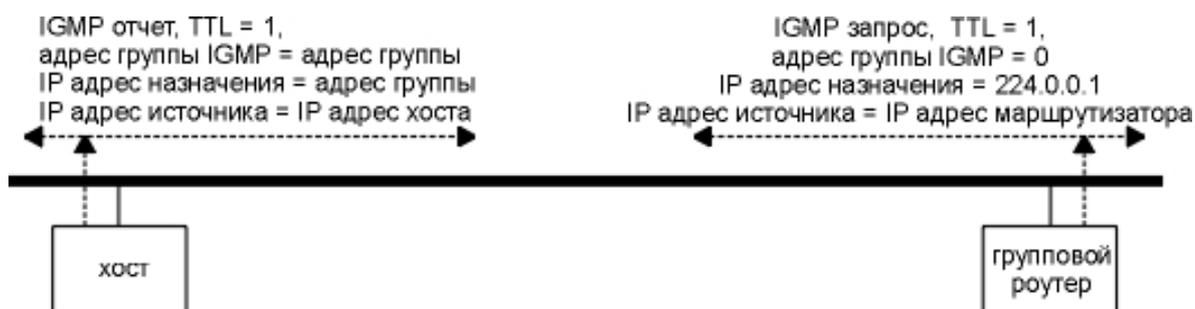


Рис.2.4. IGMP отчеты и запросы.

*Детали реализации.* В протоколе существуют некоторые аспекты, которые улучшают его производительность. Во-первых, когда хост посылает исходный IGMP отчет (когда первый процесс вступил в группу), не существует гарантии, что этот отчет будет доставлен (так как используется

средство доставки IP). Позже отправляется еще один отчет. Время, когда будет отправлен следующий отчет, выбирается хостом случайным образом, причем значение времени находится в диапазоне от 0 до 10 секунд.

Когда хост получает запрос от маршрутизатора, он не отвечает сразу же, а откладывает ответы на более позднее время. (Мы используем множественное число "ответы", потому что хост должен послать один отчет для каждой группы, которая содержит одного или несколько членов.) Так как несколько хостов могут отправить отчет для одной и той же группы, каждый отправляет свой отчет с задержкой, выбранной случайным образом. Также обратите внимание на то, что все хосты подключенные к одной физической сети получают все отчеты от других хостов, находящихся в той же группе, потому что адрес назначения отчета (см. рисунок 2.4) - это групповой адрес.

А это, в свою очередь, означает, что если хост отложил момент отправки отчета, однако получил копию того же самого отчета от другого хоста, ответ может быть отменен. Это объясняется тем, что групповому маршрутизатору нет необходимости знать, сколько хостов принадлежит к группе - ему достаточно знать, что по крайней мере один хост принадлежит к группе.

На одном физическом кабеле без групповых маршрутизаторов, трафик, принадлежащий IGMP, - это отчеты, которые отправляются хостами, поддерживающими групповую адресацию IP, когда они вступают в новую группу.

*Поле времени жизни.* На рисунке 2.4 мы видели, что поле TTL в отчете и запросе установлено в 1. Это напоминает обычное TTL поле в IP заголовке. Групповая датаграмма с TTL исходно равным 0 не "уйдет" дальше своего хоста. По умолчанию групповые датаграммы рассылаются с TTL равным 1. Это позволяет датаграммам распространяться только в своей подсети. Значение TTL больше единицы может быть установлено групповым маршрутизатором.

ICMP ошибка никогда не генерируется в ответ на датаграмму, направляемую на групповой адрес. Групповые маршрутизаторы не генерируют ICMP ошибку "время истекло" (time exceeded), когда значение TTL становится равным 0.

Обычно, пользовательский процесс не заботится о значении исходящего TTL. Одно исключение, пожалуй, программа, принцип работы которой основан как раз на изменении значения поля TTL. Однако, приложения, которые работают с групповой адресацией, должны иметь возможность установить исходящее поле TTL. Это означает, что программный интерфейс должен предоставлять эту возможность пользовательским процессам.

Путем увеличения TTL приложение может осуществить расширенный поиск (expanding ring search) конкретного сервера. В этом случае первая групповая датаграмма посылается с TTL равным 1, если ответ не получен, посылается датаграмма с TTL равным 2, затем 3 и так далее. В этом случае приложение определяет положение ближайшего сервера в количествах пересылок.

Специальный диапазон адресов 224.0.0.0 - 224.0.0.255 отводится для приложений, которые не будут рассылать групповые запросы дальше чем на одну пересылку. Групповые маршрутизаторы не должны перенаправлять датаграммы с такими адресами назначения, вне зависимости от TTL.

*Группа всех хостов (All-Hosts).* На рисунке 2.4. видно, что IGMP запрос от маршрутизатора отправляется на IP адрес назначения 224.0.0.1. Этот адрес называется адресом группы всех хостов (all-hosts). Он имеет отношение ко всем хостам и маршрутизаторам подключенным к физической сети и поддерживающим групповую адресацию. Каждый хост автоматически вступает в эту группу со всеми интерфейсами, которые поддерживают групповую адресацию, при инициализации интерфейса. О членстве в этой группе никогда не сообщается (рассылкой отчетов).

## 2.4. Настройка IGMP в локальной сети для контроля широковещательных IPTV потоков с использованием Cisco Catalyst 3550-12T. Настройка IGMP snooping и IGMP querier

В пункте "Настройка IGMP в локальной сети для контроля широковещательных IPTV потоков" нами были рассмотрены основные принципы работы IGMP snooping в случае когда коммутатор и IGMP querier разнесены на разные устройства. В этой подглавы будет описана схема с использованием устройства Cisco Catalyst 3550-12T, которое совмещает в себе функции и коммутатора, и IGMP querier. Коммутатор Catalyst 3550-12T имеет на борту 10 портов Gigabit Ethernet (витая пара), а так же два порта под модули GBIC. Пиковая производительность составляет 17 млн. пакетов в секунду, что позволяет передавать данные на скорости 24 Гбит/сек.

### 2.4.1. Настройка IGMP snooping и IGMP querier.

На коммутаторе необходимо иметь сконфигурированный IP-адрес на интерфейсе Vlan 1:

```
!  
interface Vlan1  
ip address 10.1.2.247 255.255.0.0  
!
```

Включение функции IGMP snooping производится командой (в режиме глобального конфигурирования):

```
ip igmp snooping
```

Включение функции IGMP querier производится командой (в режиме глобального конфигурирования):

```
ip igmp snooping querier
```

На базе Cisco Catalyst 3550-12T ( C3550-IPSERVICESK9-M, Version 12.2(40)SE ) и NetUP DVB-IP стримера можно создать стенд которая общая схема сети представлена на рисунке 1. В качестве абонентского оборудования используется персональный компьютер с медипроигрывателем vlc, а так же телевизионная приставка Aminet 130.

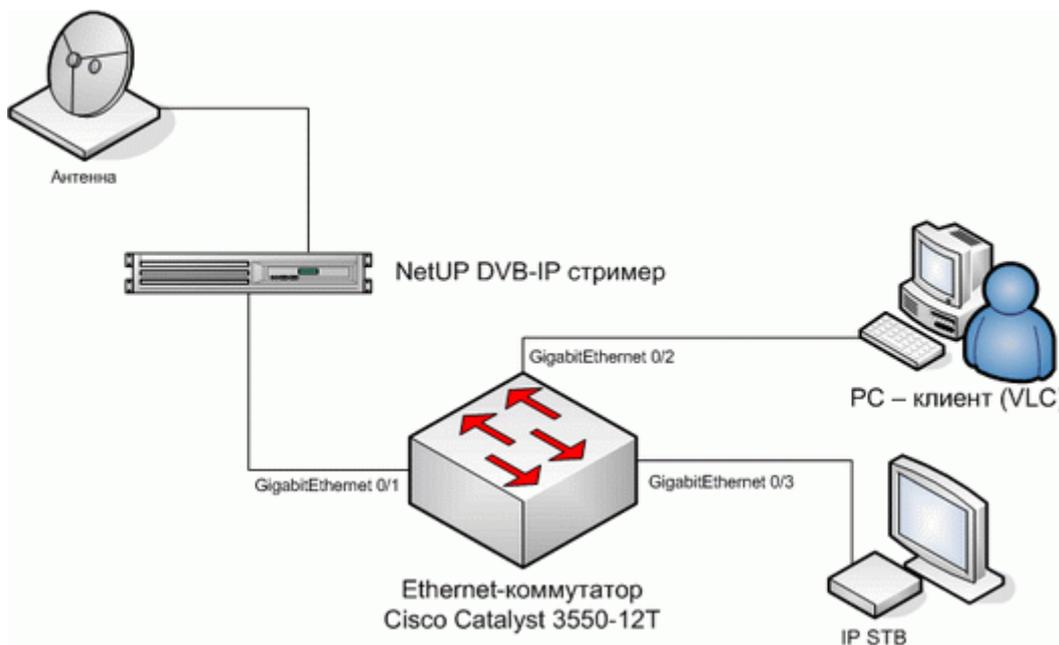


Рис.2.6. Общая схема тестового стенда.

На коммутаторе были включены функции IGMP snooping и IGMP querier как описано выше. Для проверки можно выполнить следующие команды (команды приведены с выводом):

```
c3550#show ip igmp snooping querier
```

```
Vlan  IP Address  IGMP Version  Port
```

```
-----
1     10.1.2.247   v2            Switch
```

```
c3550#show ip igmp snooping groups
```

```
Vlan  Group          Version  Port List
```

```
-----
```

Как видно коммутатор выполняет функции IGMP querier. В списке групп (groups) нет ни одной группы т.к. ни один из абонентов не запросил широковещательный поток. В этом случае средняя скорость передачи данных на порту абонента будет равна 0 Мбит/сек. Для проверки можно выполнить команду:

```
c3550#show interfaces GigabitEthernet 0/2 | include 5 minute
5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
```

При этом на порту NetUP DVB-IP стримера мы видим передающиеся данные на скорости порядка 110-120 Мбит/сек (настроено полное открытие 4х транспондеров, что составляет примерно 50 ТВ каналов):

```
c3550#show interfaces GigabitEthernet 0/1 | include 5 minute
5 minute input rate 125753000 bits/sec, 11558 packets/sec
5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
```

Именно благодаря работе IGMP snooping в абонентский порт не поступают широковещательные пакеты. В случае если абонент запросит какой-либо ТВ канал в его порт будут копироваться только те широковещательные пакеты, которые относятся к этому ТВ каналу. Для проверки выполним запрос ТВ канала на абонентском устройстве:

```
vlc udp://@226.2.0.5:1234
```

На экране абонентского устройства будет отображаться запрошенный ТВ канал. При этом на коммутаторе в списке групп мы увидим новую запись:

```
c3550#show ip igmp snooping groups
Vlan   Group          Version  Port List
-----
1      226.2.0.5      v2      Gi0/2
```

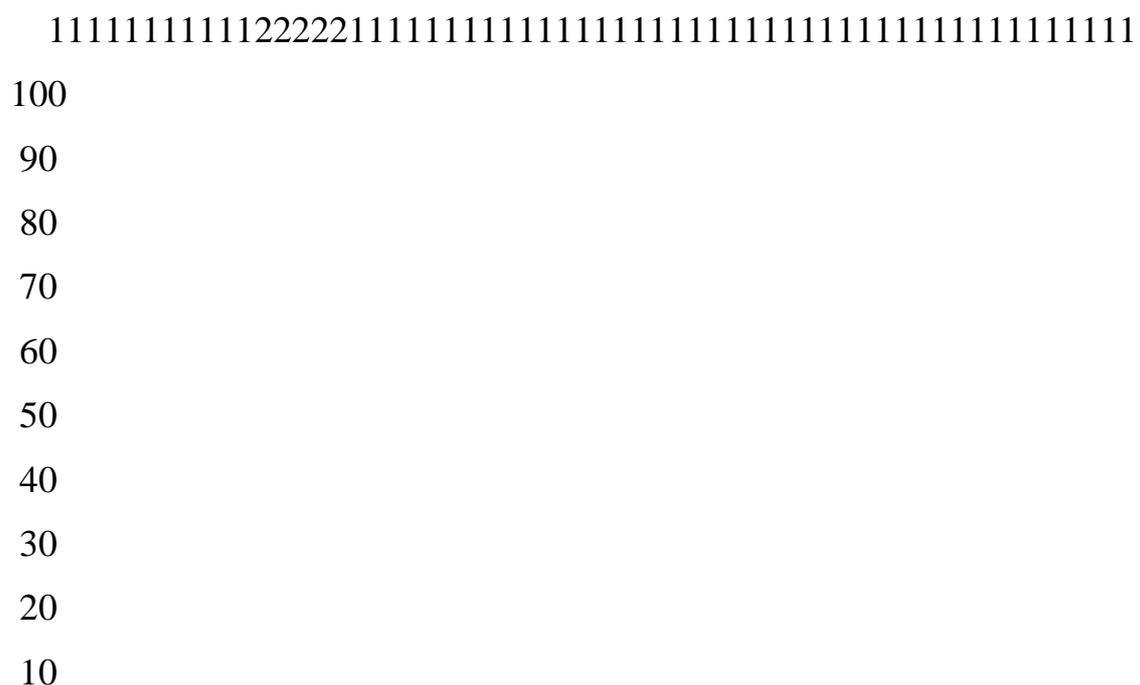
Как видно из этой записи коммутатор производит копирование широковещательных пакетов для группы 226.2.0.5 в абонентский порт (Gi0/2). Для проверки можно посмотреть скорость передачи данных в абонентский порт:

```
c3550#show interfaces GigabitEthernet 0/2 | include 5 minute
5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
5 minute output rate 3300000 bits/sec, 304 packets/sec
```

Как видно в абонентский порт передается только один ТВ канал со скоростью примерно 3 Мбит/сек. Благодаря такому поведению коммутатора мы избегаем перегрузки абонентского устройства нежелательными широковещательными пакетами.

При этом стоит отметить практически нулевую загрузку CPU на коммутаторе. Скорее всего работа с широковещательными пакетами производится на аппаратном уровне.

```
c3550#show processes cpu history
```



0....5....1....1....2....2....3....3....4....4....5....5....

0 5 0 5 0 5 0 5 0 5

CPU% per second (last 60 seconds)

Согласно документу "IPv4 Multicast Unusable Group And Source Addresses" не рекомендуется использовать определенные диапазоны широковещательных IPv4 адресов. Например, таким диапазоном является подсеть 226.0.0.0 - 226.0.0.255. Коммутатор Cisco Catalyst 3550-12T производит рассылку таких пакетов во все порты не зависимо от того, запрашивал получатель их или нет.

#### 2.4.2. Передача Unicast, Broadcast и Multicast трафика.

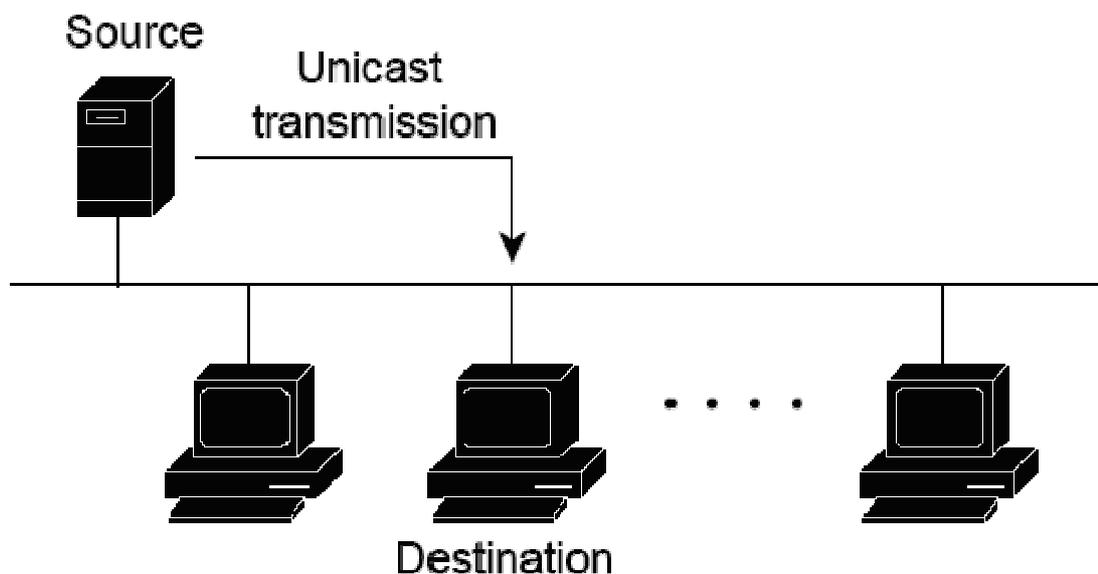
Существует три основных метода передачи трафика в IP-сетях, это - Unicast, Broadcast и Multicast.

Понимание разницы между этими методами является очень важным для понимания преимуществ IP-телевидения и для практической организации трансляции видео в IP-сети.

Каждый из этих трех методов передачи использует различные типы назначения IP-адресов в соответствии с их задачами и имеется большая разница в степени их влияния на объем потребляемого трафика.

Unicast трафик (одноцелевая передача пакетов) используется прежде всего для сервисов «персонального» характера. Каждый абонент может запросить персональный видео-контент в произвольное, удобное ему время.

Unicast трафик направляется из одного источника к одному IP-адресу назначения. Этот адрес принадлежит в сети только одному единственному компьютеру или абонентскому STB как показано на рисунке ниже.

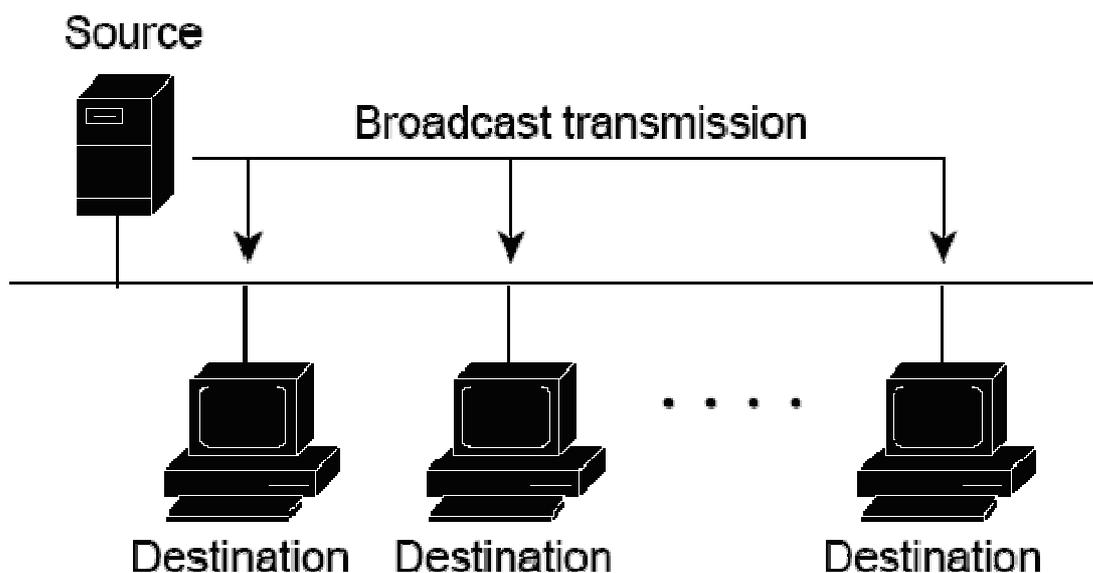


Число абонентов, которые могут получать unicast трафик одновременно, ограничено доступной в магистральной части сети шириной потока (скоростью потока). Для случая Gigabit Ethernet сети теоретическая максимальная ширина потока данных может приближаться к 1 Гб/сек за вычетом полосы, необходимой для передачи служебной информации и технологических запасов оборудования. Предположим, что в магистральной части сети мы можем для примера выделить не более половины полосы для сервисов, которым требуется unicast трафик. Легко подсчитать для случая 5Мб/сек на телевизионный канал MPEG2, что число одновременно получающих unicast трафик абонентов не может превышать 100.

Broadcast трафик (широковещательная передача пакетов) использует специальный IP-адрес, чтобы посылать один и тот же поток данных ко всем абонентам данной IP-сети. Например, такой IP-адрес может оканчиваться на 255, например 192.0.2.255, или иметь 255 во всех четырех полях (255.255.255.255).

Важно знать, что broadcast трафик принимается всеми включенными компьютерами (или STB) в сети независимо от желания пользователя. По этой причине этот вид передачи используется в основном для служебной информации сетевого уровня или для передачи другой исключительно узкополосной информации. Разумеется, для передачи видео-данных broadcast

трафик не используется. Пример передачи broadcast трафика показан на рисунке ниже.



Multicast трафик (групповая передача пакетов) используется для передачи потокового видео, когда необходимо доставить видео-контент неограниченному числу абонентов, не перегружая сеть. Это наиболее часто используемый тип передачи данных в IPTV сетях, когда одну и ту же программу смотрят большое число абонентов.

Multicast трафик использует специальный класс IP-адресов назначения, например адреса в диапазоне 224.0.0.0 ..... 239.255.255.255. Это могут быть IP-адреса класса D.

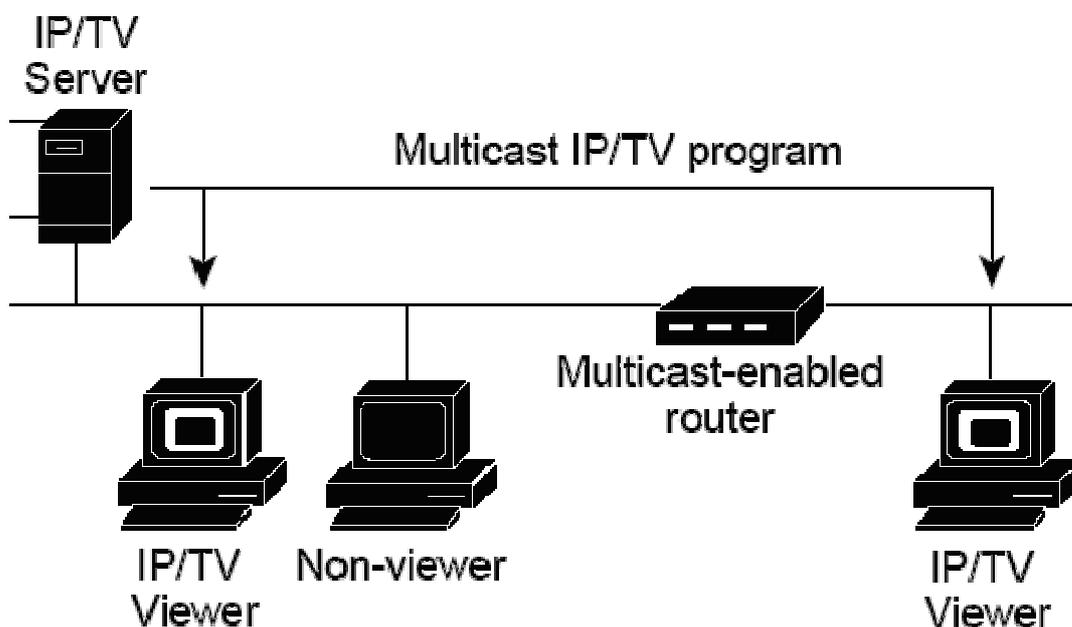
В отличие от unicast трафика, multicast адреса не могут быть назначены индивидуальным компьютерам (или STB). Когда данные посылаются по одному из multicast IP-адресов, потенциальный приемник данных может принять решение принимать или не принимать их, то есть будет абонент смотреть этот канал или нет. Такой способ передачи означает, что головное оборудование IPTV оператора будет передавать один единственный поток данных по многим адресам назначения. В отличие от случая broadcast передачи, за абонентом остается выбор - принимать данные или нет.

Важно знать, что для реализации multicast передачи в IP-сети должны быть маршрутизаторы, поддерживающие multicast. Маршрутизаторы

используют протокол IGMP для отслеживания текущего состояния групп рассылки (а именно, членство в той или иной группе того или иного конечного узла сети).

Основные правила работы протокола IGMP следующие:

- конечный узел сети посылает пакет IGMP типа report для обеспечения запуска процесса подключения к группе рассылки;
- узел не посылает никаких дополнительных пакетов при отключении от группы рассылки;
- маршрутизатор m ulticast через определенные временные интервалы посылает в сеть запросы IGMP. Эти запросы позволяют определить текущее состояние групп рассылки;
- узел посылает ответный пакет IGMP для каждой группы рассылки до тех пор, пока имеется хотя бы один клиент данной группы.



Загрузка магистральной части сети multicast трафиком зависит только от числа транслируемых в сети каналов. В ситуации с Gigabit Ethernet сетью, предположив, что половину магистрального трафика мы можем выделить под multicast передачу, мы получаем около 100 телевизионных MPEG-2 каналов, каждый имеющий скорость потока данных 5 Мб/сек.

Разумеется, в IPTV сети присутствуют одновременно все 3 вида трафика broadcast, multicast и unicast. Оператор, планируя оптимальную величину пропускной способности сети, должен учитывать разный механизм влияния разных технологий IP- адресации на объем трафика. Например, оператор должен ясно представлять себе, что предоставление услуги «видео на заказ» большому числу абонентов требует очень высокой пропускной способности магистральной сети. Одним из решений этой проблемы является децентрализация в сети видео-серверов. В этом случае центральный видео-сервер заменяется на несколько локальных серверов, разнесенных между собой и приближенных к периферийным сегментам многоуровневой иерархической архитектуры IP-сети.

## 2.5. Услуги IPTV.

Услуга «Почти видео по заказу» или, что намного лучше звучит с маркетинговой точки зрения, «виртуальный кинотеатр» (Near Video on Demand) - это трансляция фильмов с видеосервера оператора с жестко определенным расписанием сеансов, когда абонент покупает удобный ему по времени сеанс для просмотра фильма. Неудобство для абонента состоит в том, что он не может начать просмотр фильма в любой произвольный момент времени. Преимуществом для оператора является использование обычной технологии IP-multicast, которая очень сильно экономит объем трафика в магистральной сети оператора. Подробнее о технологии IP-multicast будет рассказано далее. Для снижения объемов трафика, оператор предоставляет возможность просмотра не очень большого количества фильмов, обычно количество фильмов в «виртуальном кинотеатре» не превышает двух-трех десятков, как правило, это новые фильмы, недавно вышедшие в прокат.

Услуга «Видео на заказ» (Video on Demand) – фильм с видеосервера оператора персонально транслируется абоненту в любой произвольно выбранный абонентом момент времени. В отличие от услуги «виртуальный кинотеатр» количество фильмов здесь намного больше и может достигать

иногда несколько тысяч. Появляется ряд очень удобных пользовательских функций виртуального видеоплеера – перемотка назад, вперед, пауза. В данном случае объем трафика здесь зависит не от количества фильмов, а от количества пользователей этой услуги, так как используется «персональная» трансляция видеоданных абоненту по технологии IP-адресации «unicast». Подробнее об адресации unicast так же будет рассказано далее.

Услуга «Персональный видеомаягнитофон» (Personal Video Recorder) - на видеосервере оператора абоненту выделяется определенный объем памяти и предоставляется интерфейс с аналогичными видеомаягнитофону функциями для цифровой записи и воспроизведения телепередач. Абонент может по своему желанию записывать, стирать, воспроизводить, перематывать свои личные записи. Здесь также используется технология IP-unicast.

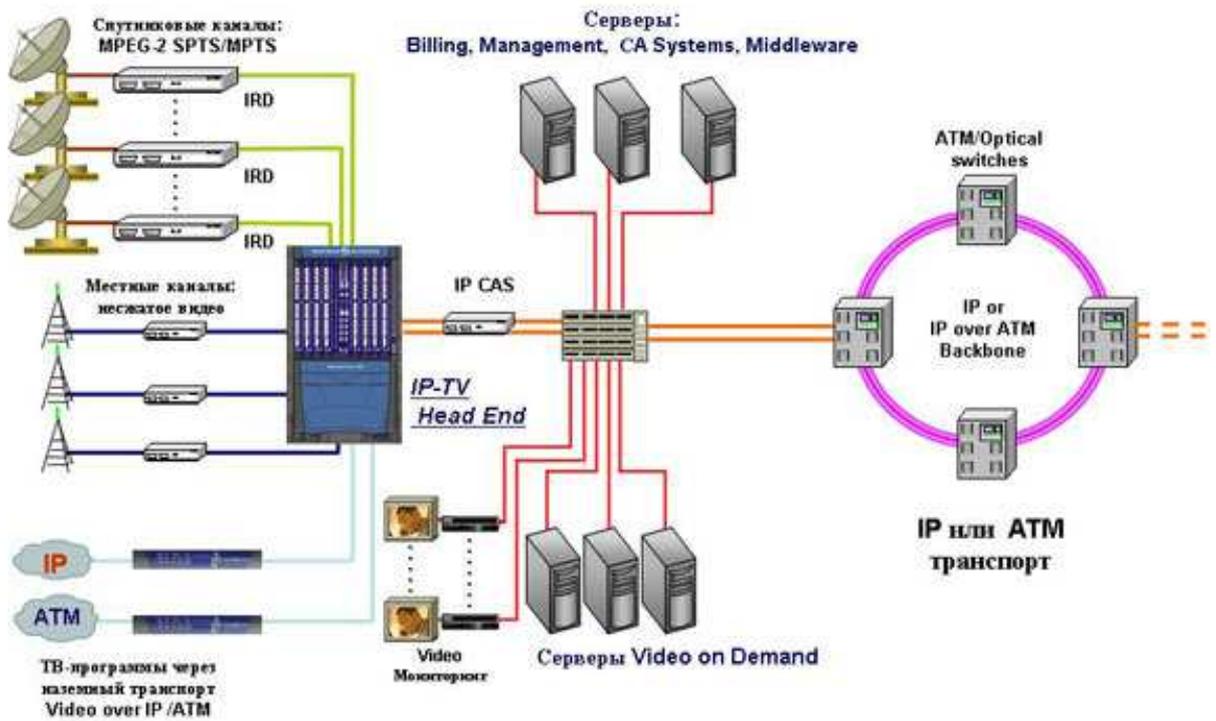
Услуга «Платный просмотр» (Pay per View) – покупка и просмотр абонентом отдельно выбранных программ (например, финал чемпионата мира по футболу). Трансляция ведется в режиме реального времени и используется технология IP-multicast.

Услуга «Телевидение со сдвигом по времени» (Time Shifted TV) – абонент покупает услугу просмотра заранее записанных на видеосервере программ. Услуга и реализуемые в ней сервисные функции близки к «видео по заказу». Также используется технология IP-unicast.

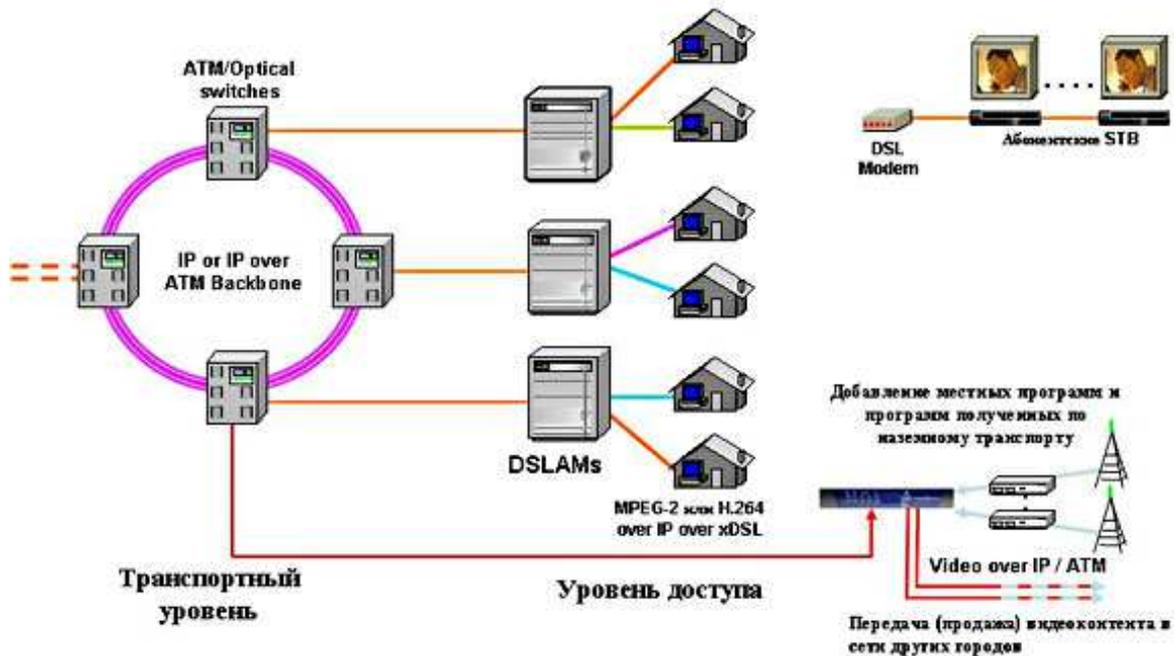
Услуги «Сервисы по заказу» (Services on Demand, SoD) – это заказ товаров и услуг на дом, различная справочная информация, расписание транспорта, гостиничный сервис и т.п. Данные услуги близки к аналогичным сервисам в Интернете.

## 2.6. Типовая схема сети IPTV.

## Головная станция IP-TV в составе транспортной сети



## Магистральная часть IP-TV сети и уровень доступа



На приведенной выше схеме мы видим компоненты IP-TV сети.

1. Компоненты головной аппаратной IP- TV системы, в том числе:

- головная станция;
- система условного доступа;
- видео-серверы;
- серверы биллинговой системы;
- серверы системы менеджмента;
- серверы промежуточного программного обеспечения (middleware);

2. Компоненты опорной (магистральной) транспортной сети, в том числе:

- собственно опорная (backbone) оптическая сеть на базе IP-технологии или технологии ATM;
- высокопроизводительные коммутаторы (маршрутизаторы) с оптическими интерфейсами;

3. Транспортный уровень доступа, состоящий, например для случая xDSL сети, из устанавливаемого в помещении АТС головного DSL устройства DSLAM (DSL access multiplexor) и медной пары (телефонной линии), непосредственно заведенной в дом к абоненту.

## Выводы

1. Групповая рассылка это способ разослать сообщения нескольким получателям. Для многих приложений это вариант предпочтительней, нежели рассылка широковещательных запросов, так как с помощью групповой рассылки можно уменьшить загруженность хостов, которые не заинтересованы в принятии сообщений. Простой протокол, определяющий принадлежность хостов к группе (IGMP), - это основной протокол, на котором строится групповая адресация.

2. Групповая адресация в локальной сети или в соседних, соединенных между собой локальных сетях, использует технику, которую мы описали в этой главе. Так как рассылка широковещательных запросов обычно ограничивается одной локальной сетью, групповые запросы могут быть

использованы вместо широковещательных для различных предложений, которые в настоящее время используют широковещательные запросы.

3. Для глобальных сетей проблема групповых запросов до сих пор до конца не решена. Необходимо расширение существующих протоколов маршрутизации для поддержки групповых запросов.

## Глава 3. Оценка качества трансляции видеоизображений по IPTV.

### 3.1. Общий обзор рынка IPTV-услуг. Алгоритм оценки качества IPTV в реальных условиях функционирования сетей.

Открытым коллективным дискуссиям участников на недавно прошедшей Всемирной Конференции по IPTV было бы вполне уместно приклеить ярлык "Сражение под открытым небом", что подразумевает непрерывно растущую конкуренцию между Провайдерами Телекоммуникационных Услуг и Кабельными Операторами Множественных Сервисов (MSOs), поскольку между всеми ними ведётся непрекращающаяся бескомпромиссная война за домашние бюджеты абонентов, выделяемые на потребление телекоммуникационных услуг.

При сложившейся в мире ситуации Провайдеры Услуг претерпевают значительное сокращение доходов от предоставляемых сервисов, в то время как MSOs, предлагая пакеты услуг triple play, всё более и более увеличивают рост своего присутствия на рынке через свой традиционный "опорный пункт" — абонентскую базу пользователей услуг по передаче голоса. Для Провайдеров Услуг такая конкуренция — ни что иное как война на выживание, поскольку большая потребность в едином пакете из приложений "голос—Интернет—телевидение", или сервис triple play, представляет собой стратегический арсенал "вооружения", который и определит кто же из "бойцов" выживет в войне и кому достанутся трофеи (абоненты). Способность предоставлять множественные услуги одному отдельно взятому абоненту значительно повышает коэффициент ARPU (усреднённый доход на одного пользователя) и воздвигает надёжные барьеры на пути оттока клиентов. Провайдеры Услуг делают значительные инвестиции в IPTV, чтобы дополнить свои уже существующие сервисы по предоставлению голосовых услуг и передачи данных в целях получения возможности для достойной конкуренции против MSOs. Приложение IPTV представляет собой ключевой компонент для роста бизнеса Провайдеров Услуг и, как показывает практика, задействование этого приложения увеличивает коэффициент

ARPU более чем в два раза. Аналитики предсказывают, что доходы от сервиса IPTV будут в среднем ежегодно увеличиваться на 154%, в итоге, общие доходы от этого приложения составят в 2009 г. свыше \$49 миллиардов. Такие впечатляющие финансовые показатели и очевидное воздействие IPTV на стратегические позиции Провайдеров Услуг привели запрошедшую декаду к значительной эволюции многих телекоммуникационных сетей. Согласно данным аналитического агентства Infonetics Research, затраты на развитие и поддержание сервисов, связанных с инфраструктурой IPTV, составили в 2006 г. более \$1 миллиарда, эта цифра удвоилась к концу 2007 г. и составит приблизительно \$4.4 миллиарда в 2009 г.

Перед тем как приступить к реальному распространению и развёртыванию IPTV и сетей triple play, Провайдеры Услуг и Производители Сетевого Оборудования (NEM) должны в обязательном порядке убедиться, что предлагаемые ими сервисы IPTV на самом деле соответствуют тому уровню качества, что ожидают клиенты и что это приложение не испортит общую картину привлекательности triple play. Что может произойти, если сервисоператор произведёт конвергенцию и масштабирование чувствительного ко времени и потерям пакетов видеотрафика с существующими услугами по передаче голоса и данных, при этом все три приложения будут вступать в конфликт друг с другом из-за проблем с сетевым ресурсом? Ответ очевиден. Необходимо всегда помнить, что клиенты уже давно выработали стойкую привычку ожидать и требовать предсказуемый уровень качества предоставляемых им сервисов, поскольку они пользуются широкополосным и спутниковым ТВ, а поэтому будут нетерпимы к любым сбоям видео трансляций, ухудшениям качества видео изображения и длительным задержкам переключения каналов на системах IPTV.

### 3.2. Восприятие Качества (Quality of Experience, QoE) систем IPTV.

Когда на карту поставлено столько много, то нет ничего удивительного в том, что термин "IPTV QoE" (или Восприятие Качества IP телевидения) стал одним из самых расхожих словечек, применяемых в различных публикациях, выставках и форумах, относящихся к ТВ индустрии. Этот термин можно растолковать следующим образом:

- IPTV QoE представляет собой степень удовлетворённости пользователей от предоставляемых им видео сервисов. Восприятие абонентами качества систем IPTV должно быть равноценным или даже превосходить современные кабельные или спутниковые ТВ сервисы, в противном же случае Провайдеры Услуг подвергаются риску сокращения своей абонентской базы.
- Коэффициент IPTV QoE подвержен различным коммерческим факторам, таким как стоимость услуг, качество транслируемого контента, а также характеристикам предоставляемых сервисов.

Кроме того, существуют технические факторы, включающие в себя время реакции системы на переключение каналов и качество самой среды передачи. Проводить измерения IPTV QoE означает получать данные о технических аспектах, влияющих на удовлетворённость абонентов от получаемых ими сервисов. Необходимо отметить, что при аккумуляровании Провайдерами суммы дохода в \$100 на абонента, очень важно оценивать величину IPTV QoE уже на индивидуальном уровне.

### 3.3. Сегментирование рынка IPTV оборудования.

Всего существуют четыре типа аппаратно-программных комплексов для доставки услуг IPTV:

- Головной узел видео системы, где хранятся приложения и содержания (контент) ТВ программ;
- Сама сеть, представляющая собой транспортный механизм, доставляющий ТВ контент и интерактивные сервисы от Головного узла до домашнего кинотеатра абонента;

- Связующее программное обеспечение, которое представляет собой набор программ, контролирующих по Сети доставку ТВ контента и интерактивных сервисов до абонента; Собственное оборудование абонентов, представляющее собой ТВ Декодер (Set Top Box), находящийся непосредственно у них в доме и подключённый к телевизору;

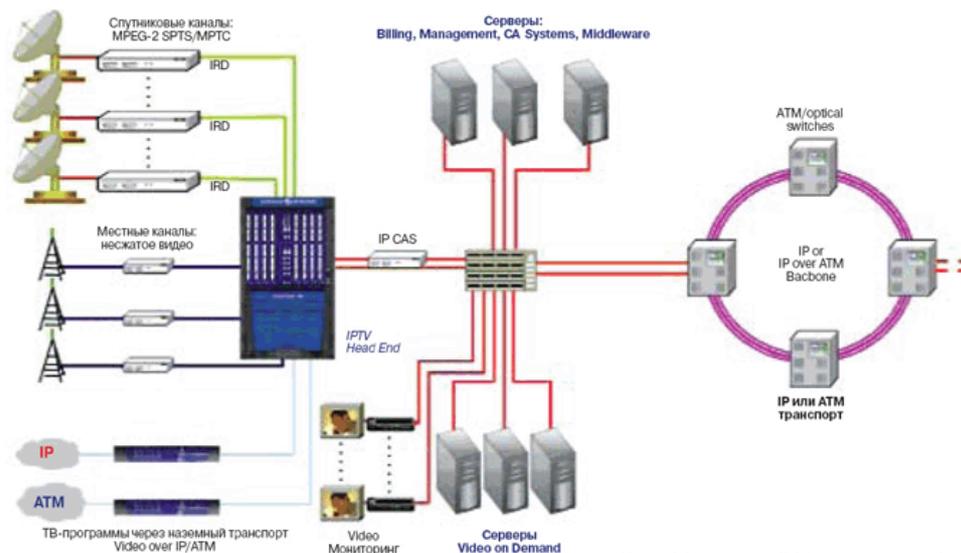
Каждый из этих комплексов (систем) способен воздействовать на IPTV QoE и должен подвергаться специфическим тестовым процедурам и измерениям.

Перед началом сквозного тестирования IPTV и общей интеграции всей ТВ сети, необходимо провести тесты каждой системы (и каждого конкретного элемента) индивидуально для того, чтобы убедиться, что все составляющие структуры IPTV соответствуют заявленным характеристикам, кроме того, осуществить раннюю диагностику возможных проблем. Таким образом, настоящая статья сфокусирована на современных методологиях тестирования и оценки метрик для проверки IPTV QoE по всей инфраструктуре доставки IPTV сервисов до абонента, как это в общем виде представлено на рис. 1 и рис. 2.

### 3.4. Краткие технические аспекты развёртывания IPTV.

В дополнение к уже известным многочисленным аргументам о чрезвычайной сложности развёртывания сетей triple play необходимо отнести и тот факт, что новый набор внедряемых сервисов потребует огромного объёма модернизаций, которые необходимо будет осуществить на существующих сетях доступа. Следует подчеркнуть, что именно видео приложение заставит Провайдеров Услуг инвестировать в triple play больше всего, а именно в приобретение широкополосных серверов дистанционного доступа (B-RAS) из категории "оборудование следующего поколения", также известных как шлюзы широкополосных сетей (BBNG). Концепция triple play также ускорит темпы миграции Провайдеров Услуг от агрегированных широкополосных АТМ сетей на технологию IP.

Реализация планов по осуществлению доступа к сетям ADSL2+, VDSL, FTTX и Ethernet потребует повышенной функциональности от платформ В-RAS и иных сетевых элементов, включая DSLAM, DLC следующего поколения, агрегационных маршрутизаторов Ethernet и др. Становится совершенно очевидно, что для поддержки жизнеспособного сервиса IPTV возникает необходимость в сквозном тестировании работоспособности и надлежащем функционировании сети в целом, поскольку от этого зависит расширяемость и качество предоставляемых сервисов, а также функция маршрутизации широковещательной трансляции. Потеря пакетов, проблемы латентности, а также "слабенькая" система управления приведут к негативному Восприятию Качества IPTV услуг со стороны абонентов.



### 3.5. Требования к процедурам сквозного тестирования сетей.

Для обеспечения гарантии того, что комбинация элементов IPTV сети включающих В-RAS, EAR и DSLAM смогут работать в режиме, обеспечивающим надлежащий Уровень Качества Обслуживания (QoS), а также быть способными к доставке до абонентов всех IPTV сервисов, необходимо регулярно осуществлять тестирование сетей по всем направлениям:

- Масштабирование и пропускная способность;
- Время прерывания сессий;
- Количество абонентов, поддерживаемых на одной версии QoS;
- Функционирование QoS на различных сетевых элементах;
- Поддержка управления иерархического трафика;
- Широковещательные функции;
- Количество одновременных широковещательных потоков (видео каналов), которые может поддерживать сеть без потери фреймов.

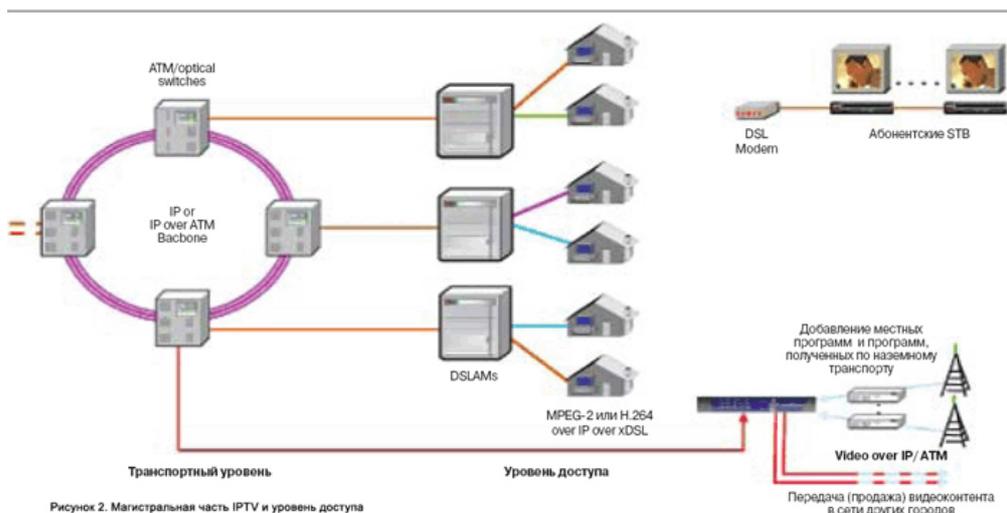
### 3.6. Тестирование IPTV QoE.

Существуют следующие фундаментальные области тестирования IPTV QoE:

- Измерения временных интервалов при переключении каналов абонентами IPTV;
- Измерения метрик качества среды (аудио, видео);
- Измерения ширины полосы частот (способна ли инфраструктура IPTV транслировать сотни каналов?);
- Проверка правильности получаемой по каналам информации;
- Эталонное тестирование (насколько серверы, работающие в реальных условиях соответствуют своим же характеристикам, полученным в лабораторной среде);
- Каково взаимное влияние при трансляции приложений голоса, данных, видео в сетях triple play;

Остановимся подробнее на первых двух пунктах, как наиболее важных и фундаментальных для поддержки надлежащего IPTV QoE. Цель в проведении измерений временных интервалов при переключении каналов — определить, как быстро абоненты могут переключаться с канала на канал, а также в удостоверении того, что переключение происходит по правильному алгоритму и на востребованные каналы. Допустимая величина

временного интервала обычно не должна превышать 1 сек. Величина в 100-200 ms уже считается как "мгновенная". Широковещательные протоколы задействуют режим переключения каналов внутри сетевой инфраструктуры. Такие протоколы как IGMP (Протокол управления группой Интернет) или MLD (Протокол широковещательной трансляции) непосредственно воздействуют на величину временных интервалов. Для того, чтобы удерживать общую величину в 1 сек. при переходе с канала на канал, необходимо, чтобы каждый компонент сети вносил свой "персональный вклад" в эту задержку около 10-200 ms. Измерения качества IPTV среды представляет собой наиболее трудоёмкую задачу, поскольку существует множество факторов, воздействующих на воспринимаемый пользователями уровень соответствия этой среды своим ожиданиям. Количество абонентов сети IPTV, их поведение и привычки, а также наличие других приложений triple play, порой вступающих в противоречие друг с другом и "борющихся" за ограниченные сетевые ресурсы — все эти факторы оказывают значительное воздействие на своевременную и точную адресацию пакетов IPTV. Возникающие в сети сбои (потери пакетов и ошибки последовательностей, латентность и джиттер) могут крайне негативно влиять на качество получаемых видео сигналов, как например, блокировка, размывание границ картинок, искажение краёв, дрожание изображения и видимый на экране шум. Поэтому, перед непосредственным развёртыванием комплексной архитектуры IPTV, она должна быть протестирована в лабораторных условиях с применением стрессовых нагрузок на все составляющие её компоненты.



### 3.7. Характеристики сети и качество среды.

Экспоненциальный рост абонентов По оценкам аналитических агентств, к 2009 г. количество абонентов IPTV по всему миру достигнет 53.7 миллионов, динамика роста абонентской базы только в Северной Америке достигнет 12985% в период 2004 г. по 2009 гг. Франция, лидер в Европе по развёртыванию сервисов IPTV, насчитывала к концу 2005 г. 281000 абонентов (статистика по 2006 г. отсутствует), зарегистрированных на три основных IPTV сервиса (Maligne, Free, Neuf). Ожидается, что к 2009 г. эта цифра возрастёт кратно.

Распространяемое в широковещательном режиме по IP сетям видео (протокол IGMP в большинстве сетей) никак не гарантирует одинаковое качество принимаемого видео изображения у всех пользователей, одновременно смотрящих один и тот же канал. Кольсоро ширина полосы пропускания и ресурсы транспортной составляющей IPTV довольно-таки скудные, то из этого следует, что чем больше абонентов возжелают задействовать сервис IPTV, тем больше вероятность падения индекса QoE. Чрезвычайно важно чтобы сетевое оборудование постоянно тестировалось при непрерывно возрастающем количестве как абонентов, так и каналов IPTV в целях определения той критической точки, при которой величина

IPTV QoE в перерасчёте на одного абонента выйдет на недопустимый уровень (т.е. предела функциональности).

Представим себе какое-нибудь значимое мировое спортивное событие, вызывающее интерес у миллионов, например, чемпионат мира по футболу, транслируемый по IPTV. Несметное количество спортивных фанатов, пытающихся подключиться к этой широковещательной сессии, смогут запросто перегрузить всю IPTV сеть и вызвать её зависание.

Например, если сеть доступа способна одновременно обслуживать не более 1000 абонентов, то 1001-ый подключившийся уже в состоянии испортить всё удовольствие от просмотра передачи тысячам своих "коллег".

### 3.8. Динамичное поведение и привычки абонентов.

В реальных условиях triple play абоненты ведут себя чрезвычайно динамично. Например, в домашних условиях, пользователь этих услуг, предоставляемых от единого провайдера, может одновременно переключать каналы и инициировать новую сессию Интернет, при этом ведя несколько разговоров по IP телефонам. Если масштабировать эту проблему по всей абонентской базе, то она составит серьёзную угрозу панели управления сетевыми элементами IPTV, тем самым потенциально подвергнув значительному риску величину Восприятия качества IPTV абонентами. Взять, к примеру, ситуацию, при которой возникает лавинообразное нарастание одновременного переключения каналов многочисленными пользователями услуг IPTV (например, заканчивается популярный сериал, а по другому каналу начинается финал чемпионата Европы по футболу). Быстрый переход от устойчивого состояния длительного просмотра какой-либо передачи к неконтролируемому росту изменений может вызвать значительную нагрузку на Шлюз Широкополосной Сети (BNG) или граничный маршрутизатор, поскольку эти сетевые элементы будут отчаянно пытаться обработать тысячи групп сессий по протоколу IGMP, запросов типа "присоединиться/отстыковаться", при этом ещё и обновлять таблицы

широковещательных директорий, а также дублировать широковещательный трафик поверх установленных исходящих интерфейсов. Такие стрессовые состояния вызывают задержки в передачи пакетов и их потерю, что, в целом, крайне негативно влияет на Восприятие качества. Поэтому очень важно заранее моделировать динамическое поведение абонентов и в тестовых лабораториях измерять такие воздействия на метрики IPTV QoE.

### 3.9. Учет и эксплуатация инфраструктуры IPTV.

На сегодняшний день когда большинство операторов ТфОП энергично развивают широкополосный абонентский доступ для своих клиентов и наращивают скорости передачи в магистральных сетях, а заполнить эти ресурсы пока нечем (поскольку рынок современных услуг Quad Play еще не сформирован, и к нему не готовы ни клиенты, ни сами операторы), как нельзя кстати пришлись IPTV и другие вещательные видеосервисы, которые относятся к так называемым bandwidth hungry услугам и могут на некоторое время обусловить повышение производительности сети. Удачно сложилось и то, что IPTV – перспективная технология, которая со временем может существенно потеснить традиционное телевидение благодаря ряду преимуществ – интерактивности, организации видео по запросу, высокой четкости и др.

Тем не менее, на текущем этапе IPTV внедряется прежде всего для того, чтобы заполнить мощную сеть. Но часто основные преимущества этой технологии остаются невостребованными: контент-провайдеры видео не готовы к предоставлению интерактивности, дополнительные сервисы, которыми может быть расширена обыкновенная трансляция телепрограмм по IP (например, телемагазин с продажей фильмов или других товаров), пока не способны создать достаточную мотивацию для основной массы пользователей. В связи с этим при построении бизнес-моделей продвижения услуг IPTV операторы связи должны уделить особое внимание тому, чтобы качество предоставляемых ими услуг было как минимум не хуже качества

услуг телевидения через ставшие традиционными способы доступа (сеть кабельного ТВ, спутниковое и волновое вещание).

### Проблемы эксплуатационного управления

Услуги IPTV предоставляются с помощью разных транспортных технологий, поэтому для гарантирования качества необходимо управлять не только серверами приложений IPTV, но и всеми сетевыми элементами, которые участвуют в вещании и передаче IP-трафика, от IPTV-сервера до окончательного оборудования пользователя. Данное обстоятельство усложняет инфраструктуру IPTV и повышает стоимость предоставления подобных услуг, поэтому задачу обеспечения качества IPTV нужно рассматривать в контексте стремления к минимизации внутренних издержек оператора. Первая проблема, возникающая из задачи обеспечения качества IPTV, – необходимость непрерывного контроля и управления видеотрафиком и компонентами IP-сети. Для ее решения оператору потребуются функции систем управления сетью (Network Management System – NMS) и управления услугами (Service Management System – SMS), которые будут осуществлять мониторинг производительности сети, управлять потоками данных и устранять обнаруженные неисправности в работе сети и услуг IPTV. Вторая проблема касается упрощения процессов подключения, модификации и удаления услуг IPTV, т. е. уменьшения издержек эксплуатационной деятельности. Для ее решения оператор может применить самые разные методы, в зависимости от развитости его эксплуатационных служб. Подходы к упрощению эксплуатационной деятельности направлены на внедрение и взаимную интеграцию систем CRM, абонентского отдела, бюро ремонта, биллинга, а также на устранение рутинных ручных операций в эксплуатационных процессах и замену их автоматизированными. Другими словами, помимо инфраструктуры для реализации услуг IPTV оператор связи заинтересован в построении и развитии эффективной системы эксплуатационного управления OSS, общую архитектуру которой и предлагается рассмотреть в данной статье.

Услуга IPTV обеспечивает передачу каналов телевидения и любого другого видео-контента через IP-сеть. Также IPTV предусматривает

реализацию таких интерактивных сервисов, как видео по запросу (VoD,

Video on Demand) или виртуальный «видеомагнитофон». Расширение спектра услуг позволяет Оператору привлечь новых клиентов и достаточно быстро вернуть инвестированные в развитие IPTV средства.

Для управления элементами инфраструктуры IPTV Оператору связи необходимо проработать следующие аспекты эксплуатации:

- процессы подключения услуг — обработка заказов на подключение услуг, отключение и модификация услуг IPTV;
- мониторинг состояния и обнаружение неисправностей сетевых элементов — слежение за состоянием и поведением сетевого оборудования с целью выявления его некорректной работы;
- обработка и устранение неисправностей — устранение в кратчайшие сроки сбоев возникающих в работе оборудования IPTV.

Для поддержки эксплуатационных процессов в области управления IPTV используется решение «Эксплуатация IPTV». Данное решение ориентировано именно на эксплуатацию инфраструктуры IPTV, позволяющей организовать соответствующие услуги с использованием ресурсов магистральной сети и сети доступа. Таким образом, решение предназначено для автоматизации выполнения задач эксплуатации инфраструктуры IPTV, к которым относятся:

Важным элементом при организации управления IPTV, является база данных технического учета о текущем состоянии всех сетевых элементов. К таким данным относятся:

- *Элементы платформы IPTV:* источники контента (приемники телевизионных каналов, кластерные системы для VoD), системы обработки информации с источников, видеосервера.
- *Эксплуатационные показатели.* Результаты мониторинга производительности, тестирования платформы IPTV, информация с пробников, расположенных в сети: максимально возможная пропускная способность на данном участке сети, частота кадров, процент потерянных кадров, джиттер пакетов, информация, полученная в результате мониторинга QoS на пробниках.
- *Резервы:* количество лицензий, пропускная способность сети, доступная в сегменте предоставления услуг IPTV.

### 3.10. Управление заказами и проблемами услуг IPTV

Процессы множества платформ обеспечивают базовые операции по управлению инфраструктурой IPTV:

- добавление новых источников контента или элементов обрабатывающих трафик. При этом учитываются все изменения, влияющие на архитектуру видео-серверов и правила распределения трафика по магистральной сети;
- базовые операции организации услуги IPTV:
- активация услуги IPTV: проверка технической возможности предоставления услуги, аутентификация клиента, активация учетной записи клиента, обновление биллинговых данных;
- деактивация: редактирование учетной записи клиента, изменение биллинговых данных;
- модификация услуги: редактирование учетной записи клиента, изменение биллинговых данных;

- определение текущих характеристик производительности сетевых элементов. Полученная информация о текущем состоянии и характеристиках производительности сетевых элементов используется в процессах анализа возможности подключения новых и модификации существующих услуг, предоставляемых конечному пользователю, а также в процессах планирования развития сетевой инфраструктуры;
- устранение типовых неисправностей. По запросу из внешней системы или при возникновении определенной последовательности событий в платформе Аргус фиксируется неисправность. Каждому типу неисправности соответствует своя логика устранения.