Анализ состояния российских предприятий — производителей телекоммуникационного оборудования (по состоянию на IV квартал 2009 года)

Рассматривается динамика изменения российских предприятий, занимающихся вопросами разработки и производства телекоммуникационного оборудования. Приводятся факторы, которые, по мнению экспертов, могли бы способствовать созданию современного конкурентноспособного производства телекоммуникационного оборудования в России.

Докучаев В.А.,
д.т.н., профессор

Прошло почти десять лет с момента последней публикации автора, посвященной анализу российского рынка разработчиков и производителей телекоммуникационного оборудования [1-6]. Прошедшие годы были очень непростыми для большинства компаний. Сначала финансовый кризис конца 90х гг., затем глобальный кризис 2008 г. Интересно, что IEEE назвал кризис девяностых "телебомба" [7]. Причины его в телекоммуникационной отрасли детально изучены и проанализированы западными аналитиками, но практически полностью проигнорированы нами. Американские аналитики отмечают, что основными причинами кризиса конца 90х в телекоммуникационном бизнесе стали: отсутствие внятной законодательной и технической политики государства, стремление руководства компаний любыми средствами к капитализации предприятий и хорошей бухгалтерской отчетности перед акционерами, безудержный рост числа компаний предлагающих одни и те же продукты и услуги, рост тарифов на услуги, проблемы подготовки квалифицированных кадров и т.п. К сожалению, мы повторяем такие же ошибки. Рассмотрим, как эти и другие события за прошедшие десять лет отразились на отечественных компаниях, занимающихся вопросами разработки и производства телекоммуникационного оборудования, и что же произошло с ними за этот период.

Летом 2009 г. по инициативе некоммерческой организации "Ассоциация производителей оборудования связи" (НО АПОС) был проведен опрос ряда российских компаний, занимающихся разработкой и производством телекоммуникационного оборудования (далее — предприятия отрасли). Оговоримся сразу, что в опрос не вошли такие предприятия как концерны "Созвездие" и "Ситроникс", предприятия, выпускающие почтовое оборудование, а также предприятия которые раньше было принято относить к предприятиям подотчетным Министерству радиопромышленности (МРП). Другими словами, анализировалась ситуация с предприятиями, которые занимаются в основном выпуском коммутационного оборудования, систем передачи и установочного телекоммуникационного оборудования и которые раньше относились бы к Министерству промышленности средств связи (МПСС).

Первый вывод, который позволили сделать результаты опроса, состоит в том, что в стране по состоянию на конец 2009 г. насчитывается порядка 40 отечественных компаний (различных форм собственности), реально занимающихся вопросами разработки и производства оборудования связи.

Верхняя оценка численности работающих на данных предприятиях на конец 2009 г. составляет порядка 6 тыс. человек (рис. 1) и колеблется в пределах от 20 до 1300 человек.

Таким образом, приходится сделать неутешительный вывод, что с начала 90х гг. прошлого столетия численность работающих на предприятиях отрасли сократилась примерно на 15-20 тыс. человек.

Для примера приведем следующие цифры. С момента основания предприятия ОАО "Аппаратура дальней связи" (Узловая, Тульской области) в середине 60х годов до начала 90х годов двадцатого столетия среднегодовая численность сотрудников составляла порядка 2 тыс. человек. В настоящее время — 530. Численность работающих на уральском флагмане российских систем передачи ОАО "Морион" (Пермь) в 2009 г. сократилась до 250 человек, а когда-то на нем работало до 10 тысяч сотрудников.

По численности занятого на предприятиях отрасли населения все предприятия отрасли можно разбить на три основные группы: свыше 150 человек, от 40 до 150 человек и меньше 40 человек (рис. 2).

К первой группе (17% предприятий) относятся бывшие серийные предприятия, ориентированные на полный технологический цикл производства оборудования и компании созданные на их базе. К их числу можно отнести ранее упоминавшиеся ОАО "АДС" и "Морион", ОАО "АЛСиТЕК" (Саратов), ЗАО "ИскраУралТел" (Екатеринбург), ОАО "БСС" (Борисоглебск, Воронежская область), ООО "Элтекс" (Новосибирск), ОАО "Псковский завод АДС", ОАО Юрьев-Польский завод "Промсвязь" (Владимирская обл.), ФГУП "Калугаприбор" (Калуга) и ряд других.

Вторую группу (54% предприятий) составляют в основном предприятия, занимающиеся собственно разработками телекоммуникационного оборудования и использующие наряду с собственными

Рис.1

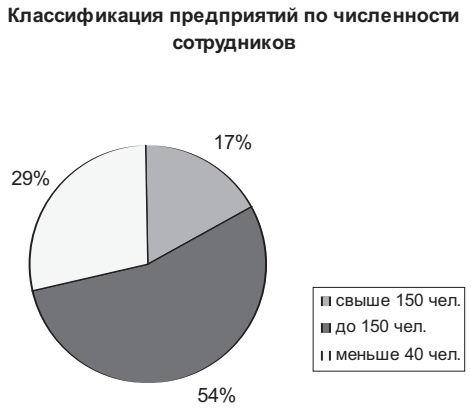


Рис. 2

производственными мощностями схему отечественного аутсорсинга. К числу таких предприятий можно отнести ЗАО "Интелсет ТСС", ОАО "Супертел", ФГУП "Масштаб" (Санкт-Петербург), ЗАО "Лотес", ОАО "ССКТБ-ТОМАСС" (Москва) и другие.

И, наконец, третья группа предприятий (29%) занимается преимущественно разработками и в качестве производственной базы использует схемы отечественного и зарубежного аутсорсинга. К ним можно отнести такие компании как ЗАО "Мультиком СПб" (Санкт-Петербург), НПО "Телеком" (Ижевск), ООО "Эн-Эс-Джи" (Группа Сетевые Системы), ООО "Юнител", ООО Фирма "Телесофт" (Москва), и другие.

Из когда-то созданных МПСС совместных предприятий в настоящее время только ЗАО "ИскраУралТел" реально продолжает работать и наращивать портфель предлагаемого оборудования. Из числа новых игроков на рынке следует отметить ФГУП "Калугаприбор", приступившее к выпуску коммутационного оборудования Hicom (разработка компании Siemens).

С сожалением приходиться констатировать, что в силу несовершенства правовых и финансовых отношений в цикле "наука — производство", практически исчезли такие отечественные разработчики телекоммуникационного оборудования как ОАО НПО "Дальняя связь" и "Красная заря", ряд отраслевых НИИ.

Анализ полученных ответов относительно кадрового состава работающих на предприятиях отрасли показал, что средний возраст занятых на предприятиях отрасли находится в пределах от 30 до 52 лет и составляет 44,8 г. (конец 2009 г.). Отметим, что эта цифра является практически постоянной за последние 4 года (рис. 3).

К сожалению, не удалось получить полной информации по профессиональному составу работающих на предприятиях, т.к. во многих случаях данные по общей численности сотрудников предприятия не сходились с суммарной численностью сотрудников по отдельным профессиям.

Однако, несмотря на это удалось выделить две подгруппы — предприятия со средней численностью административного аппарата 30% от общей численности и предприятия, для которых аналогичный показатель составляет 3,6%. Отметим, что у первой подгруппы предприятий численность административного аппарата за период с 2006 по 2009 гг. практически не изменилась, а на предприятиях второй подгруппы выросла почти в 2 раза.

Примерно 5,5% от общей численности работающих на предприятиях отрасли составляют инженеры-конструкторы. К 2009 г. их средняя численность сократилась до 4,5%.

Численность инженеров-технологов на конец 2009 г. составляет на разных предприятиях от 1,5 до 9%, инженеров и инженеров-разработчиков — от 2 до 12%, численность рабочих разных специальностей (включая вспомогательные службы) на разных предприятиях составляет от 16,5 до 70,5% от общего числа работающих.

Как это не покажется странным, доля работающих на предприятиях первой группы (свыше 150 человек) инженеров-программистов оказалась очень незначительна и составляет примерно 1%, в то время как у отдельных предприятий второй и третий групп процент инженеров-программистов доходит до 30%.

Отметим, что свыше 85% предприятий отрасли имеют связи с учебными заведениями — в основном профессиональными колледжами и университетами. При этом 30% респондентов ответило, что "Не удовлетворены" профессиональным уровнем вновь принимаемых на работу сотрудников, 60% ответили "В большей степени удовлетворены, чем нет", остальные — "Затрудняюсь ответить".

Интересные результаты получились в результате анализа ответов на вопросы "Каков уровень старения основных производственных мощностей на предприятии?" и "Каков рост расходов на электроэнергию предприятия?". По первому вопросу практически всеми опрашиваемыми отмечается пусть и незначительное, но неукоснительное старение оборудования. По второму вопросу практически все респонденты отметили рост расходов на электроэнергию, связанный с возросшими тарифами.

Опрос показал, что порядка 60% предприятий отрасли по тем или иным причинам не пользуются услугами кредитных организаций (рис. 4). При этом только около 25% предприятий пользующихся кредитами смогли с трудом получить их в 2009 г.

Интересные результаты получены относительно существующей системы подтверждения соответствия выпускаемого отечественными

Рис. 3

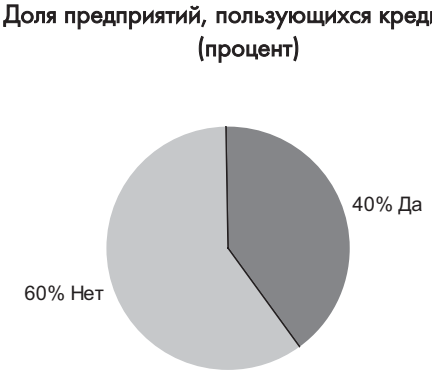


Рис. 4

Ответы предприятий на вопрос "Возможно ли создание в России эффективного производства телекоммуникационного оборудования?"

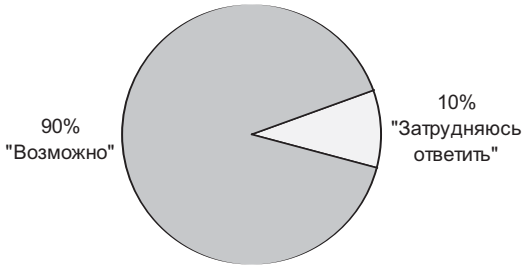


Рис. 5

предприятиями оборудования (сертификация). На вопрос: "Удовлетворены ли Вы существующей системой сертификации?" ответы распределились следующим образом: 60% ответили "Да" или "В большей степени Да, чем Нет", 35% — "Нет" и остальные ответили "Затрудняюсь ответить". То есть почти 65% респондентов ответили, что практически удовлетворены существующей системой сертификации. Однако на вопрос "Считаете ли Вы обоснованными существующие цены на проведение сертификационных испытаний?" более 80% респондентов ответило "Нет".

На вопросы относительно организации и участия предприятий отрасли в тендерах на госзаказы 20% респондентов ответило, что либо "Не принимает участие" в таких тендерах, либо "Затрудняюсь ответить", 20% ответили, что "в большей степени удовлетворены, чем нет организацией тендеров на госзаказы" и 60% ответили, что "Не удовлетворены".

Предложения предприятий по совершенствованию мер, направленных на создание эффективного производства телекоммуникационного оборудования в Российской Федерации

1. Необходимо разработать совместно с регулирующими органами, операторами связи и другими ведомствами государственную программу по развитию производства телекоммуникационного оборудования в Российской Федерации, соответствующего современным международным стандартам и отвечающего потребностям потребителей.
2. Необходимо создать Инновационный Центр развития систем и средств связи в виде частно — государственного партнерства, поручив ему в рамках госпрограммы координацию деятельности предприятий разработчиков и изготовителей, а также деятельности по внедрению, сопровождению и утилизации средств связи. Одной из задач данного Центра может стать совместная с Региональными органами власти работа по определению экономической и технической целесообразности покупки регионами сборочных заводов по производству телекоммуникационного оборудования.
3. Разработать прозрачные единые для всех участников правила проведения тендеров на поставку телекоммуникационного оборудования. Представляется целесообразным дать приоритетное право на поставку оборудования, при прочих равных условиях, производителям данного оборудования, в случае, если они принимают участие в тендере. Это позволит исключить из поставки оборудования цепочку посредников, что приведет к снижению стоимости оборудования и, следовательно, снижению стоимости услуг предоставляемых на его базе, а также приведет к снижению уровня "коррупционности" при проведении тендеров.
   При прочих равных условиях, представляется целесообразным предоставить преимущество Российским производителям телекоммуникационного оборудования, при выдерживании ими технических и ценовых характеристик оборудования, имеющего иностранные аналоги. Данная мера позволит поддерживать и развивать имеющиеся в России монтажно-сборочные производства, в том числе и те на которых оборудование производится по лицензии иностранных фирм.
4. Необходимо продолжить и довести до логического конца работы по гармонизации ставок ввозных таможенных пошлин на готовое оборудование и его комплектующие (в первую очередь, по товарной группе 85).
5. Относительно операторов связи в уставном капитале которых присутствует доля, принадлежащая государству, регулирующим органам целесообразно рассмотреть возможность обязательной поэтапной закупки импортозамещающего отечественного телекоммуникационного оборудования, компонентов и ПО для доведения процентного соотношения нерезидентов на узлах связи с 90 — 100 % до 10% как в развитых странах Европы (Англия, Германия, Италия, Испания, Франция) и Северной Америки (США и Канада).
6. Совместно с Министерством образования Российской Федерации провести работы по совершенствованию образовательных стандартов по подготовке квалифицированных кадров всех уровней (специальное средне — техническое и высшее образование) с учетом реальных потребностей предприятий отрасли. Продолжить работы по разработке и внедрению на предприятиях профессиональных стандартов.
   В долгосрочной перспективе (после 2015) необходимо организовать на территории Российской Федерации предприятия (возможно совместные с участием иностранных партнеров) по выпуску современной элементной базы (изделий микроэлектроники). Реальную отдачу, соответствующую требованиям разработчиков телекоммуникационного оборудования, от таких предприятий не следует ожидать ранее 2015 г. Это может быть осуществимо только при условиях, что работы по их созданию будут начаты незамедлительно и изначально будет поставлена задача их выхода на международный рынок (обязательное условие эффективности их работы без которого создавать такие предприятия бессмысленно).
8. В краткосрочной и среднесрочной перспективе (2012 и 2015 гг. соответственно) необходимо со стороны государства обеспечить правовую, финансовую и организационную поддержку разработчиков и производителей телекоммуникационного оборудования, которые уже сегодня являются сильными "нишивыми" игроками, для экспорта российского телекоммуникационного оборудования. В первую очередь — в страны СНГ. Необходимо отметить, что помимо явных финансовых выгод для государства в виде увеличившихся налоговых поступлений, экспансия российского телекоммуникационного оборудования на пост-советское пространство приведет к:
   - пропаганде русского языка (техническая документация по монтажу, наладке и эксплуатации оборудования);
   - притоку специалистов из стран СНГ на обучение по работе с оборудованием;
   - возрастанию информационной безопасности окружающего страну геополитического пространства.

На вопрос "Считаете ли Вы возможным создание эффективного производства телекоммуникационного оборудования в России?" подавляющее большинство респондентов (более 90%) ответило "Да" и 10% осторожно ответили — "Затрудняюсь ответить" (рис. 5). При этом многие сформулировали ряд условий, при которых организация такого производства осуществима.

Относительно мер, которые необходимо было бы предпринять, чтобы создать эффективное производство отечественного телекоммуникационного оборудования, поступили следующие предложения, которые можно свести к следующему (см. таблицу).

Отметим, что, формулируя приведенные выше предложения, предприятия отрасли, высказали свою готовность не только в научном и техническом участии по их реализации, но и готовность принять участие в их финансировании.

Учитывая развернувшуюся в конце 2009 г. дискуссию относительно того, какие предприятия следует относить к "отечественным производителям", в ходе проведенного опроса были получены следующие результаты.

На вопрос "Дайте определение "Отечественный (Российский) производитель" оборудования связи" 90% респондентов выделило следующие основные признаки:

• "Отечественным производителем" признается юридическое лицо, зарегистрированное на территории Российской Федерации в соответствии с законодательством Российской Федерации и имеющее на территории России производственные мощности и технологическое оборудование для производства телекоммуникационных систем, средств и устройств в соответствии с Российскими Техническими регламентами;

• Данное юридическое лицо должно обладать полным комплектом документации для производства и эксплуатации оборудования, а так же исходными текстами программного обеспечения для производства и управления оборудованием и его мониторинга в процессе эксплуатации;

• Данное юридическое лицо должно иметь возможность обеспечения гарантийных и постгарантийных обязательств по поставляемому оборудованию и обеспечению запчастей для него на территории Российской Федерации.

Следует отметить, что были и следующие предложения по данному вопросу:

• "Отечественным производителем" признается только предприятие, в уставном капитале которого доля государственной собственности составляет не менее 51%;

• "Отечественным производителем" признается предприятие, у которого место происхождения конструкторской и программной документации на выпускаемую продукцию, а также место потребления продукции не имеет определяющего значения;

• Определение "Отечественный производитель" должно применяться к конкретному предприятию и к конкретному производимому им оборудованию, т.к. одно и тоже предприятие может одновременно производить несколько видов продукции, будучи или нет правообладателем авторских прав.

На вопрос "Дайте определение "Отечественное (Российское) оборудования связи" 90% респондентов ответило: "Российским должно признаваться оборудование, разрабатываемое и производимое Отечественным Производителем".

В ходе проведения опроса также была высказана просьба прокомментировать предложения по определению статуса "отечественный производитель" на основании следующей формулы, определяющей уровень локализации производства:

Ул = (1-И/С)*100% при условии, что 0 < И < С,

где Ул — уровень локализации продукции; И — валютная стоимость импортируемого сырья, материалов и комплектующих; С — производственная себестоимость единицы продукции.

Большинство респондентов ответило, что применение данной формулы напрямую не представляется целесообразным т.к. в среднесрочной перспективе не следует ожидать резкого снижения доли импортных изделий микроэлектроники в российском телекоммуникационном оборудовании и, следовательно, повышения уровня локализации. Наверное, было бы целесообразно ввести поэтапный показатель уровня локализации производства, как это сделано, например, в автомобильной промышленности.

В заключении о самом главном — об эффективности работы отечественных компаний отрасли.

Для проведения анализа экономической эффективности работы отечественных производителей телекоммуникационного оборудования были использованы предоставленные предприятиями данные по среднегодовому объему продукции, проданной за период 2006 — 2008 гг. Для предприятий первой группы этот показатель в среднем составил 400 млн. рублей в год, для предприятий второй группы — 170 млн. руб. в год и для третьей группы — 50 млн. руб в год.

В период 2006-2008 гг. российские предприятия произвели и реализовали операторам связи и Интернет-провайдерам оборудования и устройств связи примерно на сумму 6,97 млрд. руб. в год (рис. 6).

Приходится отметить, что по итогам работы в 2009 г. ожидается, что этот показатель будет как минимум в 2,5 раза меньше.

Отечественными производителями телекоммуникационного оборудования за последние 4 года поставлено на сети связи общего пользования и корпоративные сети (порядка 85% — на сети Российской Федерации и порядка 15% - в Казахстан, Белоруссию и на Украину): свыше 3,0 млн. портов коммутационного оборудования (с коммутацией каналов и пакетов); систем передачи абонентского доступа и магистрального уровня (аналоговых, ИКМ и оптических) на сумму свыше 6 млрд. рублей; пассивного телекоммуникационного оборудования (кроссовое оборудование, телекоммуникацион-

Среднегодовой объем продаж российского телекоммуникационного оборудования в период 2006-2008г.г. (млрд. руб.)

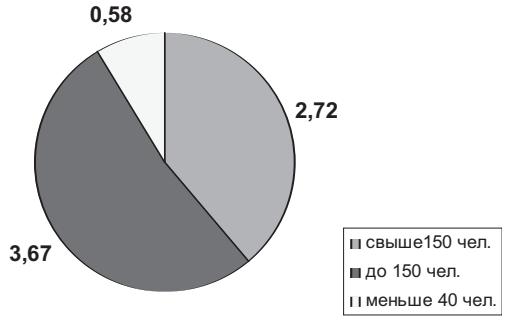


Рис. 6

ные шкафы, коробки и стойки различного назначения, уличные телекоммуникационные колодцы) поставлено на сумму свыше 2,2 млрд. руб.; почти на 200 млн. руб. поставлено измерительной аппаратуры, систем управления и мониторинга.

Кроме этого в номенклатуре выпускаемого предприятиями отрасли оборудования представлены различные типы коммутаторов и маршрутизаторов для сетей передачи данных, модемов, радиосистем, оборудование защиты, биллинговые системы и оборудование другого назначения.

Не неся практически никакого инвестиционного бремени, казна Российской Федерации в период 2006-2008 гг. получила от предприятий отрасли только в виде НДС порядка 1,25 млрд. руб. в год.

В заключение еще раз подчеркнем, что предприятия отрасли готовы принять активное участие в реализации всех мер, направленных на создание в Российской Федерации высокоэффективного производства телекоммуникационного оборудования, способного успешно конкурировать как на внутреннем, так и на международном рынках.

Литература

1. **Докучаев В.А.** Надежды малого бизнеса (ч.1). Вестник связи International, №3, 2000. — С.47-49.
2. **Докучаев В.А.** Надежды малого бизнеса (ч.2). Вестник связи International, №4, 2000. — С.20-24.
3. **Докучаев В.А.** "Комплектующие" успеха отечественной телекоммуникационной промышленности (ч.1). Вестник связи International, №1, 2001. — С.61-65.
4. **Докучаев В.А.** "Комплектующие" успеха отечественной телекоммуникационной промышленности (ч.2). Вестник связи International, №2, 2001. — С.20-24.
5. **Докучаев В.А.** Обзор рынка производителей средств связи. Живая электроника России. Том 2. Из-во "Электронные компоненты", 2001. — С.53-56.
6. **Докучаев В.А.** Выравнивание таможенных пошлин на комплектующие и аппаратуру связи. Вестник связи International, №6, 2001. — с.18-20.
7. John Handley. Telebomb. The Truth Behind the 500 billion Telecom Bust and What the Industry Must Do to Recover.: AMACOM (June 14, 2005), ISBN: 0814408338.

Перспективные требования к сетевой синхронизации и распределению сигналов точного времени в системе связи РФ

Произведена разработка перспективных требований, предъявляемых к сетевой синхронизации и распределению сигналов точного времени в системе связи РФ, в том числе с применением российской спутниковой радионавигационной системы (СРНС) ГЛОНАСС.

Мишенков С.Л., Смирнов Н.И., Караваев Ю.А.,
МТУСИ

Введение

Синхронизации в цифровых сетях системы связи РФ должна совершенствоваться в связи с разрабатываемой в настоящее время интегрированной транспортной сети следующего поколения (NGN — Next Generation Network), объединяющей в единой структуре независимые ранее сети с асинхронным пакетным режимом передачи (АРП, ATM — Asynchronous Transfer Mode — асинхронный режим передачи) и сети синхронной цифровой иерархии (СЦИ, SDH — Synchronous Digital Hierarchy — синхронная цифровая иерархия) с синхронным пакетным режимом передачи (СРП). Если первые сети (АРП) могли функционировать при весьма условных требованиях к синхронизации, то вторые (СРП) могут существовать только при жестких требованиях — на уровне первых десяти наносекунд. Идея объединения сетей АРП и СРП приводит к необходимости временной упорядоченности асинхронной и синхронной систем на уровне стыков систем при условии самого высокого уровня временной (<10 нс) и частотной стабильности тактовой синхронизации (<10-12 — 10-13). Системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС) и системы единого времени, существовавшие в сетях связи независимо друг от друга, в системе новой глобальной инфраструктуры должны объединиться в единую систему частоты и времени высокой метрологической достоверности.

NGN — концепция перспективной глобальной интегрированной системы связи

В настоящие время активно разрабатывается концепция создания глобальных интегрирующихся в единую сеть систем [1,2] и средств формирующих услуги, а также объединение в единую инфраструктуру систем АРП и СРП в структуре NGN.

Современные темпы развития глобальных сетей характеризуются циклом обновления программного обеспечения один раз в полгода, аппаратурного парка — один раз в два года, концепций — один раз в пять-шесть лет и увеличения быстродействия на 22% каждый год.

В создании системы NGN заложены следующие концептуальные факторы развития:

— создание глобальных сетей, систем и их инфраструктуры;

— доведение любых услуг требуемого качества до каждого абонента;

— мобильность и оперативность предоставления услуг;

— создание глобальных сетей, систем инфраструктур (GII, IN, ISBN, B-ISDN, EACC, мультисервисных сетей, ATM, NGN, GII на базе IP и др.);

— любая услуга любому абоненту нужного качества за приемлемую плату.

Концептуальные факторы реализуются технологическими факторами развития такими как: пропускная способность физических сред, пропускная способность оптоволокна и темпы его освоения, рост трафика, компьютерные технологии, электроника, микроэлектроника, квантовая/оптическая электроника, биоэлектроника и, как следствие, миниатюризация, уменьшение сроков разработки, массовое применение.

Указанные факторы развития в первую очередь миниатюризация аппаратных средств, повышение удельного веса программного обеспечения влекут за собой интеграцию функций, которые на пути к NGN определяют следующие основные тенденции развития:

— развитие транспортных сетей и их синхронизации;

— разделение транспортных функций и функций предоставления услуг;

— формирование единой сетевой инфраструктуры, поддерживающей многочисленные приложения, услуги;

— переход от конкуренции между операторами к конкуренции услуг одного оператора.

Основной тенденцией современных транспортных сетей является вытеснение технологий с СРП и переход на пакетную передачу — принцип "все через IP" ("All IP").

Эволюция транспортных сетей тесно связана с развитием методов сетевой синхронизации потоков информации. Сети синхронизации появились и развиваются как средство решения конкретных задач передачи и коммутации. Традиционные задачи синхронизации: сетевая, тактовая и цикловая синхронизация; синхронизация пакетов; синхронизация частот задающих генераторов АСП.

С развитием конвергенции в направлении NGN актуальными в области синхронизации становятся следующие задачи:

— синхронизация пакетных сетей и их стыков с сетями СРП;

— синхронизация сетей мобильной связи 3G и следующих поколений;

— синхронизация мультимедийных приложений;

— передача сигналов точного времени (протоколы NTP, PTP);

— анализ состояния цифровых сетей связи.

В технологиях передачи информации сформировались две группы технологий:

— сети СРП — ПЦИ, СЦИ, SONET, NG-SDH, MSC2G и др.; особенности синхронного режима: постоянная скорость передачи, циклическая передача сигнала, соединение каналов;

— сети АРП — ATM, Ethernet, IP (TCP/IP), MPLS, I/P MPLS и др; особенности этого режима: передача пакетов, неориентированные соединения, возможна индексация услуг.

Обе технологии, SDH и ATM, хорошо отработаны и стандартизованы, в том числе и в части синхронизации. Пик развития сетей синхронизации — вторая половина 90-х годов. При этом большую роль играют два следующих фактора: 1) технология SDH может реализовать все свои свойства и преимущества только опираясь на распределение надежного синхросигнала высшего качества QL1 (рек. G.811 — PRC); 2) появление глобальных спутниковых навига-

ционных систем (ГСНС) GPS, ГЛОНАСС и др.

Технология SDH сегодня широко распространена, способствовала отработке основных правил проектирования сетей синхронизации и сохраняет свои позиции до настоящего времени, адаптируясь к новым реалиям (концепция NG-SDH).

Технология ATM оставила базовые принципы и практические наработки: дифференциацию трафика по уровню качества; правила взаимодействия сетевых элементов; принцип коммутации по меткам. Все это сегодня реализуется в транспортной технологии многопротокольной коммутации по меткам MPLS, претендующей на роль основной в NGN.

Требования к синхронизации в сети ATM были приближены к уровню сетей SDH. Это обеспечивает необходимую стабильность при взаимодействии сетей ATM и SDH по сценарию АРП через СРП. При этом обеспечивается передача ячеек (пакетов) ATM через транспортные сети СЦИ и ПЦИ. С распространением сценария взаимодействия СРП — через АРП необходимо приближение норм на качественные показатели пакетных сетей к нормам сетей SDH. Такая позиция отстаивается в проекте Рекомендаций МСЭ-Т G.pactiming (рек. G.8261), посвященном синхронизации пакетных сетей.

При этом возникает задача транспортировки и распределения сигналов синхронизации в пакетной среде сети NGN с качеством не хуже, чем в сетях предыдущего поколения. На сегодня предложено два метода решения задачи транспортировки тактовых сигналов: синхронный Ethernet (SyncE) и сетевые протоколы с передачей временных меток (NTP и PTP).

В настоящее время происходит очередной этап интеграции технологий цифровой связи с конвергенцией методов и способов, до настоящего времени развивавшихся независимо — сетей АРП и СРП. Этот этап конвергенции поставил задачу согласования транспортных сетей по направлению от АРП к СРП и, наоборот. На пути к этой прозрачности стоит проблема установления единых подходов в синхронизации в АРП и СРП. В основу сквозной синхронизации выбирается система отработки в СРП и переносится на синхронизацию сетей пакетной передачи АРП. На таком пути будет строиться перспективная глобальная инфраструктура телекоммуникации операторского класса, доступная любому оператору, предоставляющему любые интегрированные услуги связи.

Синхронизация технологических цифровых сетей связи

Рассмотрим особенности системы ТСС общенационального значения. Качество сигналов синхронизации Первичные эталонные источники (ПЭИ), входящие в состав первичных эталонных генераторов (ПЭГ) и ведомых задающих генераторов (ВЗГ) обеспечивают относительную погрешность частоты не более 1·10-12 (при норме 1·10-11) за 12 — 15 лет [3].

При подключении к ПЭГ синхросигналы соответствуют первому классу присоединения, к ВЗГ — второму классу, а к мультиплексорам СЦИ — третьему классу присоединения и согласуются с требованиями "Присоединение сетей операторов связи к базовой сети тактовой сетевой синхронизации" (Мининформсвязи России, Москва, 2001 г.).

Надежность и живучесть систем ТСС. Аппаратурная надежность ПЭГ обеспечивается наличием в составе каждого из них "в горячем режиме" трех — двух водородных стандартов частоты и двухсистемного приемника GPS/ГЛОНАСС с управляемым рубидиевым источником частоты. При пропадания всех опорных сигналов аппаратура переходит в режим удержания и обеспечивает выполнение требований Рекомендации МСЭ-Т G.811 (1·10-11) в течение двух — трех суток в течение которых устраняют неисправности.

Все ВЗГ с учетом основного и резервного синхросигналов имеют трехкратный резерв и могут работать в режиме ПЭГ (режим "распределенного ПЭГ"), используя сигналы спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС. При пропадании всех опорных сигналов ВЗГ также переходят в режим удержания аналогично указанному выше режиму.

Надежность и живучесть системы ТСС гарантируется следующим: однородностью сети связи; наличием прямых и резервных путей синхронизации; наличием кольцевых структур; резервными сигналами от приемников GPS/ГЛОНАСС; использованием в аварийных ситуациях комбинированных режимов работы системы ТСС.

Распределение сигналов точного времени по цифровым сетям электросвязи

Эффективная передача сигналов точного времени по наземным сетям электросвязи в цифровых сетях связи осуществляется и возможна только при качественных системах ТСС.

Сегодня в нашей стране функционируют две системы ТСС общенационального значения. Первая — базовая система ТСС, способная обеспечить синхронизацией требуемого качества все цифровые сети связи, взаимодействующие с ЕСЭ России. Решением Госкомиссии по электросвязи № 11 от 27.09.00 г. базовой системой ТСС ЕСЭ России является система ТСС ОАО "Ростелеком" [3]. Вторая система — ТСС ЗАО "Компания ТрансТеле-Ком" обеспечивает синхросигналами все цифровые сети связи ОАО "РЖД" Минтранса России и предоставляет синхросигналы должного качества операторам цифровых сетей ЕСЭ России.

Система ТСС "Ростелеком" включает пять регионов: Центральный, Северо-Западный, Южный, Сибирский и Дальневосточный. В общей сложности в них установлено шесть ПЭГ фирмы "Oscilloquartz", укомплектованных ПЭИ. Синхросигналы по региону распространяются через системы СЦИ и ПЦИ. Восстановление и поддержание необходимого качества синхросигналов производится с использованием 20 ВЗГ фирм "Oscilloquartz" и "Siemens".

Указанные системы ТСС работают независимо, в псевдосинхронном режиме, но территориально дополняют друг друга и по существу составляют основу национальной системы ТСС, пока не оформленную юридически. Задача создания единой системы ТСС ЕСЭ России и пути ее реализации были сформулированы в руководящем документе отрасли, где предусмотрен взаимный обмен синхросигналами сетей ТСС ОАО "РЖД" и базовой сети ТСС ЕСЭ России в 12 пунктах от Москвы до Хабаровска и подключения объединенной системы ТСС к государственному эталону частоты и времени.

Организация единой национальной системы ТСС позволит существенно повысить надежность и живучесть системы синхронизации ЕСЭ России, гарантировать качества услуг по синхронизации и частотно-временной информации, уменьшить расходы операторов связи, реализовать наземный сегмент государственной системы единого времени.

В ПЭГ ОАО "РЖД" реализована функция, имеющая принципиальное значение для реализации системы единого времени, сличения частот эталонных сигналов со шкалой всемирного координированного времени с использованием приемников ГЛОНАСС/GPS.

В соответствии с Рек. МСЭ-Т G.811 и стандартами ETSI 300-462-3 и ETSI 300-462-6 для цифровых сетей электросвязи относительное отклонение частоты синхросигналов от ее номинального значения на выходах ПЭГ за его срок службы не должно превышать 10-11.

Требования к синхронизации систем мобильной связи GSM/EDGE и UMTS (UTRAN) определены в технических специфи-

кациях организации 3GPP по стандартизации систем 3-его поколения.

Базовые станции GSM используют единственный источник частоты с абсолютной точностью лучше чем 5·10-8 для обоих частотозадающих систем радиочастотной и тактовой. Тот же самый источник должен использоваться для всех несущих частот базовой станции. Для класса пико базовых станций GSM абсолютная точность смягчается до значения 1·10-7.

Требования к синхронизации систем UMTS(UTRAN). Распределение точной опорной частоты на элементы сети в UTRAN с точностью частоты лучше, чем 5·10-8.

Синхронизации систем UMTS предусматривает возможность синхронизации базовых станций с помощью приемников GPS и Galileo.

Точное время и его источники. Средства определения и хранения времени многократно совершенствовались, точность измерения секунды за последние 60 лет изменилась с 10-3 до сегодняшних 10-15 (цезиевые часы).

Стандартной шкалой времени, используемой в большинстве стран мира, с 1 января 1972 г. является Всемирное координированное время (Coordinated Universal Time, UTC). Шкала UTC образуется из шкалы Международного атомного времени (International Atomic Time, TAI) в результате усреднения показаний множества атомных часов по всему миру.

Шкала UTC образуется путем добавления к шкале TAI по мере необходимости дополнительной секунды для того, чтобы расхождение UTC с Всемирным временем (Universal Time, UT1), основанным на параметрах вращения Земли, не превышало 0,9 с.

В пределах отдельного государства действует национальная шкала координированного времени, формируемая государственным эталоном. Для России это шкала UTC(SU). В 1998г. Госстандартом России утвержден новый Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени. Этот эталон находится в ведении Государственной службы времени и частоты (ГСВЧ).

Сигналы точного времени (СВ) шкалы UTC или национальной шкалы распространяются методами имеющими различную точность, включая радиостанции, СРНС, телефонные линии и "возимые часы" и др..

Классы точного времени. При рассмотрении распределения СВ по цифровым сетям электросвязи (ЦСЭС) пользуются понятием класса точности этих сигналов (см. табл.1).

Таким образом, СВ самого высокого — I класса точности, который предполагается реализовать с помощью ЦСЭС, будут иметь точность не хуже 10 нс. Достижение таких характеристик точности является одним из направлений совершенствования Государственной системы единого времени и эталонных частот высокой точности.

Характеристики II класса точности соответствуют СВ, получаемым от СРНС или от источника I класса с последующим распространением по сети СЦИ. СВ классов III и IV могут быть сформированы средствами широко распространенных сетей передачи данных TCP/IP, включая Интернет, и при распространении сигналов I и II классов упрощенными методами.

Методы передачи сигналов времени и частоты

Системы передачи точного времени имеют длительную историю. В мире и нашей стране существует множество таких систем. В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R TF.1011-1 в табл. 2 представлены основные, существующих в настоящее время высокоточные средства передачи сигналов времени и частоты. При выборе метода передачи сигналов времени и частоты учитывается зона покрытия, стоимость и др.

Наивысшая точность СВ, обеспечиваемая системами электросвязи, при непосредственной передаче сигнала по оптоволокну (ОВ) составляет 10-50 пс (локально, до 50 км) , по коаксиальному кабелю, микрополосковой линии или сети наземного телевидения

Таблица 1

Классы точности сигналов точного времени СВ

Обозначение класса точности СВ	I	II	III	IV
Допустимое отклонение времени от эталонной шкалы, с	$\leq 1\cdot10^{-8}$ (10 нс)	$1\cdot10^{-8}$-$1\cdot10^{-6}$ (10 нс -1 мкс)	$1\cdot10^{-6}$-$1\cdot10^{-4}$ (1 мкс -0,1 мс)	$1\cdot10^{-4}$-$1\cdot10^{-2}$ (0,1 мс -10 мс)

Таблица 2

Сравнение различных методов передачи сигналов времени и частоты

Метод передачи сигналов	Типовая точность времени относительно времени UTC	Типичная стабильность частоты передачи
Сеть звукового ВЧ вещания	1…10 мс	10^{-6} до 10^{-8} (более чем на 1 день)
Сеть звукового вещания сверхдлинноволнового (СДВ) диапазона	1 мс	10^{-10} до 10^{-11}
Навигационные радиостанции длинноволнового (ДВ) диапазона (импульсная)	1 мкс	10^{-12}
Телевизионные наземные вещательные каналы	10 нс	10^{-12} до 10^{-14} (более чем на 1 день)
Навигационный спутник, широковещательная радиопередача (GPS и ГЛОНАСС)	50…500 нс	10^{-10} до 10^{-12}
Навигационный спутник, (GPS и ГЛОНАСС)	5…20 нс	10^{-13} до 10^{-15} (от 1 до 50 дней)
Другие геостационарные ретрансляционные спутники	20 мкс	$5\cdot10^{-10}$
Спутник связи, двухсторонний	1…10 нс	10^{-14} до 10^{-15}
Телефонные линии связи	1…10 мс	10^{-8} (более чем 1 день)
Оптоволокно, до 50 км	10…50 пс	10^{-16} до 10^{-17}
Оптоволокно, более 2000 км	100 нс	10^{-13} до 10^{-14} (более чем 1 день)
Линия микроволновой связи	1…10 нс	10^{-14} до 10^{-15}
Коаксиальный кабель	1…10 нс	10^{-14} до 10^{-15}

находится в диапазоне 1-10 нс.

Сейчас широко используются временные сигналы, например, спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS для определения местоположения в пространстве и хронирования многих наземных систем.

Система распределения СВ и ее взаимодействие с существующей системой ТСС

При распределении СВ по ЦСЭС, а также с целью хранения шкалы времени, целесообразно использовать высокостабильное генераторное оборудование систем ТСС, а структура системы распределения СВ должна быть иерархической, аналогичной системе ТСС, то есть на сети должны существовать узлы распределения СВ первого, второго и третьего уровней, соответственно классам точности СВ. В соответствии с данной иерархической структурой, узлы первого уровня должны получать сигналы СВ от эталонов ГСВЧ, узлы второго уровня — от узлов первого уровня и от приемников СРНС ГЛОНАСС/GPS. Узлы третьего уровня должны получать сигналы от узлов второго уровня или от узлов первого уровня, но по упрощенным схемам, по сравнению с передачей СВ к узлам второго уровня.

Синхронизация сетей нового поколения

На сети NGN наряду с требованиями "операторского класса" возлагаются также функции распределительных сетей тактовой синхронизации [4]: качественные показатели сигналов синхронизации должны удовлетворять жестким требованиям традиционных пользователей ТСС; сигналы тактовой синхронизации должны передаваться в сетях с АРП, прерывистым трафиком и значительным разбросом задержек.

На сегодняшний день предложено два метода решения задачи транспортировки тактовых сигналов высокой стабильности в пакетной среде: синхронный Ethernet (SyncE), и сетевые протоколы с передачей временных меток (NTP и PTP).

Задача технологии SyncE — обеспечение передачи стабильной частоты на физическом уровне в составе информационного сигнала Ethernet. Для достижения этой цели использованы технические решения, хорошо зарекомендовавшие себя в традиционных сетях синхронизации с распределительной сетью на базе систем SDH. На сегодняшний день SyncE представляет достаточно хорошо отработанную и стандартизованную МСЭ-Т технологию.

В традиционном оборудовании Ethernet допустимая точность составляет ± 100 ppm, а в SyncE допустимая точность возрастает до ± 4,6 ppm, достигая показателей оборудования SDH.

Еще один перспективный метод обеспечения синхронизации в пакетных сетях — сетевые протоколы с передачей временных меток: NTP (Network Time Protocol) — сетевой протокол передачи времени; PTP (Precise Time Protocol) — протокол передачи точного времени по стандарту IEEE 1588 (версия v1 и v2).

Точность первичных NTP серверов однако не превышает нескольких миллисекунд, что ограничивает их использования.

Протокол PTP совместим с протоколами IPv4 и IPv6, которые обычно используются в современных сетях IP/MPLS. PTP позволяет достичь точности частоты порядка микросекунды, а использование временных меток позволяет учесть время задержки и провести коррекцию фазы 40-50 раз в секунду, что позволяет повысить точность передачи метки до 1 нс.

Кроме вышеуказанных решений для синхронизации сетей нового поколения перспективно использование ГНСС. Используют ГНСС-приемник как источник для частоты, фазы и синхронизации точного времени. Современное состояние синхронизации по GPS/ГЛОНАСС -приемникам позволяет получить точность частоты: 10-12 (более чем 20 000 с) и точность времени 50 нс относительно UTC. Достоинством этого решения является зрелая технология и многократное наличие ГНСС систем (GPS, Glonass, Galileo, Beidou).

Выводы

1. Эволюция транспортных сетей в направлении к NGN идет по пути перехода к пакетным технологиям на канальном и сетевом уровнях.

2. Развивающаяся система цифровой синхронной иерархии требует сквозной по всей сети РФ передачи данных синхронизации на уровне 1 класса точности.

3. Для реализации системы сквозной синхронизации необходимо создание самостоятельной системы распределения времени, построенной иерархически от государственных эталонов.

4. Синхронизация сетей NGN перспективна с помощью технологий синхронного Ethernet и протокола распределения точного времени PTP, а также глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), которые должны рассматриваться как источники частоты и точного времени для региональной синхронизации в рамках внутриузловой синхронизации и обеспечения подвижной связи.

5. Целесообразно рассмотреть проблему повышения точности спутниковой синхронизации по системе ГЛОНАСС до уровня первого класса в процессе еепоследующей модернизации и в рамках создания системы распределения сигналов точного времени первого класса, которая ставится перед Государственной службой времени и частоты.

Литература

1. **Аджемов А.С., Мишенков С.Л., Смирнов Н.И., Караваев Ю.А.** Комплексная единая интегрированная телекоммуникационная система информатизации социального развития России. // T-Comm , 2009. — № 7.

2. **Кусков В.Д.** Куда идти дальше?) // Российский космос, 2002. — №2. — С.39-43.

3. **Рыжков А.В.** Частота и время в инфокоммуникациях XXI века. — М.: МАС, 2006. — 320 с.

4. Материалы 3-его научно-практического семинара "Синхронизация сетей электросвязи. Актуальные проблемы, технические решения, перспективы развития". Алушта:, ГП "УНИИС" (Киев, Украина). — 30.09.2009.

Анализ протоколов маршрутизации в сетях NGN

Производится анализ статических и динамических протоколов маршрутизации в сетях связи с пакетной коммутацией.

Алексеев Е.Б., Данилов А.Н., Матвеев В.А., Грош А.О.,
МТУСИ

Главным параметром при маршрутизации пакета в сетях NGN является IP-адрес его места назначения [1-3]. Проблема оптимальной маршрутизации в современных пакетных сетях, насчитывающих уже более миллиарда узлов, весьма сложна. Полная таблица маршрутов может содержать 109! записей (здесь ! означает знак факториала), что не по плечу не только сегодняшним ЭВМ. Внешние маршрутизаторы обычно ищут оптимальный путь между сетями, а не отдельными ЭВМ. Тем не менее, размеры маршрутных таблиц растут экспоненциально и традиционные схемы и решения становятся неэффективными. В общем случае для формирования оптимального маршрута нужно владеть исчерпывающей информацией обо всех сетевых сегментах. Это реально только для локальных сетей малого или среднего размеров. Следует также учитывать, что ситуация в сети постоянно меняется и маршрутизаторы для решения их задач имеют ограниченные ресурсы времени. На практике оптимизация осуществляется для ограниченной области сегментов, тогда и объем данных, подлежащих обработке, сокращается на многие порядки. Понятно, что компромиссы здесь неизбежны и результирующий маршрут в этом случае отнюдь не всегда будет оптимальным. Сбор данных о сетевых сегментах и маршрутах выполняется путем обмена этой информацией между маршрутизаторами. Переадресация же дейтограммы должна осуществляться за время 1-20 миллисекунд, которое зависит от длины очереди в буфере.

Одно из радикальных мер решения проблемы — географическая маршрутизация, которая станет возможной при массовом внедрении адресации IPv6.

При географическом принципе каждая из стран получает равные по численности блоки IP-адресов (США и Андорра получат равное число адресов). При 32-битах адреса такая схема была неосуществима.

В начале 90-х годов было принято решение ввести понятие автономной системы (AS). Автономная система — это совокупность локальных сетей, имеющая одного администратора и единую маршрутную политику. Введение AS позволило несколько сократить размер маршрутных таблиц, так как маршруты можно было прокладывать уже не между локальными сетями, а между более крупными образованиями — автономными системами. Само название таких систем подчеркивает их независимость и только добровольное сотрудничество помогает всем участникам решать общие проблемы.

IP делит все ЭВМ на маршрутизаторы и обычные ЭВМ (host), последние, как правило, не рассылают свои маршрутные таблицы. Предполагается, что маршрутизатор владеет исчерпывающей информацией о правильных маршрутах (хотя это и не совсем так). Обычная ЭВМ имеет минимальную маршрутную информацию (например, адрес маршрутизатора локальной сети и сервера имен). Автономная система может содержать множество маршрутизаторов, но взаимодействие с другими AS она осуществляет только через один маршрутизатор, называемый пограничным (border gateway, именно он дал название протоколу BGP). Пограничный маршрутизатор нужен лишь тогда, когда автономная система имеет более одного внешнего канала, в противном случае его функции выполняет порт внешнего подключения (gateway). Здесь и далее будем использовать достаточно простые на первый взгляд понятия внешних и внутренних каналов, внешних и внутренних протоколов или маршрутизаторов.

Если адресат достижим более чем одним путем, маршрутизатор должен сделать выбор, этот выбор осуществляется на основании оценки маршрутов-кандидатов. Обычно каждому сегменту, составляющему маршрут, присваивается некоторая величина — оценка этого сегмента. Каждый протокол маршрутизации использует свою систему оценки маршрутов. Оценка сегмента маршрута называется метрикой. Здесь следует обратить внимание на то, что при выборе маршрута всем сегментам пути должны быть даны сопоставимые значения метрики. Недопустимо, чтобы одни сегменты оценивались числом шагов, а другие — по величине задержки в миллисекундах. В пределах автономной системы это обычно не создает проблем, ведь это зона ответственности одного администратора, но в региональных сетях, где работает много администраторов, проблема выбора метрики может стать реальной трудностью. Именно по этой причине в таких сетях часто используется вектор расстояния, исключающий субъективность оценок метрики.

Помимо классической схемы маршрутизации по адресу места назначения, часто используется вариант выбора маршрута отправителем (данный вариант получил дальнейшее развитие при введении стандарта IPv6). В этом случае IP-пакет содержит соответствующий код опции и список промежуточных адресов узлов, которые он должен посетить по пути к месту назначения.

Существуют и другие схемы, например, использующие широковещательные методы адресации (flooding), где каждый приходящий пакет посылается по всем имеющимся исходящим каналам, за исключением того, по которому он получен. С тем чтобы исключить беспредельное размножение пакетов в заголовок вводится полесчетчик числа шагов. В каждом узле содержимое поля уменьшается на единицу. Когда значение поля становится равным нулю, пакет ликвидируется. Исходное значение счетчика определяется размером субсети. Предпринимаются специальные меры против возможного зацикливания пакетов. Существует усовершенствованная версия широковещательной маршрутизации, называемая селективной широковещательной рассылкой. В этом алгоритме рассылка производится не по всем возможным направлениям, а только по тем, которые предположительно ведут в правильную сторону. Широковещательные методы не относятся к широко применимым, но они используются там, где нужна предельно возможная надежность, например в военных приложениях, когда весьма вероятно повреждение тех или иных каналов. Данные методы могут использоваться лишь при формировании виртуального канала, ведь они всегда обеспечивают наикратчайший путь, так как перебираются все возможности. Если путь записывается в пакете, получатель может выбрать оптимальный проход и уведомить об этом отправителя.

Большинство алгоритмов учитывают топологию связей, а не их качество (пропускную способность, загрузку и пр.), но существуют подходы к решению проблемы статической маршрутизации, учитывающие как топологию, так и загрузку (flow-based routing). В некото-

рых сетях потоки между узлами относительно стабильны и предсказуемы. В этом случае появляется возможность вычислить оптимальную схему маршрутов заранее. Здесь на основе теории массового обслуживания производится оценка средней задержки доставки для каждой связи. Топология маршрутов оптимизируется по значению задержки доставки пакета.

Статические протоколы (примером реализации статических протоколов может служить первая версия маршрутизатора Netblazer) предполагают, что любые изменения в маршрутные таблицы вносит администратор сети. Динамическая маршрутизация, обладая очевидными преимуществами, к сожалению, облегчает задачу хакеру, пытающемуся проникнуть в сеть.

Рассмотрим для примера сеть, изображенную на рис. 1.

Примитивная таблица маршрутизации для приведенного примера может иметь вид (для маршрутизатора G2) (рис. 2).

Сеть-адресат	Маршрут к этой сети
193.0.0.0	Прямая доставка
192.148.0.0	Прямая доставка
192.0.0.0	Через адрес 193.0.0.1
192.166.0.0	Через адрес 192.148.0.7

Рис. 2. Примитивная таблица маршрутизации

Заметно сокращают размер маршрутной таблицы маршруты по умолчанию. В этой схеме сначала ищется маршрут в таблицах, а если он не найден, пакет посылается в узел, специально выбранный для данного случая. Так, когда имеется только один канал за рубеж, неудачный поиск в таблице маршрутов по России означает, что пакет следует послать по этому каналу и пусть там с ним разбираются. Маршруты по умолчанию используются обычно тогда, когда маршрутизатор имеет ограниченный объем памяти или по какой-то иной причине не имеет полной таблицы маршрутизации. Маршрут по умолчанию может помочь реализовать связь даже при ошибках в маршрутной таблице. Это может не иметь никаких последствий для малых сетей, но для региональных сетей с ограниченной пропускной способностью такое решение может повлечь серьезные последствия. Алгоритм выбора маршрута универсален и не зависит от протокола маршрутизации, который используется лишь для формирования маршрутной таблицы.

"Прозрачные" backbone не работают с адресами класса С (все объекты такой сети должны иметь один адрес, а для с-класса число объектов слишком ограничено). "Прозрачные" мосты трудно диагностировать, так как они не следуют протоколу ICMP (команда ping не работает, в последнее время такие объекты снабжаются snmp-поддержкой). Зато они позволяют перераспределять нагрузку через несколько маршрутизаторов, что невозможно для большинства протоколов.

Протоколы маршрутизации отличаются друг от друга тем, где хранится и как формируется маршрутная информация. Оптимальность маршрута достижима лишь при полной информации обо всех возможных маршрутах, но такие данные потребуют слишком большого объема памяти.

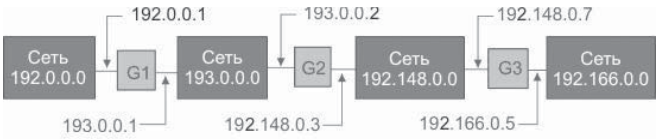


Рис. 1. Схема для иллюстрации методики составления маршрутных таблиц. G1, G2, G3 — маршрутизаторы

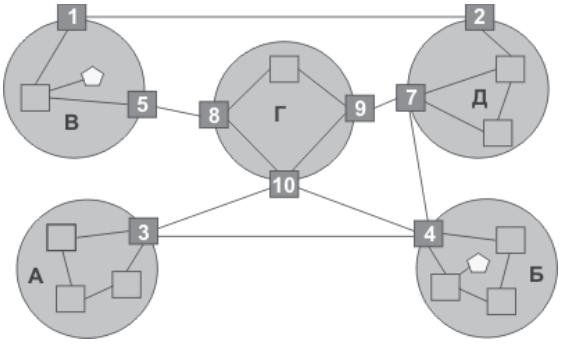


Рис. 3. Пример взаимодействия зон с разными протоколами маршрутизации

Полная маршрутная информация доступна для внутренних протоколов при ограниченном объеме сети. Чаще приходится иметь дело с распределенной схемой представления маршрутной информации. Маршрутизатор может быть информирован лишь о состоянии близлежащих каналов и маршрутизаторов.

Рассмотрим динамические протоколы (обычно используются именно они)[4,5].

В маршрутизаторе с динамическим протоколом (например, BGP-4) резидентно загруженная программа-драйвер изменяет таблицы маршрутизации на основе информации, полученной от соседних маршрутизаторов. В ЭВМ, работающей под UNIX и выполняющей функции маршрутизатора, эту задачу часто решает резидентная программа gated или routed (демон). Последняя — поддерживает только внутренние протоколы маршрутизации.

Применение динамической маршрутизации не изменяет алгоритм маршрутизации, осуществляемой на IP-уровне. Программа-драйвер при поиске маршрутизатора-адресата по-прежнему просматривает таблицы. Любой маршрутизатор может использовать два протокола маршрутизации одновременно, один для внешних связей, другой — для внутренних. Для стыковки внешнего маршрута с внутренним в большинстве протоколов предусматриваются специальные средства.

Может возникнуть вопрос, откуда возникло ограничение на число внешних и внутренних протоколов маршрутизации? Главная причина — согласование метрик сетевых каналов. С внешними протоколами все относительно просто. Во-первых, их мало, во-вторых, практически все они используют для оценки каналов вектор расстояния, что потенциально может вообще снять рассматриваемое ограничение. А как быть с внутренней маршрутизацией? Ведь существуют протоколы, базирующиеся на векторе расстояния (RIP), и на состоянии канала (OSPF или IGRP). Предположим, что в одной зоне сети работает RIP, где канал оценивается числом шагов до цели, а в другой — OSPF с оценкой состояния канала, выполненной администратором сети. Если маршрут содержит фрагменты пути, пролегающие через обе указанные зоны, возникает проблема оценки такого пути. Как сложить метрики этих участков, ведь они несовместимы? В принципе задача имеет решение, для этого на границах зон с разными протоколами маршрутизации размещаются специальные маршрутизаторы, которые оптимизируют пути для каждого из протоколов (и зон) независимо, но и в этом случае возможны трудно разрешимые ситуации. Один из таких вариантов показан на рис. 3.

Пусть на рис. 3 в сетевых зонах, обозначенных кругами используется протокол RIP, а в остальном пространстве — OSPF. ЭВМ обозначены пятиугольниками, внутренние маршрутизаторы прямоугольниками, а окрашенные прямоугольники отмечают пограничные маршрутизаторы зон. Любые маршруты из зоны А в зону Б проблем не вызовут, так как внутри зоны маршруты оптимизируются

RIP, а между зонами — протоколом OSPF. Рассмотрим прокладку маршрута из зоны Б в зону В. Здесь следует рассмотреть варианты пути через зоны Г и Д. Важно то, что при выборе оптимального пути придется как-то учитывать метрики как OSPF-части пути, так и фрагменты транзитного пути внутри зон. При этом надо принять решение, с какими весами складывать метрики разных протоколов. Эта проблема снимается, если каждая зона имеет только один пограничный маршрутизатор. Маршрут прокладывается между пограничными маршрутизаторами, а различие маршрутов внутри зон игнорируется. Кстати, именно эта логика лежит в основе рекомендации для автономной системы иметь только один пограничный маршрутизатор. Поясним это на примере, показанном на рис. 4.

Рассмотрим процедуру выбора пути от ЭВМ-1 к ЭВМ-2 из автономной системы AS1 в автономную систему AS2. Имеются метрики, характеризующие путь до маршрутизаторов GW1 и GW2 (M1 и M2). Существует метрика пути от GW1 и GW2 до автономной системы AS2 M3 и M4 (они совсем необязательно равны между собой). В результате мы имеем характеристики двух путей между означенными машинами M1, M3 и M2, M4. Если внутренним протоколом маршрутизации является OSPF или IGMP, то складывать M1 и M4 (соответственно M2 и M4) нельзя, так как в одном случае (M1, M2) это характеристики состояния каналов (администратор назначил их, например, равными 35 и 55), а во втором (M3,M4) - это число шагов до автономной системы AS2 (пусть они равны, например, 6 и 4). Задача сопоставления метрик в этом простом случае может оказаться не по плечу даже суперЭВМ.

Если бы у AS1 был только один пограничный шлюз (например, GW1), то задача решалась бы автоматически. Другим подходом может быть деление глобальной сети на две части, одна делается доступной только через GW1, а вторая - через GW2.

Любая автономная система (AS, система маршрутизаторов, ЭВМ или сетей, имеющая единую политику маршрутизации) может выбрать свой собственный протокол маршрутизации.

Другой проблемой является ситуация, при которой маршрутизатор оказался временно отключен от сети переменного тока и был перезагружен. В этом случае он не будет знать, какой номер кадра следует ожидать. Кроме того, вполне реалистично предположить, что за 136 лет счетчик пакетов в маршрутизаторе может сбиться. Последствия могут оказаться плачевными.

Для решения всех этих проблем можно ввести помимо номера еще и возраст пакета и уменьшать его на единицу раз в секунду. Когда возраст станет равным нулю, маршрутная информация из маршрутизатора удаляется и процедура начинается с нуля.

Другим решением может быть схема, при которой входной пакет, предназначенный для рассылки, посылается соседям не сразу, а выдерживается некоторое время в буфере. Если за время выдержки придет очередной пакет, то их порядковые номера сравниваются. Если они равны, то дубликат отбрасывается. При разных номерах отбрасывается более старый. Для обеспечения надежности получение кадра с маршрутной информацией обязательно подтверждается.

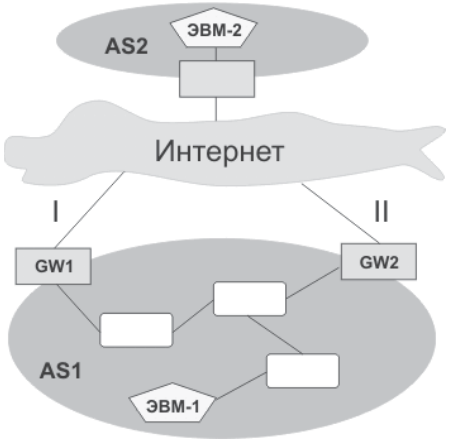


Рис. 4. Прокладывание маршрута между пограничными маршрутизаторами

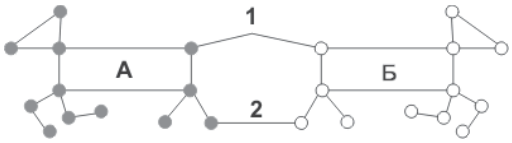


Рис. 5. Пример топологии сети, допускающей осцилляцию маршрутов

Следует учитывать, что каждому сегменту пути может быть присвоено два значения метрики, по одному для каждого из направлений обмена.

Внутренний протокол маршрутизации IGP (Interior Gateway Protocol) определяет маршруты внутри автономной системы. Наиболее популярный IGP — RIP (Routing Information Protocol, RFC-1058), разработан Фордом, Фалкерсоном и Белманом (фирма XEROX) в 1957-62 годах и использует в качестве метрики вектор расстояния. Протокол был базовым в рамках проекта ARPANET. В качестве метрики может выбираться время доступа, число пакетов в очереди, но обычно — это число шагов до места назначения. Если до цели имеется один промежуточный маршрутизатор, то число шагов считается равным 2. Расстояние до любого из соседей равно одному шагу. В этом протоколе всегда выбирается путь с наименьшим числом шагов до цели (наименьшее значение метрики). Маршрутизация на основе вектора расстояния в принципе позволяет получить положительный результат в любой ситуации, но она имеет одну особенность — процесс сходится быстро при обнаружении нового более короткого пути и работает крайне медленно при исчезновении пути. Алгоритм вектора расстояния неявно предполагает, что все каналы имеют равную пропускную способность.

Существует протокол OSPF (Open Shortest Pass First), базирующийся на оценках состояний каналов. Как во всех маршрутных протоколах, использующих состояние канала, многое зависит от того, как вычисляется метрика. Если определяющим фактором выбрать полосу пропускания канала, то при определенных обстоятельствах могут возникнуть труднопреодолимые проблемы. Рассмотрим топологию сети, показанную на рис. 5.

Здесь две субсети А и Б соединены двумя каналами 1 и 2. Кружочками обозначены маршрутизаторы. Если в исходный момент времени основной поток между сетями протекает по каналу 2, он может оказаться перегружен, в то время как канал 1 получит меньшее значение метрики из-за отсутствия загрузки. При очередной оценке каналов будет принято решение переключить поток между сетями на канал 1. После этого будет перегружен канал 1 и так может повторяться до бесконечности. Такая ситуация называется осцилляцией маршрутов и ее желательно избегать. Маршрутные таблицы в маршрутизаторах актуализуются вдоль пути с заметными задержками и отнюдь не синхронно. Такие осцилляции могут в разы понизить пропускную способность сети, что необходимо учитывать, выбирая параметры протоколов маршрутизации. На практике этого не происходит, так как метрики сегментам пути в OSPF присваивает сетевой администратор.

Наиболее старые системы (IGP) используют протокол HELLO. Протокол HELLO поддерживался фирмой DEC, в качестве метрики он использует время, а не число шагов до цели.

Протокол IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) разработан

компанией CISCO для больших сетей со сложной топологией и сегментами, которые обладают различной полосой пропускания и задержкой. Это внутренний протокол маршрутизации имеет некоторые черты сходства с OSPF.

IGRP использует несколько типов метрики, по одной на каждый вид QoS. Метрика характеризуется 32-разрядным числом. В однородных средах этот вид метрики вырождается в число шагов до цели. Маршрут с минимальным значением метрики является предпочтительным. Актуализация маршрутной информации для этого протокола производится каждые 90 секунд. Если какой-либо маршрут не подтверждает своей работоспособности в течение 270 сек, он считается недоступным. После семи циклов (630 сек) актуализации такой маршрут удаляется из маршрутных таблиц. IGRP аналогично OSPF производит расчет метрики для каждого вида сервиса (TOS) отдельно.

Для взаимодействия маршрутизаторов используются внешние протоколы (EGP — Exterior Gateway Protocols).

Одной из разновидностей EGP является протокол BGP (Border Gateway Protocol).

Протокол IDPR (InterDomain Policy Routing Protocol) представляет собой разновидность BGP-протокола. Протокол IS-IS (Intermediate System to Intermediate System Protocol) является еще одним внутренним протоколом, который используется для маршрутизации CLNP (Connectionless Network Protocol). IS-IS имеет много общего с OSPF.

Сразу после включения маршрутизатор не имеет информации о возможностях соседних маршрутизаторов. Статические маршрутные таблицы могут храниться в постоянной памяти или загружаться из какого-то сетевого сервера. По этой причине первейшей задачей маршрутизатора является получение маршрутной информации от соседей, а для начала — выявление наличия соседей и их адресов. Для этой цели посылается специальный пакет Hello через каждый из своих внешних интерфейсов. В ответ предполагается получить отклик, содержащий идентификационную информацию соответствующего маршрутизатора. Когда два или более маршрутизаторов объединены через локальную сеть, ситуация несколько усложняется.

Для протоколов, учитывающих состояние канала, желательно иметь исчерпывающую информацию о нем (загрузка, задержка, пропускная способность, надежность, стоимость и т.д.). Некоторые из перечисленных параметров довольно легко измерить, например, задержку. Для этого вполне пригоден протокол ICMP. К сожалению, многие из указанных параметров довольно сильно коррелированны и подвержены флуктуациям. В частности результаты измерения задержки зависят от загрузки канала (вариация времени ожидания в очереди).

Многие современные протоколы маршрутизации не имеют встроенных средств аутентификации (контроля доступа), что делает их уязвимыми для различных злоупотреблений.

В локальных или корпоративных сетях иной раз возникает необходимость разослать некоторую информацию всем остальным ЭВМ-пользователям сети (штормовое предупреждение, изменение курса акций, телеконференции с большим числом участников и т.д.). Отправителю достаточно знать адреса всех N заинтересованных пользователей и послать им соответствующее сообщение. Данная схема крайне неэффективна, ведь обычная широковещательная адресация предлагает решение в N раз лучше с точки зрения загрузки сети (посылается одно, а не N сообщений). Широковещательная адресация сработает, если в локальной сети нет маршрутизаторов, в противном случае широковещательные адреса MAC-типа заменяются на IP-адреса (что, впрочем, не слишком изящное решение) или применяется мультикастинг- адресация. Для мультикастинг- адресации в глобальной сети используются специальные адреса D-класса. Такие адреса позволяют организовать до 250 миллионов групп адресатов, функционирующих одновременно. При посылке пакета по такому адресу доставка не гарантируется и некоторые члены группы могут не получить этот пакет. Маршрутизация для мультикастинга представляет собой отдельную задачу. Ведь здесь надо проложить маршрут от отправителя к большому числу получателей. Традиционные методы маршрутизации здесь применимы, но до крайности не эффективны. Для целей выбора маршрута можно с успехом применить алгоритм "дерево связей" (spanning tree; не имеет циклических структур). Когда на вход маршрутизатора приходит широковещательный пакет, он проверяет, является ли интерфейс, через который он пришел, оптимальным направлением к источнику пакета. Если это так, пакет направляется через все внешние интерфейсы кроме того, через который он пришел. В противном случае пакет игнорируется (так как, скорее всего это дубликат). Этот алгоритм называется Reverse Path Forwarding (переадресация в обратном направлении).

При передаче мультимедиа-информации, характерной для сетей NGN, используются принципиально другие протоколы маршрутизации. Здесь путь прокладывается от получателя к отправителю, а не наоборот. Это связано с тем, что там при доставке применяется мультикастинговый метод. Здесь, как правило, один отправитель посылает пакеты многим потребителям. При этом важно, чтобы размножение пакета происходило как можно ближе к кластеру адресатов. Такая стратегия иной раз удлиняет маршрут, но всегда снижает результирующую загрузку сети.

В последнее время все больше людей обзаводятся компактными переносимыми ЭВМ, которые они берут с собой в деловые поездки, и хотели бы использовать в привычном режиме для работы в глобальной сети. Конечно, можно заставить модем дозвониться до вашего модемного пула в офисе, но это не всегда лучшее решение как по надежности, так и по цене.

Пользователи с точки зрения их подвижности могут быть разделены на три группы:

- стационарные, работающие всегда на своем постоянном месте в локальной сети;
- мигрирующие, меняющие время от времени свое рабочее место в рамках локальной сети или даже переходящие из одной локальной сети в другую (за время сессии перемещения компьютера не происходит);
- подвижные, перемещающиеся в пространстве и желающие работать в процессе перемещения.

Предполагается, что все эти пользователи имеют свою постоянную приписку к какой-то сети и соответствующий постоянный IP-адрес. На рис. 6 показана схема подключения подвижных пользователей к глобальной сети. В этой схеме предполагается наличие в каждой области сети внешнего агента, обеспечивающего доступ к этой зоне подвижных ЭВМ (на рисунке такой агент помечен надписью "чужая LAN"). Доступ может осуществляться через мобильную телефонную сеть. Предполагается также наличие соответствующего агента в "домашней" LAN, куда стационарно приписана данная ЭВМ. Домашний агент отслеживает все перемещения своих пользователей, в том числе и тех, кто подключается к "чужим" LAN.

Когда к локальной сети подключается новый пользователь (непосредственно физически или через модем сотовой телефонной сети),

Рис. 6. Схема подключения к глобальной сети подвижных объектов

он должен там зарегистрироваться. Процедура регистрации включает в себя следующие операции:

1. Каждый внешний агент периодически широковещательно рассылает пакет-сообщение, содержащее его IP-адрес. "Вновь прибывшая ЭВМ" может подождать такого сообщения или сама послать широковещательный запрос наличия внешнего агента.

2. Мобильный пользователь регистрируется внешним агентом, сообщая ему свой IP- и MAC-адрес, а также некоторые параметры системы безопасности.

3. Внешний агент устанавливает связь с LAN постоянной приписки зарегистрированного мобильного пользователя, сообщая необходимую адресную информацию и некоторые параметры аутентификации.

4. Домашний агент анализирует параметры аутентификации и, если все в порядке, процедура установления связи будет продолжена.

5. Когда внешний агент получает положительный отклик от домашнего агента, он сообщает мобильной ЭВМ, что она зарегистрирована.

Когда пользователь покидает зону обслуживания данной локальной или региональной сети, регистрация должна быть анулирована, а ЭВМ должна быть автоматически зарегистрирована в новой зоне. Когда посылается пакет мобильному пользователю, "домашняя LAN", получив его, маршрутизирует пакет внешнему агенту, зарегистрировавшему данного пользователя. Этот агент переправит пакет адресату.

Процедуры переадресации выполняются с привлечением технологии IP-туннелей. Домашний агент предлагает отправителю посылать пакеты непосредственно внешнему агенту области, где зарегистрирована подвижная ЭВМ. Существует много вариантов реализации протокола с разным распределением функций между маршрутизаторами и ЭВМ. Существуют схемы с временным выделением резервного IP-адреса подвижному пользователю. Международный стандарт для решения проблемы работы с подвижными пользователями пока не разработан.

При широком внедрении IPv6 с практически неограниченным ресурсом адресов проблемы выделения IP-адреса вообще не будет.

В последнее время конфигурирование сетевого оборудования (маршрутизаторов, DNS и почтовых серверов) усложнилось настолько, что это стало составлять заметную часть издержек при формировании коммуникационного узла. Заметного упрощения и удешевления маршрутизаторов можно ожидать при внедрении IPv6. Следующим шагом станет внедрение объектно-ориентированного языка описания маршрутной политики RPSL (Routing Policy Specification Language). Здесь конфигурирование маршрутизатора будет осуществляться на основе описанной маршрутной политики.

Хотелось бы еще отметить целесообразность использования рассмотренных протоколов маршрутизации для повышения эффективности передачи мультимедийного трафика в сетях NGN.

Литература

1. **Бакланов И.Г.** NGN: Принципы построения и организации / под ред. Ю.Н. Чернышова. —М.: Эко-Трендз, 2008.

2. **Деарт В.Ю.** Мультисервисные сети связи. Транспортные сети и сети доступа. — М.: Инсвязьиздат, 2007.

3. **Данилов А.Н., Кравцов Д.А., Максимов С.П.** Эволюция традиционных сетей общего пользования к сетям нового поколения NGN // Депонирована в ЦНТИ "Информсвязь", серия "Цифровые телекоммуникационные сети и обслуживание сообщений". №2262-св. 2005 г., — М.: 2005. — С. 100-113.

4. **Олифер В.Г., Олифер Н.А.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2004.

5. **Э. Таненбаум.** Компьютерные сети. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2007.

Радиорелейное оборудование с пакетной технологией передачи данных

В настоящее время происходит эволюция транспортных сетей, в том числе, предназначенных для мобильной связи, в сторону перехода на пакетные технологии. Это связано с желанием потребителя получить широкополосный доступ к интернету. Переход к сетям связи 3G позволит получить такие услуги даже абоненту мобильного телефона. Сигналы из центра на базовые станции (БС) стандарта 3G будут подаваться по новым цифровым радиорелейным линиям связи (ЦРРЛ) с пакетной передачей. Цель статьи — облегчить выбор типа радиорелейного оборудования поставщикам услуг связи.

Кирик Ю.М.,
МТУСИ

Петренко А.А.,
Alcatel-Lucant

На сегодняшний день рост числа абонентов сотовой связи замедлился и близок к своему насыщению. Это связано с тем, что мобильные телефоны, обеспечивающие голосовую связь, имеют почти 100% населения. Погоня за прибылью вынуждает операторов сотовой связи искать новые способы расширения спектра услуг. В России, по сравнению с другими странами, процент проникновения интернета и мультисервисных услуг по мобильной связи очень низок. Это объясняется тем, что существующие сети 2-го поколения (GSM) могут обеспечить доступ в интернет лишь с низкими скоростями. Внедрение сетей связи 3-го поколения позволяет в разы увеличить скорость доступа в интернет, к IP-TV, другим услугам с помощью привычных мобильных телефонов. Опыт ведущих операторов сотовой связи показал, что запуск сетей 3G приводит к рекордному росту активности пользователей.

Развитие сетей 3G в России сдерживалось из-за ограничений на необходимые радиочастоты. Непосредственным поводом для написания данной статьи явилось сообщение последних дней 2009 года о том, что Роскомнадзор выдал главным российским операторам разрешение на использование радиочастот для развертывания сетей сотовой связи третьего поколения в Москве [1]. При этом можно будет запустить несколько тысяч новых базовых станций. Данное решение было принято на самом высоком уровне руководства страны.

Возникает вопрос, как наилучшим образом осуществить подачу пакетных Ethernet сообщений на новые базовые станции?

До сих пор основным средством подачи являлись традиционные ЦРРЛ с временным мультиплексированием (TDM), которые передавали на базовые станции поколения 2G потоки плезиохронной цифровой иерархии (PDH). Если необходимо, пакетный трафик передавался его инкапсуляцией в потоки PDH с помощью внешних устройств. Такая система не эффективна с точки зрения использования полосы радиочастот. Этому есть две причины. Одна — при переводе пакетов Ethernet в TDM неизбежны потери. Другая, главная, здесь не учитывалось то, что пакетный трафик имеет пульсирующий характер с ярко выраженными максимумами в час наибольшей нагрузки и минимумами в ночные часы. При использовании стандартных TDM технологий операторам приходится постоянно резервировать максимальную полосу с учетом наибольшей нагрузки, что является абсолютно нерентабельным решением с точки зрения затрат полосы радиочастот и денег. Такие ЦРРЛ будут являться своеобразным "узким горлом" при внедрении 3G. Эти простейшие TDM релейки, которые еще 10 лет назад были последним словом техники, сейчас снимаются с производства, хотя в эксплуатации их еще много.

Второй распространенной технологией является передача по современным ЦРРЛ сигналов синхронной цифровой иерархии (SDH). Здесь, с помощью многоуровневой модуляции, достигается высокое отношение скорости передачи к занимаемой полосе. Типичным примером является передача 155 Мбит/с в полосе 28 МГц при модуляции 128QAM. Ввод пакетных сообщений в мультиплексор SDH происходит достаточно эффективно. Современная техника делает это практически без потерь с помощью предварительной подготовки Ethernet сообщений по технологии GFR [2]. Данные ЦРРЛ широко применяются при магистральной связи с большими потоками и там, где сглажены временные пики нагрузки. Однако эти релейки не интеллектуальны. Они не "думают", есть нагрузка или нет, и продолжают занимать в эфире полосу 28 МГГц даже, когда нет трафика. Помехозащищенность из-за сложной модуляции здесь низкая, эти ЦРРЛ должны проектироваться с большим запасом на замирания при дождях.

Третий популярный вариант существующих ЦРРЛ воплощен в системах, где на вход внутреннего блока оборудования подаются и сигналы TDM и сигналы Ethernet. Пакетные сигналы мультиплексируются с сигналами TDM в общий сигнал, имеющий, по существу, структуру TDM, который модулирует радионесущую и в таком виде поступает в эфир. Достоинства подобных систем были описаны в [3]. Несмотря на очевидные удобства эксплуатации и на то, что потребителю не надо, кроме релейки, покупать иного оборудования, при таком построении все недостатки TDM для передачи пакетного трафика остаются.

Перейдем к рассмотрению релеек с абсолютно новыми технологиями. Это оборудование будет являться частью общей пакетной транспортной сети, основанной на сетевых протоколах контроля качества, таких, как IP/MPLS. При использовании данного протокола резервируется только часть максимально возможной полосы с учетом статистических измерений. В случае максимальной нагрузки на транспортную сеть организуются так называемые очереди трафика, согласно которым гарантированный трафик, например потоки E1, пропускается без задержек, а негарантированный трафик, например пакеты пользователей, осуществляющих доступ в интернет, буферизируется и передается с небольшой задержкой, незаметной для конечных потребителей. Переход к IP/MPLS вынуждает производителей, а также операторов сотовой связи радиорелейных систем поменять концепцию развития и постепенно заменять устаревшие TDM системы на новейшие пакетные устройства.

Сегодня на телекоммуникационном рынке предлагается три принципиально разных решения в области пакетных релеек:

Гибридная радиорелейная система

В таких системах используется два процессора для обработки и коммутации трафика — в радиоинтерфейсе отдельно передается TDM трафик (потоки E1), отдельно — пакетный трафик (Ethernet). Эти два трафика не "перемешиваются" между собой, а передаются в одном радиокадре с разделением во времени. Передача TDM тра-

фика осуществляется по аналогии с предыдущими TDM радиорелейными системами, Ethernet трафик передается с различными приоритетами и в разных очередях. Производители таких типов оборудования заявляют, что только таким образом можно достичь идеальной синхронизации потоков E1 при передаче. Системы PDH очень чувствительны к точности тактовой синхронизации и стабильность тактовой частоты — необходимое условие для работы PDH. Однако, как будет показано ниже, существуют иные методы передачи синхронизации, которые являются более простыми и надежными. Основными недостатками гибридного оборудования является наличие двух матриц коммутации для разных типов трафика, а также необходимость физической кроссировки E1 потоков, что является трудоемким процессом для обслуживающего персонала операторов сотовой связи.

Полноценная пакетная радиорелейная система

В этом оборудовании в радиоинтерфейсе передается только Ethernet пакетный трафик и на вход таких устройств подключаются только сигналы Ethernet. Оборудование за счет приоритезации и создания очередей оптимизирует трафик и передает большие объемы информации в малых полосах пропускания. Данное решение оптимально для интернет-провайдеров, операторов WiMAX и других служб, работающих только с Ethernet сетями. Однако, полноценная пакетная радиорелейная система не приемлема для существующих операторов сотовой связи. Как известно, сети связи 3-го поколения строятся на основе существующей инфраструктуры сетей 2G, следовательно, на каждом сайте уже установлена одна или даже несколько базовых станций предыдущего поколения с интерфейсами E1. Для подключения таких интерфейсов к пакетным релейкам потребуются дополнительные E1-Ethernet мультиплексоры (Cell Site Aggregators), а следовательно дополнительные вложения средств и трудозатраты.

Пакетная радиорелейная система с возможностью агрегации трафика и Ethernet радиоинтерфейсом

Данное решение на сегодняшний день является оптимальным на рынке телекоммуникационного оборудования. За счет своей гибкости оно позволяет удовлетворить потребности как операторов сотовой связи со смешанными типами трафика, так и интернет-провайдеров с пакетным трафиком. На вход оборудования может поступать TDM трафик (потоки E1 — витая пара), Ethernet трафик (интерфейсы Base-T или SFP), ATM трафик (ATM ячейки поверх интерфейса E1) и даже SDH трафик (интерфейсы STM-1). Внутри оборудования находится матрица обработки и кросс-коммутации, которая преобразует весь входящий трафик в пакеты Ethernet и передает в радиотракт. При инкапсуляции TDM в Ethernet происходит дополнительный выигрыш в занимаемой полосе, так как при телефонии незанятые временные промежутки удаляются. Проблема синхронизации потоков E1 решается передачей сигналов тактовой частоты по отдельным гарантированным каналам в радиоинтерфейсе, также возможна синхронизация от внешних источников синхронизации (GPS, ГЛОНАСС) и других источников. Дополнительным плюсом релейки с агрегацией является удобство стыковки с другими элементами транспортной сети. В старых TDM решениях в каждом месте стыка двух устройств необходимо было устанавливать кросс для всех потоков E1, в данном случае весь трафик передается в пакетах Ethernet и достаточно просто подключить Ethernet интерфейс между устройствами.

Еще одним, чисто радиорелейным, преимуществом устройств с пакетной технологией передачи данных является наличие адаптивной модуляции. С ухудшением погодных условий (дождь, снег, туман), в оборудовании с фиксированным уровнем модуляции, при понижении сигнала ниже порогового уровня приемника, начинают возникать ошибки, вплоть до полного отключения релейки и потери всех данных. Современные системы с адаптивной модуляцией с изменением погодных условий автоматически, без разрыва существующих соединений, переключаются на модуляцию более низкого уровня в диапазоне от 256QAM до QPSK. И наоборот, при улучшении радиосигнала уровень модуляции растет и увеличивается пропускная способность ЦРРЛ. Например, для стандартного канала 28 МГц при увеличении модуляции от QPSK до 256QAM, пропускная способность увеличивается от 40 Мбит/с до 180 Мбит/с. Однако, при настройке адаптивной модуляции, необходимо учитывать гарантированный трафик — минимальную пропускную способность ЦРРЛ при минимально разрешенной модуляции (задается оператором). Весь дополнительный трафик будет считаться негарантированным и может не передаваться при низком уровне принимаемого сигнала.

Выигрыш от перехода на адаптивную модуляцию можно качественно иллюстрировать следующим образом. При широком развертывании новых БС возникают проблемы с радиочастотами для релеек. В Москве уже сейчас ограничено применение частоты 13 ГГц и выделяются частоты 18 ГГц и выше. Однако значение множителя ослабления в условиях осадков быстро растет с увеличением частоты. Это показано на графике (рис.1), построенном нами по данным [4] для трассы длиной 10 км. При интенсивности дождя 30 мм/час (такие осадки характерны для средней полосы России в 0,05% времени) релейка на частоте 18ГГц, имеющая такие же параметры по мощности передатчиков, усилению антенн и чувствительности приемников, что и оборудование на частоте 13 ГГц, потребует энергетического запаса на 10 дБ большего. Однако в новой релейке можно не закладывать дополнительного запаса, связанного, например, с необходимостью увеличения мощности передатчиков. "Интеллектуальное" оборудование понизит уровень модуляции во время дождя, например, с 128 QAM до 16 QAM. Часть пакетной информации попадет в буфер, но телефония пройдет без задержек.

На рис. 2 показано построение радиорелейных систем с пакетной технологией. Следует обратить внимание, что в гибридной системе TDM и Ethernet трафики передаются параллельно, в двух других типах оборудования TDM трафик инкапсулируется в Ethernet либо в самой релейке, либо на другом этапе.

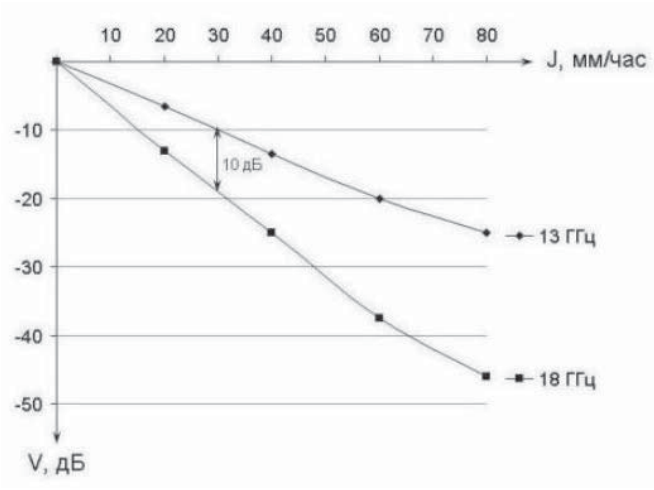


Рис. 1. Значение множителя ослабления в условиях осадков (R = 10 км)

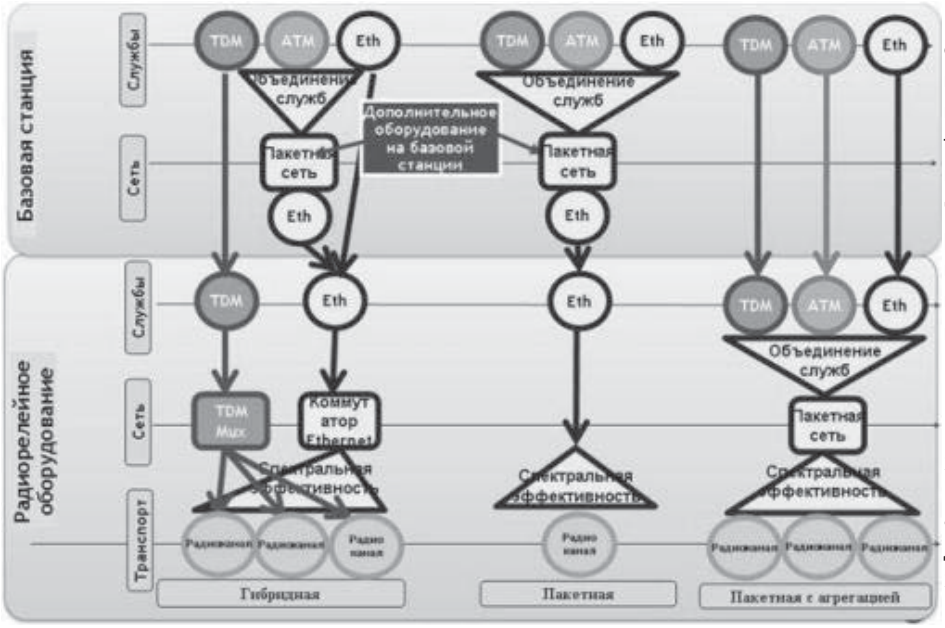


Рис. 2. Три типа построения пакетных ЦРРЛ

Рассмотренные в данной статье способы построения ЦРРЛ показывают, что при развитии связи третьего поколения предпочтение будет отдаваться перспективным транспортным сетям, выполненным с учетом протоколов IP/MPLS, причем составной частью этих сетей станут радиорелейные линии, разработанные на основе пакетных решений с возможностью агрегации разных типов трафика и адаптивной модуляцией.

Литература

1. http://www.businessmix.ru. 11 декабря 2009 г.

2. **А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, М.Ю. Самсонов, И.В. Шибаева, И.А. Чечнева.** Сети следующего поколения NGN. — М.: Экотрендз, 2008 — 420 с.

3. **Ю.М. Кирик.** Тенденции в развитии городской радиорелейной связи// Электросвязь, №3, 2009. — С. 11 — 13.

4. Report 721-2 CCIR, vol. 5, 16 Plenary Assembly, Dubrovnik, 1986. Worst-month statistics.

Технология мобильной связи четвертого поколения LTE. Основные особенности и перспективы внедрения в России

Мельник С.В., Петрова Е.Н.,
ЗАО "НТЦ "Комсет",
melnik@komset.ru

Смирнов Н.И.,
МТУСИ

Технология LTE — это совокупность достижений в области радио и проводной связи за последние 10 — 15 лет. Эта технология имеет следующие принципиальные особенности:

1. Гибкое использование выделяемой полосы частот — возможно применение радиоинтерфейса LTE в полосе 1,5 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц. Чем шире используемая полоса частот, тем большими потенциальными возможностями располагает радиоинтерфейс.

2. Использование для передачи информации технологии OFDM в совокупности с тремя возможными схемами информационного кодирования сигнала в зависимости от отношения сигнал/шум на входе приемника

3. Использование концепции All IP — передача всей информации с применением технологии коммутации пакетов. Построение наземного сегмента сети с интеграцией в существующие сети нового поколения (NGN).

4. Для хэндовера и роуминга используется концепция Mobile IP, что позволяет унифицировать обслуживание абонентских терминалов и интегрировать служебную информацию мобильной сети в общую служебную информацию NGN.

5. Для увеличения одновременно открытых сеансов связи с большим количеством оконечных и промежуточных устройств используется протокол IP v6.

6. Использование большого количества "промежуточных" устройств — шлюзов, интеллектуальных маршрутизаторов, балансировщиков нагрузки, гейткипперов и т.д. для организации совместной работы большого количества абонентских устройств и приложений.

7. Применение систем управления и мониторинга оборудования с возможностями изменения настроек в зависимости не только от потребности запускаемого приложения, но и от информации, поступающей с уровня управления бизнесом.

Гибкое использование полосы частот делает сеть LTE совместимой (по возможным используемым полосам) как с UMTS, так и с CDMA 2000. Полосы частот, специфицированные под возможность использования радиоинтерфейса LTE с частотным и временным дуплексом, указаны ниже на рис.1.

Для передачи информации по радиоканалу использована технология OFDM.

В зависимости от условий приема, предусмотрены три схемы информационного кодирования: QPSK; 16QAM; 64QAM. Это позволяет увеличить информационную скорость по сравнению с канальной соответственно в 2, 4 и 6 раз. Чем выше отношение сигнал/шум на входе приемника, тем более плотную модуляцию можно использовать и получать большую пропускную способность. По эффективности использования радиочастотного спектра технология LTE одна из самых лучших и лучшая среди технологий для мобильной связи. Большую плотность модуляции имеют только системы близкого и сверхблизкого действия, а также РРЛ с 128QAM.

Использование принципа All IP дает возможность интегрировать LTE, как один из интерфейсов сетей NGN. Это не означает, что мобильная сеть теряет свои особенности, но упрощает вопрос общего построения глобальной сети и интеграции мобильных приложений при построении IMS (IP Multimedia Subsystem), реализации RCS (Rich Communication Suite) и им подобных технологий.

На рис.2 показана схема хэндовера (handoff) в сети LTE. В отличии от сетей предыдущих поколений, где использовались коммутационные станции, здесь механизм передачи управления от одной БС к другой производится соответствующими шлюзами (gateways) на основе технологий mobile IP и IPv6.

Сети LTE с самого начала предполагались для использования в среде IMS. На рис.3 показана архитектура системы управления/мониторинга для сети LTE.

FDD Bands

Band	Frequencies UL/DL (MHz)
I	1920 - 1980/2110 - 2170
II	1850 - 1910/1930 - 1990
III	1710 - 1785/1805 - 1880
IV	1710 - 1755/2110 - 2155
V	824 - 849/869 - 894
VI	830 - 840/875 - 885
VII	2500 - 2570/2620 - 2690
VIII	880 - 915/925 -960
IX	1749.9 - 1784.9/1844.9 - 1879.9
X	1710 - 1770/2110 - 2170

TDD Bands

Band	Frequencies UL and DL (MHz)
a	1900 - 1920 2010 - 2025
b	1850 - 1910 1930 - 1990
c	1910 - 1930
d	2570 - 2620

Рис. 1. Частотные диапазоны, специфицированные под возможность использования LTE

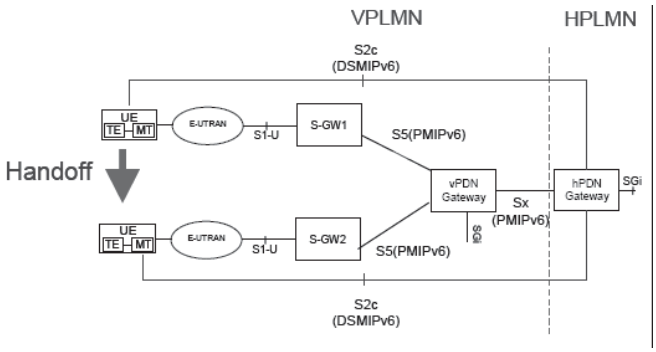


Рис. 2. Хэндовер в сетях LTE

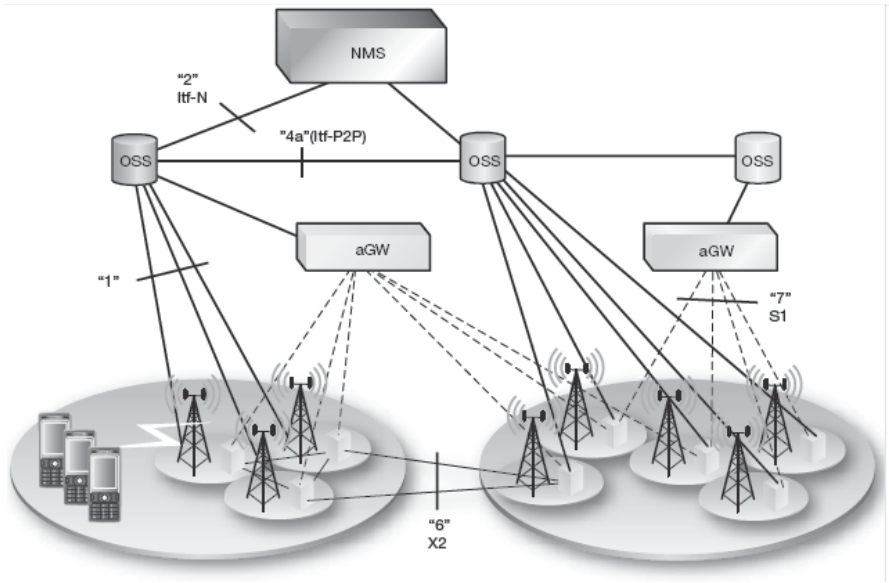


Рис. 3. Архитектура управления/мониторинга сетью LTE

Предполагается, что управление оборудованием сети связи должно осуществляться с бизнес — уровня. Это означает гибкую возможность изменения тарифных планов и условий обслуживания абонентов. Применяется концепция OSS/BSS (Operation SubSystem/Business SubSystem).

Выводы

Для эффективного внедрения сетей мобильной связи с технологией LTE необходимо:

1. Наличие свободных полос частот шириной 10 — 20 МГц.
2. Готовая инфраструктура сетей NGN с All IP.
3. Наличие волоконно-оптических сетей для построения наземного сегмента.
4. Наличие нормативной базы для работы со всеми новыми технологиями, которые применяются в сетях LTE.
5. Новый подход к построению маркетинга и бизнес-модели операторских компаний.

Оценка взаимного влияния параметров потоков заявок при организации VPN на общем канальном ресурсе

В существующих алгоритмах выбора маршрутов при организации VPN критерии выбора не учитывают характеристик качества предоставления услуги. Далее будет показано, что при использовании высоконагруженного общего канального ресурса необходимо проверить оценку взаимного влияния качества существующей и организуемой VPN.

Савенков Ю.Ю.,
МТУСИ

Постановка задачи. По мере развития сетевых технологий и общей тенденции к вынесению высокопроизводительной, отказоустойчивой информационной инфраструктуры на специальные площадки, всеболее актуальным становится вопрос качества предоставления услуги виртуальных частных сетей (Virtual Private Network — VPN), осуществляющих логическое объединение вынесенных ресурсов. Для оператора основным вопросом является разработка маршрута организации VPN, с оговоренным качеством обслуживания (Service Level Agreement — SLA). В связи с увеличением нагрузки, при организации новой VPN оператору необходимо минимизировать затраты сетевых ресурсов. Существуют алгоритмы оптимизации маршрутов [1-3], которые позволяют найти дерево VPN с минимальными затратами сетевого ресурса. Выбор лучшего дерева осуществляется на основании объема доступного канального ресурса и объема ресурса, необходимого для организации новой VPN. Недостаток этих методов в том, что они не учитывают требования к качеству услуги VPN, одним из показателей которого является количество потерянных заявок.

Для оценки возможности применения различных алгоритмов маршрутизации VPN с различными требованиями к качеству предоставляемой услуги рассмотрим пример выбора между двумя вариантами маршрута между узлами S и F (Рис.1). Исходная пропускная способность в обоих случаях равна 100 Мбит/с. В варианте №1 в канале проложено 5 VPN. Для организации каждой требуется пропускная способность равная 10 Мбит/с. В варианте №2 проложена одна VPN, для ееорганизации требуется 50 Мбит/с. Для оценки взаимного влияния существующей и организуемой VPN применим дополнительную VPN, которой требуется 20 Мбит/с.

Описание модели. Для анализа влияния параметров потоков на качество предоставления услуги VPN, был реализован рекурсивный алгоритм расчёта основной модели цифровой линии [4]. Модель состоит из n информационных потоков, заявки которых поступают в соответствии с законом Пуассона, с интенсивностью λ_k и среднее время обслуживания заявки $1/\mu_k$, где $k = 1,...,n$ — номер потока. Объем исходного канального ресурса обозначим V, объем канального ресурса, необходимый для обработки одной заявки k-го потока — b_k (b_k — неотрицательное целое число).

Для проведения расчётов в рассматриваемом примере за единицу канального ресурса примем 1 Мбит/с. Таким образом, исходный объем для каждого варианта будет составлять $V = 100$ канальных единиц, для варианта №1 число единиц канального ресурса, необходимое для организации каждого канала составляет $b_1=b_2=b_3=b_4=b_5=10$ канальных единиц (рис.1,а). В варианте №2 единственному потоку для обслуживания заявки требуется $b_1=50$ канальных единиц (рис.1,б). Для обслуживания заявки вновь организуемой VPN необходимо 20 канальных единиц соответственно.

Для упрощения записи выражений интенсивность поступающих заявок записывается в эрлангах (число заявок, поступающих за среднюю продолжительность передачи, которая принята за единицу). Кроме того, $\alpha_k=\lambda_k/\mu_k$, $k = 1,...,n$. Будем считать, что времена передачи заявок имеют экспоненциальное распределение и не зависят друг от друга и входных потоков, хотя приведенные утверждения справедливы при произвольном распределении времени обработки заявок. Поступающие заявки обслуживаются на основе модели с явными потерями. Общее число единиц ресурса цифровой линии, занятых обслуживанием заявок r, определяется по формуле: $r=b_1i_1+b_2i_2+...+b_ni_n$, где i_k — число заявок k-го потока, находящихся на обслуживании.

В соответствии с результатами [4], значение стационарной вероятности занятости r единиц канального ресурса по обслуживанию всех заявок $P(r)$, $r = 0,1,...,V$ будет определяться соотношением:

$$P(r)=\begin{cases}0, & r<0,\\ 1, & r=0,\\ \dfrac{1}{r}\sum\limits_{k=1}^{n}a_kb_kP(r-b_k) & r>0.\end{cases} \qquad (1)$$

Причиной потери заявки является нехватка свободного канального ресурса: $r + b_k > V$. Вероятность наступления данного события π_k определяется соотношением:

$$p_k=\sum_{r=V-b_k+1}^{V}p(r), \qquad k=1,...,n, \qquad (2)$$

где $p(r) = P(r)/N$ — нормированное значение вероятности обслуживания r заявок; $N=\sum_{r=0}^{V}P(r)$ — нормировочная константа.

Величина нагрузки на одну передаточную единицу цифровой линии η определяется соотношением:

$$з=\frac{1}{V}\sum_{k=1}^{n}a_kb_k \qquad (3)$$

На основании (3), для упрощения расчетов, при условии, что $a_1b_1 = a_2b_2 =...= a_nb_n$, было получено соотношение $\alpha_k = \eta V/nb_k$, $k = 1,...,n$.

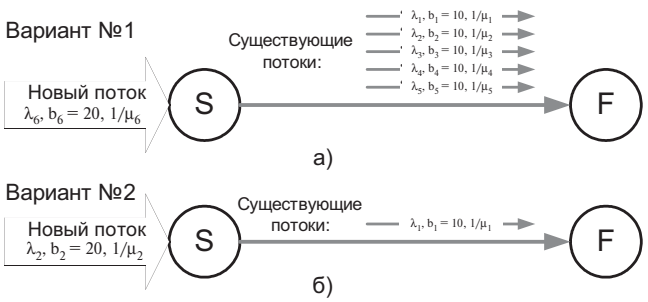


Рис. 1. Варианты организации новой VPN: а)новый поток добавляется к 5 потокам $b = 10$; б) новый поток добавляется к потоку $b = 50$

Результаты вычислений. В качестве примера реализации существующих алгоритмов организации VPN, рассматривается модернизированный древовидный алгоритм, обозначаемый MTRA [2]. В [3] приводится обоснование того, что данный алгоритм обеспечивает лучшее распределение ресурсов. Данный алгоритм при помощи поиска в ширину строит дерево VPN. Для каждого дерева рассчитывается нагрузка на ребра, выбирая минимальную сумму требуемого канального ресурса с одной из сторон ребра. Для того, чтобы выбрать маршрут организации VPN с минимальными затратами канального ресурса алгоритм MTRA выбирает дерево с минимальной суммой C:

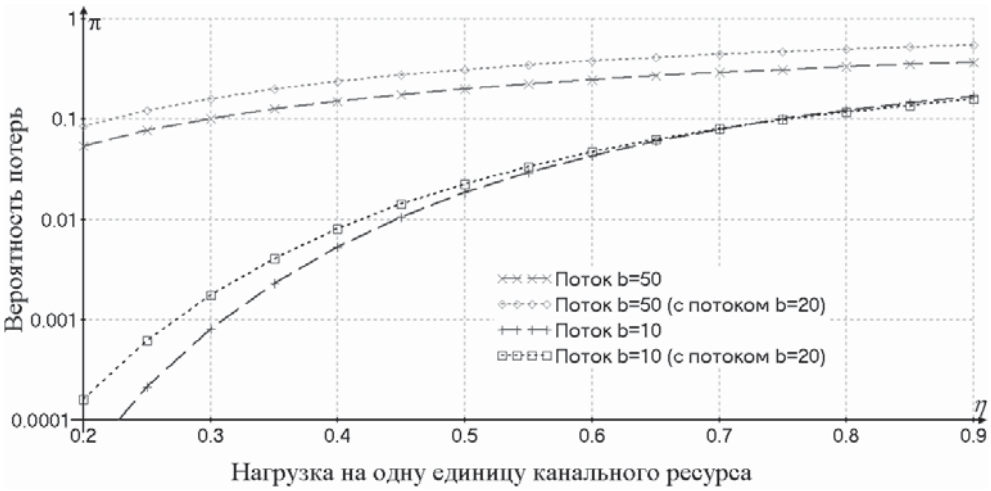


Рис. 2. Влияние потока с требованием в 20 единиц канального ресурса

$$C = \sum_{i=1}^{Q-1} \frac{R_i}{B_i}, \qquad (4)$$

где Q — количество узлов, задействованных в VPN; R_i — требуемый объем канального ресурса для ребра *i*; B_i — объем доступного канального ресурса для ребра *i*.

В рассматриваемой задаче всего два узла, поэтому дерево VPN состоит из одного ребра. Для наглядности объем доступного ресурса для *i*-го варианта обозначим через B_i, а требуемый объем канального ресурса для дополнительного потока через *R*.

Для варианта №1 при организации новой VPN с требованием одной канальной единицы $R = b_6 = 20$, сумма (4) будет равна:

$$C = \frac{R}{B_1} = \frac{b_6}{V - (b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5)} = \frac{20}{100 - 5*10} = 0{,}4. \qquad (5)$$

Для варианта №2 при организации новой VPN с требованием одной канальной единицы $R = b_2 = 20$, сумма (4) будет равна:

$$C = \frac{R}{B_2} = \frac{b_2}{V - b_1} = \frac{20}{100 - 50} = 0{,}4. \qquad (6)$$

Таким образом, выбрать минимальное значение из результатов соотношений (5) и (6) невозможно, в силу их равенства, что означает, что для алгоритма MTRA два варианта равнозначны.

Из соотношений (5)-(6) следует, что алгоритм MTRA, оптимизирующий загрузку канального ресурса, не учитывает требований существующей нагрузки на канальный ресурс. Различия рассматриваемых вариантов реализации новой VPN рассмотрим на примере графиков вероятности потерь заявок (2) от нагрузок на одну канальную единицу ресурса.

Из графиков на рис. 2 видно, что для различных вариантов реализации нового потока, потери заявок существующих потоков будут различными. Из этих же графиков следует, что при нагрузке на одну канальную единицу не превышающей 0,4 для минимизации потерь заявок существующих потоков более предпочтителен вариант №2. В противном случае более выгоден вариант №1.

Из графиков на Рис. 3 видно, что в зависимости от требования к канальному ресурсу существующих потоков, а также от требования к канальному ресурсу организуемого потока, при одинаковой нагрузке на одну канальную единицу, вероятность потерь нового потока может существенно отличаться. Кроме того, из графиков видно, что если нагрузка на одну единицу канального ресурса менее 0,6, то для организации нового потока предпочтителен вариант №1, соответственно при нагрузке более 0,6 — вариант №2.

Таким образом, для рассматриваемого примера минимальное увеличение потерь заявок будет достигнуто при реализации варианта №1 с нагрузкой на одну канальную единицу не более 0,6 и не менее 0,4.

Заключение

Если качество предоставляемой услуги VPN определено соглашением SLA, в котором оговариваются допустимые потери, невозможно применять критерии существующих алгоритмов маршрутизации VPN, не учитывающих требования к качеству предоставления услуги VPN. Поэтому на основании приведенных расчётов можно сделать вывод, что для организации VPN на высоконагруженном общем канальном ресурсе, необходимо оценивать и принимать во внимание взаимное влияние на изменение количества потерь заявок, которые являются критерием качества предоставления услуги существующих и организуемой VPN. Оценку рекомендуется осуществлять при помощи рекурсивного алгоритма расчёта основной модели цифровой линии.

Литература

1. **Kumar A., Rastogi R., Silberschatz A., Yener B.** Algorithms for provisioning virtual private networks in the hose model // IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002. — C.565-578.

2. **Yu-Liang Liu, Yealy S. Sun, Meng Chang Chen.** MTRA: An On-Line Hose-Model VPN Provisioning Algorithm, 1999. — C.32.

3. **Росляков А.В.** Виртуальные частные сети. Основы построения и применения. М.: Эко-Трендз, 2006. — С.424.

4. **Лагутин В.С., Степанов С.Н.** Телетрафик мультисервисных сетей связи. М.: Радио и связь, 2000. — С.320

Асимптотические модели оценки показателей качества обслуживания вызовов call-центрами

Исследованы две марковские модели функционирования call-центров, учитывающие возможность повторения вызова при занятости всех обслуживающих устройств и мест ожидания обслуживания. Показатели качества обслуживания вызовов получены с учетом асимптотических свойств модели при интенсивности повторения, стремящейся к нулю (первая модель) и к бесконечности (вторая модель).

Пшеничников А.П., Степанов М.С.,
МТУСИ

Введение

Высокое качество обслуживания клиентов является важным конкурентным преимуществом компании и необходимым условием сохранения ее позиций на рынке. Для многих компаний, бизнес которых выстраивается на контактах с большим числом клиентов, механизмом такого взаимодействия являются call-центры. Они используются во многих сферах бизнеса, будь то торговые компании, информационно-справочные службы и другие подобные им системы. Обобщенная архитектура call-центра представлена на рис.1.

Важным фактором, влияющим на характеристики пропускной способности информационно-справочных служб с доступом через операторов, является учет экономических аспектов. Известно, что основную часть эксплуатационных расходов на их содержание составляет заработная плата операторов. Низкая доступность некоторых сервисов call-центра вынуждает абонентов делать многочисленные повторные вызовы. Поскольку абоненты, во всяком случае до определенного времени, проявляют настойчивость в своем желании дозвониться до службы, это влечет за собой появление большого потока повторных обращений в call-центр, на которые тратится существенная доля времени работы систем, управляющих установлением соединений.

Неудобства, связанные с необходимостью повторения заявки, могут быть уменьшены путем организации обслуживания абонентов по системе с ожиданием. Учет рассмотренных особенностей функционирования информационно-справочных служб проводится с использованием моделей с повторными вызовами и ограниченным числом мест ожидания обслуживания [2-5].

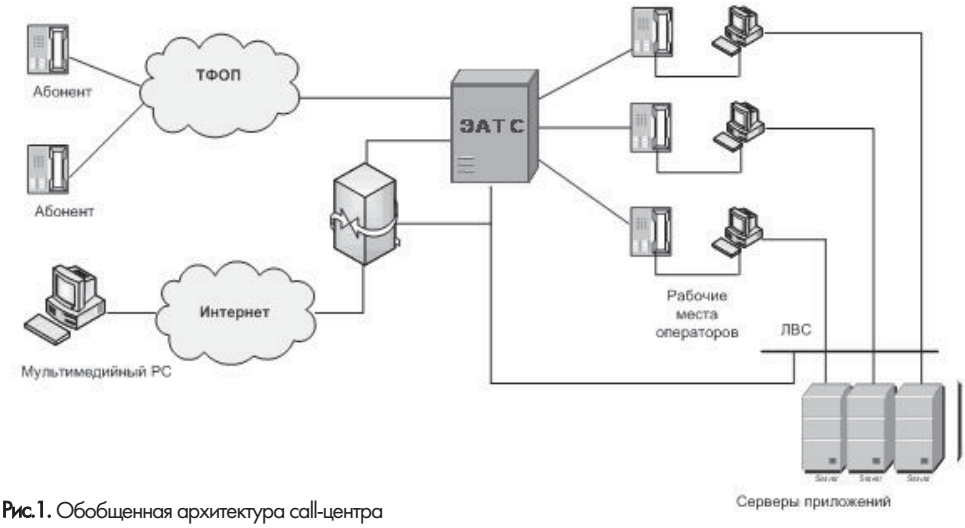


Рис.1. Обобщенная архитектура call-центра

Математическая модель

Разработке математической модели предшествует процесс формализации работы системы связи, под которым будем понимать выделение перечня событий, имеющих существенное значение при использовании услуг информационной системы. Помимо составления перечня событий необходимо указать их взаимосвязь, т.е. последовательность реализации. Соответствующая схема приведена на рис. 2 [1].

Математическая модель строится в соответствии со схемой, показанной на рис. 2. Имеется полнодоступная система из υ обслуживающих устройств (операторов) с l местами для ожидания обслуживания. На систему поступает пуассоновский поток первичных вызовов с интенсивностью λ. Если обслуживающее устройство свободно, оно занимается на случайное время обслуживания (выдачи справочной информации), имеющее экспоненциальное распределение со средним $1/\alpha$. Если все обслуживающие устройства заняты, но имеется свободное место ожидания, то заблокированный вызов занимает его. Для упрощения модели будем в дальнейшем предполагать, что занятие свободных мест ожидания происходит с вероятностью равной единице. Время ожидания ограничено случайной величиной, имеющей экспоненциальное распределение со средним $1/\rho$. Если заняты все обслуживающие устройства и места ожидания или неудачно завершилось время ожидания обслуживания, то абонент с вероятностью H повторяет вызов через случайное время, имеющее экспоненциальное распределение со средним $1/\nu$, а с дополнительной вероятностью $1 - H$ покидает систему необслуженным и не возобновляет вызов.

Построенная модель взаимодействия абонента с информационной системой описывается марковским процессом $\xi(t) = (j(t), i(t))$ с бесконечным числом состояний S, задаваемым соотношениями

$$(j,i) \in S, \quad j = 0,1,..., \quad i = 0,1,...,\upsilon + l,$$

где $j(t)$ — число абонентов, повторяющих в момент времени t вызов по причине занятости всех обслуживающих устройств и мест ожидания, а также из-за неудачного завершения времени ожидания обслуживания;
$i(t)$ — суммарное число занятых в момент времени t мест ожидания и обслуживающих устройств.

Исследование построенной модели будем вести в стационарном режиме. Для его существования достаточно убедиться в наличии свойства эргодичности у марковского процесса $\xi(t)$. Исследование этой проблемы облегчается тем обстоятельством, что в рассматриваемой модели абоненты, повторяющие вызов, не являются

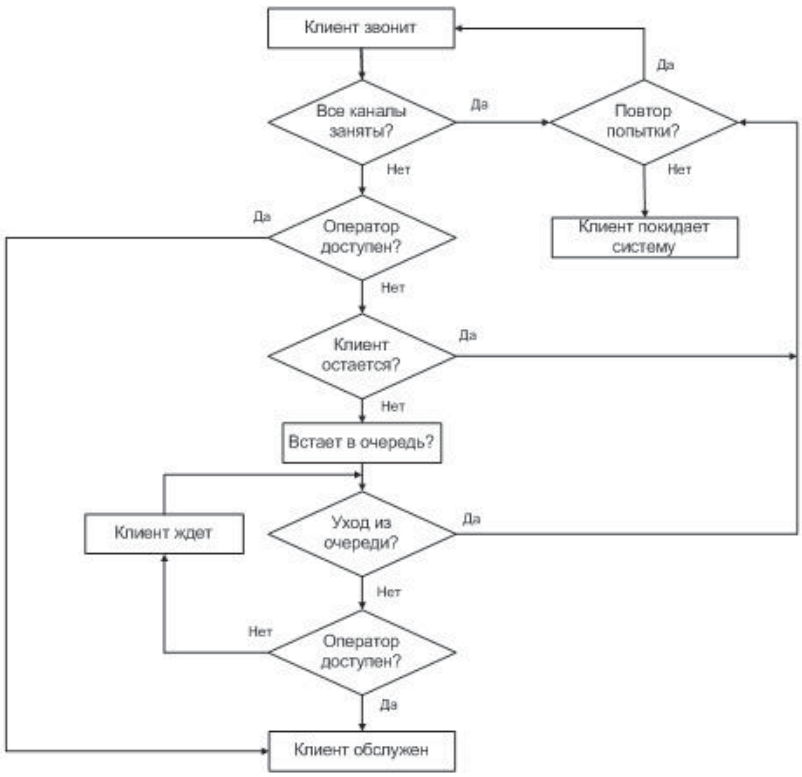


Рис. 2. Блок-схема установления соединения абонента с оператором call-центра

абсолютно настойчивыми т.е. $H < 1$. Это означает, что как бы сильно система не была загружена, с вероятностью, стремящейся к единице, абонент, повторяющий вызов, покинет систему необслуженным, проведя в ней время, имеющее ограниченное среднее.

При условии выполнения свойства эргодичности для марковского процесса $\xi(t)$ можно выписать систему уравнений статистического равновесия, связывающую стационарные вероятности $P(j,i)$ нахождения марковского процесса в состоянии (j,i).

Здесь в стационарном состоянии:

j — число абонентов, повторяющих вызов по причине занятости всех обслуживающих устройств и мест ожидания, а также из-за неудачного завершения времени ожидания;

i — число занятых обслуживающих устройств и мест ожидания.

Показатели качества обслуживания заявок и их оценка

Основываясь на физическом смысле характеристик качества обслуживания заявок в исследуемой модели, дадим им определение через значения доли времени пребывания модели в различных состояниях (из теории известно, что это — значения стационарных вероятностей соответствующих состояний) и через отношение интенсивностей соответствующих потоков. При практическом использовании введенной модели представляют интерес следующие характеристики:

• π_c — коэффициент общих потерь (или доля всех потерянных вызовов), определяемый отношением суммы интенсивностей потерянных первичных и повторных вызовов, а также вызовов, ушедших с ожидания обслуживания, к интенсивности поступления первичных и повторных вызовов

$$\pi_c = \frac{\sum_{j=0}^{\infty}\left[P(j,\upsilon+l)(\lambda+j\nu)+\sum_{i=\upsilon+1}^{\upsilon+l}P(j,i)(i-\upsilon)\rho\right]}{\lambda+\sum_{j=0}^{\infty}\sum_{i=0}^{\upsilon+l}P(j,i)\,j\nu};$$

• L — среднее число занятых мест ожидания

$$L=\sum_{j=0}^{\infty}\sum_{i=\upsilon+1}^{\upsilon+l}P(j,i)(i-\upsilon).$$

Возможность точного численного анализа построенной модели реализуется только для малых значений структурных параметров: числа операторов и мест ожидания. Инженерные задачи решаются на основе приближенных методов. Большинство приближенных методов, применяемых в теории телетрафика, основаны на асимптотических свойствах исследуемых моделей, когда в качестве оценок вероятностных характеристик берутся их предельные значения, полученные при стремлении одного или нескольких входных параметров к своим предельным значениям. Выбор параметров, используемых для построения асимптотических методов, диктуется тем, насколько область изменения входных параметров анализируемой модели близка к асимптотической, какова численная сложность оценки характеристик получаемой упрощенной модели, а также тем, чему равна погрешность расчета. Понятно, что решение этих проблем во многом опирается на качественные свойства модели, которые обсудим при рассмотрении каждого конкретного алгоритма.

Расчет показателей качества обслуживания заявок для малых значений ν

Известно, что при $\nu \to 0$ поток повторных вызовов по свойствам приближается к пуассоновскому с некоторой неизвестной интенсивностью [2-5]. Понятно, что точность метода зависит от величины ν. Чем меньше ν, тем она выше. При реализации метода важно, чтобы зависимость между моментами последовательных поступлений повторных вызовов от одного абонента стремилась к нулю, поэтому хорошую точность метода можно ожидать и для достаточно больших ν, если на интервале времени длины $1/\nu$ система часто изменяет свое состояние. Последнее свойство выполняется для моделей со сложной структурой: большим числом каналов и входных потоков. Именно такая ситуация характерна для модели call-центра. Эти обстоятельства позволяют ожидать хорошую точность оценки характеристик, что и будет далее показано на численных примерах.

Рассмотрим систему, состоящую из υ обслуживающих приборов, на которую поступает пуассоновский поток вызовов неизвестной интенсивности x. Входной поток состоит из пуассоновского потока первичных вызовов интенсивности λ и пуассоновского потока повторных вызовов интенсивности $x - \lambda$. Чтобы упростить запись промежуточных выкладок и окончательных формул, примем далее, если это не оговорено особо, в качестве единицы времени среднюю продолжительность выдачи справочной информации $1/\alpha$. Таким образом, время занятия обслуживающего устройства имеет экспоненциальное распределение с параметром, равным единице.

Если свободных обслуживающих устройств нет, то вызов занимает одно из l мест ожидания. Время ожидания ограничено случайной величиной, также имеющей экспоненциальное распределение, но с параметром ρ. Если по завершении этого времени вызов не попал на обслуживание, то он покидает систему. Будем считать, что вызовы выбираются на обслуживание в порядке постановки в очередь (первый пришел, первый поступает на обслуживание).

Введенная модель описывается марковским процессом рожде-

ния и гибели, поэтому расчет ее характеристик не вызывает больших затруднений. Воспользовавшись упрощенной моделью, выпишем оценки для основных характеристик исходной модели, обозначив их теми же символами, которые были использованы в основной модели. Пусть $P(i)$ — стационарная вероятность того, что в упрощенной системе занято i обслуживающих устройств и мест ожидания. Тогда искомые оценки находятся из соотношений

$$\pi_c = \frac{xP(\upsilon+l) + \rho \sum_{i=\upsilon+1}^{\upsilon+l} P(i)(i-\upsilon)}{x};$$

$$L = \sum_{i=\upsilon+1}^{\upsilon+l} P(i)(i-\upsilon).$$

Величина x находится из решения неявного уравнения

$$x = \frac{\lambda + \rho HL(x)}{1 - H\pi(x)}$$

где $L(x)$ и $\pi(x)$ — зависящие от x значения, соответственно, среднего числа ожидающих и обслуживающих абонентов и доли времени занятости всех обслуживающих устройств и мест ожидания.

Проведем численное исследование точности рассмотренной вычислительной процедуры. Результаты вычислений показаны на рис. 3 на примере модели со значениями входных параметров: $\upsilon = 50$, $l=30$, $\rho=1$, $H=0{,}8$, $\alpha=1$, $\lambda=50$. Величина изменяется от 0,1 до 1. Точные значения коэффициента общих потерь π_c найдены после решения системы уравнений равновесия итерационным методом. Величина параметра N, ограничивающего максимально возможное число абонентов, одновременно повторяющих вызов, была принята равной 800. Приближенное значение π_c показано на рисунке прямой горизонтальной линией. Полученные результаты говорят о хорошей точности приближенной процедуры.

Расчет показателей качества обслуживания заявок для больших значений ν

Если значение вероятности повторения заявки H меньше единицы, то с уменьшением длительности интервала времени между последовательными повторениями, абонент с вероятностью, стремящийся к единице, отказывается от попытки соединения. В данной ситуации для приближенного расчета можно использовать частный случай исследуемой модели, когда вероятность повторения заблокированной заявки принята равной нулю. Соответствующая модель описывается марковским процессом рождения и гибели. Показатели качества обслуживания заявок могут быть найдены с использованием простых рекуррентных соотношений. Найдем значения входных параметров упрощенной модели. Рассмотренный подход является обобщением результатов, полученных в [3,4].

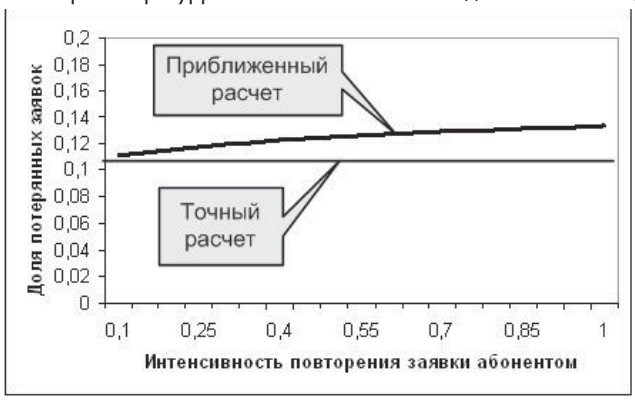


Рис. 3. Точный и приближенный расчет доли потерянных заявок при малых значениях ν

В упрощенной модели имеется υ операторов и l мест для ожидания заблокированных заявок. Интенсивность поступления первичных заявок равна λ. При $\nu \to \infty$ абонент после неудачного завершения времени ожидания с вероятностью H опять занимает место ожидания. Чтобы учесть данный переход, будем предполагать, что в упрощенной модели интенсивность ухода из очереди принимает значение $\rho(1-H)$. Аналогично рассмотренному ранее асимптотическому случаю малой интенсивности повторения примем, что время обслуживания заявки имеет экспоненциальное распределение с параметром равным 1. Воспользовавшись упрощенной моделью, выпишем оценки для основных характеристик исходной модели, обозначив их теми же символами, которые были использованы в основной модели. Пусть $P(i)$ — стационарная вероятность того, что в упрощенной системе занято i обслуживающих устройств и мест ожидания.

Если рассмотреть исходную модель в ситуации, когда величина $\nu \to \infty$ при условии, что значение H меньше единицы, то можно утверждать, что каждая заблокированная первичная заявка приводит к появлению в среднем M повторных заявок. Величину M в рассматриваемой ассимптотической области можно приближенно найти из выражения

$$M = \sum_{k=0}^{\infty} P_k \times k = (1-H)\times 0 + H(1-H)\times 1 + H^2(1-H)\times 2 + \ldots + = \frac{H}{1-H},$$

где P_k — вероятность того, что абонент сделает ровно k повторных попыток.

Для оценки доли потерянных заявок используется выражение

$$\pi_c = \frac{\text{интенсивность заблокированных первичных и повторных заявок}}{\text{интенсивность поступивших первичных и повторных заявок}}.$$

Найдем отдельные компоненты, участвующие в записи приведенного выражения. Пусть в упрощенной модели величина $P(\upsilon + l)$ обозначает долю потерянных первичных заявок из-за занятости операторов и мест ожидания, а L — число занятых мест ожидания. Начнем с числителя. Тогда интенсивность заблокированных первичных заявок определяется из выражения $\lambda P(\upsilon + 1)$; интенсивность заблокированных повторных заявок определяется из выражения $\lambda MP(\upsilon + 1)$; интенсивность потока заявок, покинувших места ожидания, находится из выражения $L\rho$. Теперь рассмотрим знаменатель. Интенсивность потока первичных заявок равна λ. Интенсивность потока повторных заявок складывается из интенсивности потока заблокированных повторных заявок $\lambda MP(\upsilon + 1)$ и потока повторных заявок, попавших с ожидания опять на ожидание, — $L\rho H$. В итоге получаем

$$\pi_c = \frac{\lambda P(\upsilon+l) + \lambda P(\upsilon+l)M + L\rho}{\lambda + \lambda P(\upsilon+l)M + L\rho H}.$$

Проведем численное исследование точности рассмотренной вычислительной процедуры. Результаты выполненных вычислений показаны на рис. 4 на примере модели с теми же значениями входных параметров, которые были использованы при расчете данных, приведенных на рис. 3. Величина υ изменяется от 10 до 100. Точные значения коэффициента общих потерь π_c найдены после решения системы уравнений равновесия итерационным методом. Величина параметра N, ограничивающего максимально возможное число абонентов, одновременно повторяющих вызов, была принята равной 50. Приближенное значение π_c показано на рисунке прямой

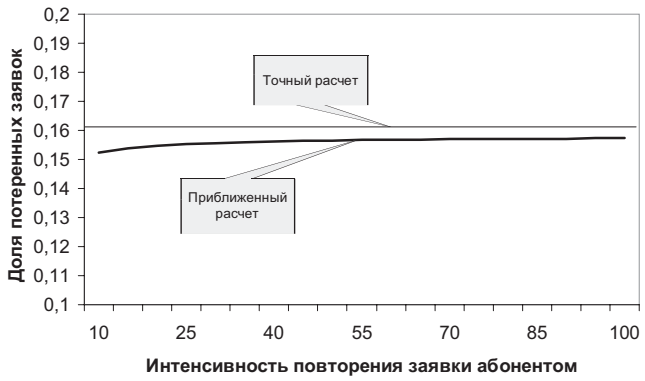


Рис. 4. Точный и приближенный расчет доли потерянных завок при больших значениях

горизонтальной линией. Приведенные на рисунке результаты говорят о хорошей точности приближенной процедры.

Заключение

Данная работа посвящена разработке и исследованию моделей функционирования call-центра, учитывающих возможность повторения вызова и наличие ограниченного времени ожидания. Для приближенного расчета характеристик марковской модели предложены два алгоритма:

• Алгоритм, основанный на использовании упрощенной модели, при построении которой предлагается заменить поток повторных вызовов на пуассоновский с некой неизвестной интенсивностью, для вычисления которой необходимо решить неявное уравнение. Алгоритм предназначен для расчета модели в области малых значений интенсивности повторения заявок.

• Алгоритм, основанный на использовании частного случая исследуемой модели, когда вероятность повторения заблокированной заявки принята равной нулю. Показатели качества обслуживания заявок могут быть найдены с использованием простых рекуррентных соотношений. Алгоритм предназначен для расчета модели в области больших значений интенсивности повторения заявок.

Предложенные алгоритмы отличаются хорошей точностью. Трудоемкость реализации расчетных схем сравнима с многократным (в среднем от 10 до 20 раз) использованием формул оценки характеристик моделей, описываемых процессом рождения и гибели. Таким образом, разработанный метод оценки характеристик обеспечивает время счета порядка нескольких секунд на современных вычислительных средствах при количестве рабочих мест операторов, изменяющихся от нескольких десятков до нескольких сотен.

Литература

1. **Stolletz R.** Performance analysis and optimization of inbound call centers/ Spring-Verlag, 2003.

2. **Пшеничников А.П., Степанов С.Н.** Модели системы связи с повторными вызовами. Учебное пособие / МТУСИ. — М.,1993. — 20 с.

3. **Степанов С.Н., Ухловская Л.Г.** Моделирование потоков вызовов, поступающих и обслуженных справочно-информационными службами ГТС // Электросвязь, 1995. — N4. — С.26-29.

4. **Пшеничников А.П., Степанов М.С.** Асимптотические свойства модели с учетом повторения заблокированных заявок // Труды конференции "Телекоммуникационные и вычислительные системы". — М.: МТУСИ , 2009. — С.44-46.

5. **Степанов М.С.** Использование асимптотических свойств модели с повторениями заявок для оценки показателей качества их обслуживания // Труды конференции "Телекоммуникационные и вычислительные системы", 2009. — С.46-47.

Предоставление инфокоммуникационных услуг на сетях связи следующего поколения

В настоящее время на сетях зарубежных и российских операторов связи наблюдается процесс объединения фиксированных сетей с коммутацией каналов и сетей с коммутацией пакетов, а также мобильных сетей с целью предоставления пользователям единого набора унифицированных услуг связи. Для обеспечения совместимости различных сетевых технологий необходимо создание архитектуры конвергентных сетей. Данная архитектура получила название сети связи следующего поколения.

Васькин Ю.А.,
МТУСИ

Стандартизация сетей связи следующего поколения

С развитием инфокоммуникационных технологий появилась возможность создания архитектуры мультисервисных сетей, которые в рамках единой инфраструктуры будут предоставлять услуги стационарных телефонных сетей, сетей СПС и пакетных сетей. При этом конвергенция сетей связи породила две основных технических проблемы:

— взаимодействие разнообразных систем сигнализации каждой из объединяемых сетей;

— развитие новых инфокоммуникационных услуг с универсальным доступом из ТфОП/ЦСИС/интеллектуальной сети и IP-сети [1].

Архитектура сети, позволяющая предоставлять услуги пользователям различных сетей, а также учитывающая обе приведенные выше проблемы, получила название сети связи следующего поколения (Next Generation Network, NGN). В технологии NGN в полной мере реализуется теория конвергенции, являющаяся теоретической основой для развития сетей связи, в сути своей подразумевающая, прежде всего, максимально возможное использование всех доступных ресурсов для обслуживания любых видов трафика [2].

В соответствии с определением, приведенным в [3], сетью связи следующего поколения называется сеть с коммутацией пакетов, обеспечивающая предоставление услуг связи с заданным качеством с использованием различных транспортных технологий.

В настоящее время основные работы по стандартизации сетей NGN проводят МСЭ-Т, Европейский институт стандартов электросвязи (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) и Комитет по инженерным проблемам Интернет (Internet Engineering Task Force, IETF).

Принципы построения и функционирования сетей следующего поколения представлены в рекомендациях МСЭ-Т серии Y.

Европейский институт стандартов электросвязи (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) - независимая некоммерческая организация, задачей которой является создание стандартов электросвязи для сегодняшних и будущих потребностей.

В ETSI стандартизацией сетей NGN занимается технический комитет по конвергенции служб и протоколов сетей связи и Интернет для усовершенствованных сетей (Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking, TISPAN). Комитет TISPAN образовался в результате слияния двух комитетов: комитета по координации взаимодействия протоколов сетей связи и Интернет (Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks, TIPHON) и комитета по услугам и протоколам для усовершенствованных сетей связи (Service and Protocols for Advanced Networks, SPAN).

Комитет по инженерным проблемам Интернет (Internet Engineering Task Force, IETF) является открытым международным объединением разработчиков сетевых протоколов, операторов, производителей и исследователей, работающих над развитием архитектуры Интернет и бесперебойного функционирования существующей инфраструктуры. Структура IETF представляет собой рабочие группы, ответственные за различные аспекты архитектуры Интернет.

Описание протоколов NGN в IETF публикуется в виде запросов для комментариев (Requests for Comments, RFC), имеющих различные номера и статус. Решение о публикации RFC принимает редакция RFC, подчиняющаяся архитектурному совету Интернет (Internet Architecture Board, IAB).

В рамках стандартизации сетей следующего поколения IETF занимается внедрением протокола установления и завершения мультимедийных сеансов связи (Session Initiation Protocol, SIP). Кроме того, в IETF создана специальная рабочая группа для разработки стандартов, описывающих принципы обработки сигнальной информации, передаваемой из сетей с коммутацией каналов в сети с коммутацией пакетов (Signaling Transport, sigtran).

Помимо МСЭ-Т, ETSI и IETF, участие в разработке стандартов NGN принимают различные региональные организации. К ним, например, относятся Альянс по разработке решений в области телекоммуникаций ATIS (США), Ассоциация стандартизации электросвязи Китая CCSA, Ассоциация телекоммуникационных технологий TTA (Южная Корея), Комитет телекоммуникационных технологий TTC (Япония) и др.

Архитектура сетей связи следующего поколения

Концепция NGN, в первую очередь, характеризуется четким разделением трех уровней соединения в соответствии с их функциональными задачами: для коммутации и передачи речевой информации используется транспортный функциональный уровень, для передачи сигнальной информации — уровень сигнализации, а предоставление услуг, отличных от базовых, осуществляется со стороны уровня услуг. При этом между уровнями определены интерфейсы, которые являются объектом стандартизации [4].

Задачей транспортного уровня является коммутация и прозрачная передача информации пользователя.

Задачей уровня управления коммутацией и передачей является обработка информации сигнализации, маршрутизация вызовов и управление потоками.

Уровень управления услугами содержит функции управления логикой услуг и приложений и представляет собой распределенную вычислительную среду, обеспечивающую:

— предоставление инфокоммуникационных услуг;

— управление услугами;

— создание и внедрение новых услуг;

— взаимодействие различных услуг.

Транспортный уровень сети NGN строится на основе сетей с коммутацией пакетов. Основными технологиями, используемыми на

транспортном уровне, являются ATM и IP.

Установление соединения в сети NGN осуществляется под внешним управлением устройства, получившего название гибкого коммутатора (Softswitch).

Применение Softswitch позволяет преодолеть проблемы взаимодействия между собой транспортных шлюзов с разными системами сигнализации. Softswitch координирует действия, обеспечивающие соединения с логическими объектами в разных сетях, и преобразует информацию в сигнальных сообщениях с тем, чтобы они были понятны в этих сетях. Кроме этого гибкий коммутатор должен обеспечивать хранение и управление абонентскими данными пользователей и взаимодействие с серверами приложений для предоставления расширенного списка услуг пользователям сети [4].

Услуги в сетях связи следующего поколения

Переход к концепции NGN при построении сетей связи привел к изменению концепции предоставления услуг связи. В традиционных сетях связи объем предоставляемых услуг был большим, но услуги носили асимметричный характер. В процессе предоставления услуг оператор выступал с активной стороны, предлагая услуги, а пользователь большей частью выступал как пассивный потребитель.

Изменение парадигмы в концепции услуг, которое было связано с общим изменением концепции сетей NGN, выражается в первую очередь в том, что роли оператора и пользователя существенно поменялись [5]. В связи с изменением свойств оконечных терминалов, а также с появлением обратной связи между оператором и пользователем услуг связи современные потребители услуг связи стали активными. При этом повышается уровень интерактивности услуг связи и услуги становятся персонализированными.

Переход от цифровых сетей связи к сетям NGN также позволил помимо передачи речи и данных обеспечить передачу видеоинформации. Концепция предоставления услуг, базирующихся на комбинации данных, речи и видео, получила название Triple Play (3Play). В соответствии с данной концепцией услуги передачи речи, данных и видеоинформации используются в качестве базового набора услуг, а любая услуга, предоставляемая в сети NGN, является производной от базового набора услуг [6]. Данный подход к предоставлению услуг пользователям имеет следующие преимущества:

— услуги, предоставляемые в сети NGN, являются унифицированными, т.е. реализованы на базе единого набора базовых услуг;

— для реализации новых услуг достаточно реализовать предоставление трех базовых услуг связи;

— концепция предоставления новых услуг является открытой.

Если базового набора услуг не хватает для реализации новых услуг, в данный набор вводится дополнительная базовая услуга. В настоящее время развитие сетей сотовой подвижной связи привело к тому, что значительное число абонентов используют мобильные терминалы. При этом все более востребованными являются персонифицированные услуги связи, предоставление которых необходимо обеспечить в различных точках сети, т.е. необходима поддержка роуминга персонифицированных услуг связи. В связи с этим четвертой базовой услугой в концепции 3Play стала услуга обеспечения мобильности абонентов. Новая концепция получила название Quadruple Play (4Play).

Предпосылки перехода на IMS

В качестве технологической базы для реализации концепции 4Play выбрана технология мультимедийной подсистемы на базе протокола IP (IP Multimedia Subsystem, IMS).

Новая парадигма услуг связи заключается в установлении соединения и последующего взаимодействия мобильных устройств на базе протокола IP. Эти терминалы имеют достаточно большие дисплеи с высокой точностью изображения, встроенные камеры и значительный ресурс для обеспечения работы приложений, с помощью которых осуществляется предоставление инфокоммуникационных услуг. Данные устройства постоянно находятся в рабочем состоянии и подключены к сети. Данное обстоятельство позволяет иначе взглянуть на приложения. Приложения больше нельзя рассматривать как изолированные функциональные элементы, которые осуществляют обмен информацией с пользовательским интерфейсом. Приложения следующего поколения имеют возможность обмениваться информацией между собой [7].

С точки зрения эволюции сетей появление IMS — закономерный результат общего движения по пути конвергенции современных технологий [6].

С помощью IMS появляется возможность предоставления следующих типов персонализированных услуг абонентам мобильных и фиксированных сетей связи:

— передача голосовой и видеоинформации, а также мультимедийных сообщений в реальном времени (голосовая и видеотелефония);

— услуги аудио и видеоконференции;

— услуги передачи данных;

— услуги потоковой передачи данных (например, видео по запросу);

— услуга передачи мультимедийных сообщений [8].

Стандартизация IMS

Архитектура IMS описана в технических спецификациях консорциума 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Изначально применение данной архитектуры планировалось только на сетях сотовой подвижной связи [9].

Помимо 3GPP в процессе стандартизации IMS принимают участие Группа разработок сети Интернет (Internet Engineering Task Force, IETF), Открытый мобильный альянс (Open Mobile Alliance, OMA), чьи представители работают над организацией взаимодействия ресурсов поставщиков услуг и сетей с технологией IMS, а также консорциум 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2), в котором разрабатываются стандарты для мобильных сетей связи третьего поколения в странах с действующими стандартами Американского национального института стандартов (American National Standard Institute, ANSI) в области телекоммуникаций.

Необходимость в обеспечении масштабируемости новой платформы услуг, а также сокращения сроков разработки и ввода новых услуг в коммерческую эксплуатацию привела к новому подходу в стандартизации услуг связи. Старый подход, при котором в стандарты вносились полные списки телекоммуникационных услуг, приложений и дополнительных услуг более не считается приемлемым.

В настоящее время 3GPP проводит стандартизацию возможностей услуг (Service Capability, CS). Более подробная информация относительно новых подходов к проведению стандартизации CS представлена в [11].

Архитектура IMS

Технология IMS находится на стыке современных мобильных сетей третьего поколения (3rd Generation, 3G) и так называемого поколения 2,5 (2,5 Generation, 2,5G) и технологии конвергентных сетей. В результате синтез этих технологий порождает объединение в

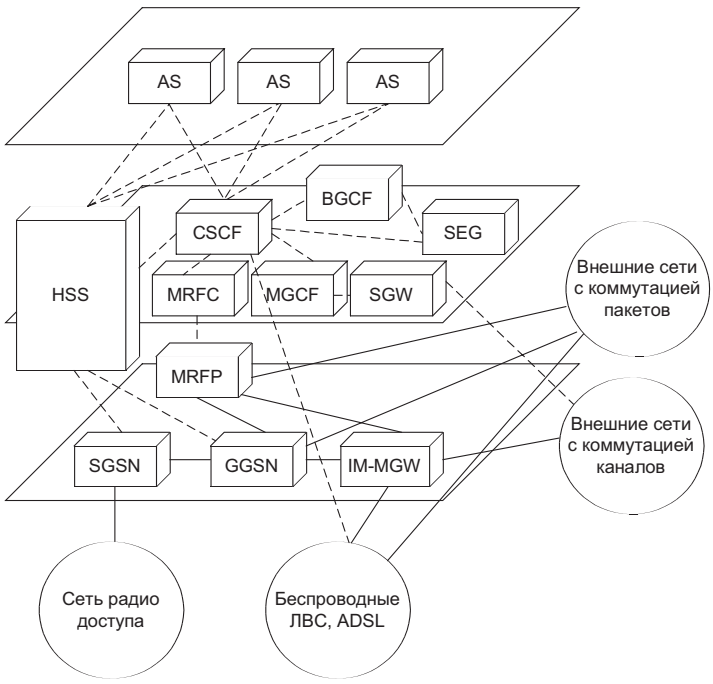
IMS трех технологических пластов [6]:

— технологии современных мобильных сетей, включая всю специфику систем сотовой подвижной связи;

— технологии объединенных сетей с коммутацией каналов и сетей NGN. Сюда можно отнести концепцию современных традиционных систем сигнализации ОКС7 и все решения на основе IN и гибкого коммутатора;

— технологии IMS, которая представляет собой качественно новую технологию, возникшую в результате синтеза первых двух технологий.

В процессе разработки архитектуры IMS функционал сети был логически распределен по разным уровням. Так функции по обеспечению транспорта отделены от функций, обеспечивающих обмен сигнальной информацией и управление сессиями, а функции по обеспечению услуг располагаются на самом верхнем уровне архитектурной модели IMS (рис. 1). Общее описание архитектуры IMS и интерфейсов между функциональными элементами приведено в [6].



——— - пользовательский трафик
– – – – – - сигнальный трафик

Рис. 1. Многоуровневая архитектура IMS

В IMS применен новый подход к предоставлению услуг, позволяющий оператору внедрять услуги, созданные сторонними разработчиками или самим оператором, а не производителями телекоммуникационного оборудования. Это позволяет интегрировать различные услуги и предоставляет широкие возможности персонализации и увеличения количества услуг.

Функциональные элементы IMS могут быть разделены на следующие основные группы:

— управления сессиями и маршрутизации;

— баз данных;

— взаимодействия;

— отвечающих за предоставления услуг;

— поддержки;

— отвечающих за проведение платежей.

Детальная информация об архитектуре IMS, а также описание основных сценариев функционирования приведена в [10].

Технология IMS разрабатывалась с целью объединения в одной функциональной структуре проводных и беспроводных сетей связи, различных услуг и приложений, а также обеспечения максимальной гибкости персонификации и удобства контроля со стороны оператора. Данная концепция является базовой для осуществления конвергенции сетей связи.

Отличительной особенностью систем IMS является использование распределенных баз данных на уровне управления сессиями. В процессе предоставления услуги каждый запрос от оборудования пользователя представляет собой последовательность транзакций с использованием различных компонентов IMS. Эта особенность влечет за собой доработки временной синхронизации. Кроме того, вопросы контроля, управления, диагностики распределенных баз данных также имеют свою специфику, что должно учитываться при построении современных систем управления, эксплуатации, измерений и т.д.

Выводы

• Переход к концепции NGN при построении сетей связи привел к изменению концепции предоставления услуг связи. Потребители услуг связи стали активными, при этом повысился уровень интерактивности услуг связи, которые стали персонализированными.

• Переход от цифровых сетей связи с коммутацией каналов к сетям NGN позволил помимо передачи речи и данных обеспечить передачу видеоинформации, что привело к появлению концепции Triple Play (3Play).

• В качестве технологической базы для реализации концепции 4Play была выбрана технология мультимедийной подсистемы на базе протокола IP (IMS). С точки зрения эволюции сетей появление IMS — закономерный результат общего движения по пути конвергенции современных технологий.

• С помощью IMS появляется возможность предоставления услуг сетей связи следующего поколения с учетом обеспечения функции мобильности пользователя.

Литература

1. **Гольдштейн А.Б., Зарубин А.А., Саморезов В.В., Шурыгина С.Б.** Программные коммутаторы и современные ТфОП. Технологии и средства связи. №2. 2002. — 96-99 с.

2. **Кучерявый А.Е.** Пакетная сеть связи общего пользования. Спб.: Наука и техника, 2004. — 272 с.

3. ITU-I. Y.2001 General Overview of NGN.

4. **Семенов Ю.В.** Проектирование сетей связи следующего поколения. С-Пб.: Наука и Техника, 2005. — 240 с.

5. **Росляков А.В.** Сети следующего поколения NGN. М.: Эко-Трендз, 2008. — 424 с.

6. **Бакланов И.Г.** NGN: принципы построения и организации. М.: Эко-Трендз, 2008. — 400 с.

7. **Miika Poikselka, Georg Mayer, Hisham Khartabil, Aki Niemi.** IMS. IP Multimedia Concepts and Services in the Mobile Domain. John Wiley & Sons Ltd., 2004 — 419 p.

8. Convergence Technologies for 3G Networks. John Wiley & Sons Ltd., 2004 — 650 p.

9. **Васькин Ю.А., Пшеничников А.П.** Принципы построения конвергентных сетей. Труды конференции "Телекоммуникационные и вычислительные системы". М.: МТУСИ, 2008. — 27-28 с.

10. **Васькин Ю.А.** Классификация и требования к содержанию услуг связи в конвергентных сетях. Труды конференции "Телекоммуникационные и вычислительные системы". М.: МТУСИ, 2008. — 29-30 с.

11. 3GPP. TS 23.228. IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2.

Классификация структур решетчатых оптических сетей

Существующие структуры решетчатых оптических сетей позволяют решить различные задачи, поставленные на этапах проектирования. В докладе проведена классификация решетчатых структур, рассмотрены их основные свойства и преимущества, определены недостатки, а также проведено сравнение с ячеистой сетью по коэффициенту готовности $K_г$.

Рахматулин А.М.,
Аспирант ФГУП ЦНИИС,
hamson@mail.ru

Концепция архитектуры отказоустойчивой решетчатой оптической транспортной сети (ОРОТС) заключается в том, что, в отличии от существующих архитектур транспортных сетей, позволяет организовывать одинаковую степень защищенности для каждого сетевого узла, независимо от того, где он располагается — на границе сети или в ее центре.

Решетчатая сеть является одним из видов тороидальных сетей и представляет собой 2-х мерный неориентированный, неупрощенный тор с N рядами и M колонками [1]. В отличии от сети Манхеттен связи между узлами сети неориентированны [1,2].

Решетчатая сеть представляет собой группу регулярных кольцевых структур сформированных в виде решетки и имеющих точки пересечения в виде сетевых узлов, т.о. каждый узел участвует в формировании как горизонтального так и вертикального кольца, которые в свою очередь формируют дополнительные технологические кольца (рис 1).

Исследования [1,3] показали, что при больших информационных нагрузках и высоких скоростях передачи сети с ориентированными связями между узлами обладают большими показателями задержки, что не может не повлиять на время локализации и восстановления при аварийной ситуации на сети.

Учитывая современные тенденции [4,5] и требования, предъявляемые к транспортным сетям [6,7,8], а также узкоспециализированность механизмов маршрутизации в тороидальных сетях [3], более выгодным будет использование автоматической коммутации по меткам (GMPLS), что позволит отнести решетчатую сеть к автоматически коммутируемым сетям (ASON). Основные функции описаны в [5,6,9,10].

Как видно из (рис.1), каждый сетевой узел обладает 4 физическими линиями, что позволяет организовать защиту типа 1+3, где на 1 рабочий элемент приходится 3 резервных.

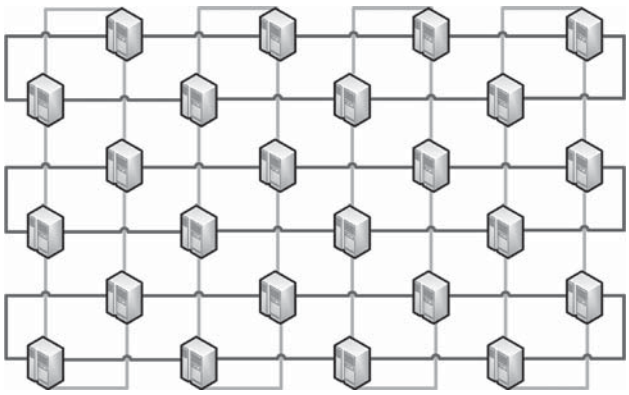


Рис.1. Структура решетчатой сети

Такая топологическая структура решетчатой сети позволяет достичь высокой отказоустойчивости и низкого коэффициента простоя (Кп), а следовательно и добиться высокого коэффициента готовности (Кг), который расчитывается по формуле:

$$K_г = 1 - K_п. \qquad (1)$$

Для сложных систем резервирования типа n+m, формула для расчета коэффициента простоя ($K_п$) будет иметь следующий вид:

$$K_n^p = \frac{(n+m)}{n! \times (m+1)!} \times K_n^{(m+1)} + \frac{n}{n+m} \times \frac{\lambda_o}{(n+m) \times \lambda_o + \lambda_p}, \qquad (2)$$

где *n* — число рабочих элементов; *m* — число резервных элементов; λ_0 — интенсивность отказов одного элемента системы передачи; λ_p — интенсивность отказов устройства переключения на резерв [11].

Далее, будут рассмотрены и классифицированы основные структуры решетчатых оптических сетей, а также будет проведено сравнение с ячеистой сетью по коэффициенту готовности. Количество узлов, их топологическое расположение, а также показатели интенсивности отказов (λ) элементов будут одинаковыми и равными 0. Значение коэффициента простоя заимствовано из требований по надежности для СМП ЕСЭ РФ и будет равным 0,08. Коэффициент готовности Кг для ячеистой сети будет расчитываться для сетевых узлов на границе и в центре сети.

Регулярные решетчатые структуры оптических сетей с совмещенными волоконными кольцами

Регулярной решетчатой структурой с совмещенными волоконными кольцами называется такая структура, при которой каждый сетевой узел участвует в формировании двух колец. В этом случае, каждому узлу предоставляются 4 физические линии и организуется защита типа 1+3.

Таким образом коэффициент готовности из (1) и (2) будет следующим:

$$K_n^p = \frac{(n+m)}{n! \times (m+1)!} \times K_n^{(m+1)} = \frac{1}{6} \times K_n^4 = \frac{0,08^4}{6} = 0,00000683,$$

$$K_г = 1 - 0,00000683 = 0,99999317.$$

Так как в ячеистой сети узлы обладают разным количеством физических линий, то и коэффициент готовности для каждого узла будет разным. В рассматриваемом случае узлы на границе сети будут обладать 3 физическими линиями, а в центре сети максимальное количество линий будет равным 8.

Т.о. коэффициент готовности из (1) и (2) будет равным:

$$K_n^p = \frac{1}{2} \times K_n^3 = \frac{0,08^3}{2} = 0,000256.$$

Для граничных узлов:

$$K_г = 1 - 0,000256 = 0,999744.$$

Для узлов в центре:

$$K_n^p = \frac{1}{40320} \times K_n^8 = \frac{0,08^8}{40320} = 1,6777216e^{-0,9},$$

$K_г = 1 - 1,6777216e^{-0,9}$.

Как видно из полученных результатов ячеистая сеть не позволяет достигать одинакового коэффициента готовности для узлов на границе и в центре сети. Безусловно, сетевые узлы, находящиеся в центре ячеистой сети обладают большим коэффициентом готовности, однако при выходе из строя одного такого узла смежные с ним узлы потеряют доступ к одной физической линии. В сравнении с решетчатой сетью с совмещенными волоконными кольцами, выход из строя одного узла в центре ячеистой сети затронет в 2 раза больше сетевых узлов.

Регулярные решетчатые структуры с разнесенными волоконными кольцами

В случае с разнесенными волоконными кольцами каждый сетевой узел участвует в формировании 4 колец — горизонтальном, вертикальном, горизонтальном с четными/нечетными узлами, вертикальными четными/нечетными узлами (рис. 2).

Каждое из сформированных колец использует оптические волокна, находящиеся в различных кабелях, таким образом, каждый узел в решетчатой сети обладает 8 физическими линиями, а коэффициент готовности каждого сетевого узла из (1) и (2) становится равным:

$$K_n^p = \frac{1}{40320} \times K_n^8 = \frac{0,08^8}{40320} = 1,6777216e^{-0,9},$$

$K_г = 1 - 1,677721e^{-0,9}$.

В отличии от ячеистой сети, где только узлы в центре сети обладают 8 физическими линиями, в решетчатой сети с разнесенными волоконными кольцами таким количеством физических соединений обладает каждый узел.

Квазирешетчатая сеть

Квазирешетчатая сеть является 2-х мерным неориентированным, упрощенным тором с N рядами и M колонками. В отличие от решетчатой в квазирешетчатой сети связь между определенными узлами отсутствует (рис. 3).

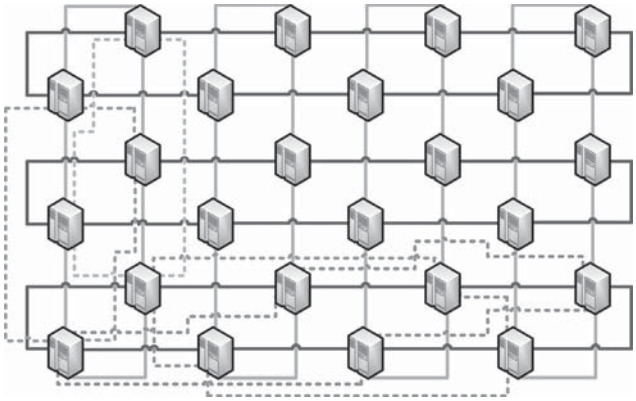


Рис. 2. Регулярная решетчатая структура с разнесенными волоконными кольцами

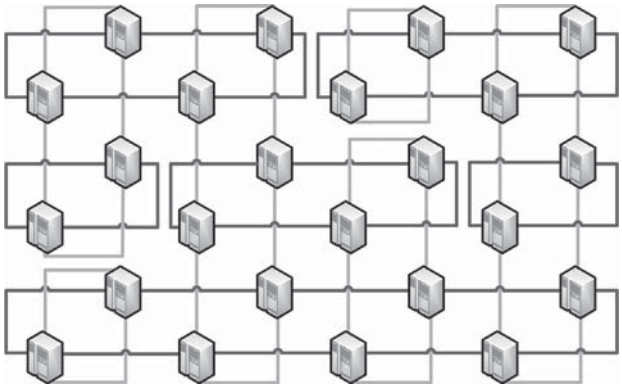


Рис. 3. Квазирешетчатая сеть

Согласно исследованиям [1,2] при высоких трафиковых нагрузках упрощенные тороидальные сети обладают еще более меньшими задержками при обработке и маршрутизации информационных потоков, чем неупрощенные тороидальные сети. Однако стоит учитывать, что без внедрения в систему управления специализированных механизмов маршрутизации, сеть данного типа будет ограничена в функциональности алгоритмами маршрутизации GMPLS [12, 13].

Несмотря на то, что между определенными узлами квазирешетчатой сети отсутствуют связи, каждый узел тем не менее обладает 4-мя физическими линиями, потому показатели коэффициента готовности квазирешетчатой сети не будут отличаться от показателей регулярной решетчатой сети с совмещенными волоконными кольцами.

Рассмотренные в данном докладе структуры решетчатых сетей позволяют достигать высоких показателей надежности, обладают достаточной гибкостью и масштабируемостью, а внедрение в систему управления таких сетей специализированных механизмов маршрутизации позволит уменьшить задержки при передачи информации и увеличить скорость локализации повреждений.

Литература

1. **B. Parhami, Ding-Ming Kwai.** Comparing Four Classes of Torus-Based Parallel Architectures: Network Parameters and Communication Performance — Mathematical and Computer Modelling, Issue 40, 2004. – P.701-720.
2. **N.F. Maxemchuk**. The Manhattan street network — IEEE Globecom, pp. 255-261, September 1985.
3. **Jack Brassil, Rene Cruz.** Nonuniform traffic in the Manhattan street network — Performance Evaluation, Issue 25, 1996. — P.233-242.
4. **Фокин В.Г.** Оптические системы передачи и транспортные сети — М.: Эко-Трендз, 2008. — 288 с.: ил
5. **Василик О.** Коммутация по меткам в транспортных сетях — Сети и телекоммуникации №12, 2007.
6. ITU-T G.8080/Y.1304. Architecture for the Automatically Switched Optical Network (ASON), 2003.
7. ITU-T G.709/Y.1331. Interfaces for the Optical Transport Networks (OTN), 2001.
8. ITU-T G.806. Characteristics of Transport Equipment — Description Methodology and Generic Functionality, 2004.
9. **Меккель А.М.** Полностью оптическая транспортная сеть — М.: ФГУП ЦНИИС. —104 с.
10. **Рахматулин А.М.** Анализ особенностей автоматически коммутируемых оптических сетей на базе отказоустойчивых решетчатых оптических транспортных сетей — Труды РНТОРЭС им. А.С. Попова, Серия: Научная сессия, посвященная дню радио, Выпуск: LXIV, 2009. — С.29-31.
11. **Алексеев Е.Б.** Проектирование и техническая эксплуатация цифровых волоконно-оптических систем передачи — М.: ООО "Оргсервис-2000". — 218 с.
12. **N.F. Maxemchuk.** Routing in the Manhattan street network — IEEE Trans. Communications, Issue 35, 1987. — P.503-512.
13. **A.G. Greenberg, J.W. Goodman.** Sharp approximate models of deflection routing in mesh networks — IEEE Trans. Comm, Issue 41, 1993. — P.210-223.

Основные принципы разработки методов проектирования решетчатых и квазирешетчатых оптических транспортных сетей связи

В настоящее время существуют различные методы проектирования оптических транспортных сетей, однако они не учитывают многие особенности решетчатых и квазирешетчатых сетей связи, потому их применение не позволит полностью раскрыть потенциал таких сетей. В докладе рассмотрены основные принципы разработки методов проектирования решетчатых и квазирешетчатых сетей, проведено сравнение с существующими методами проектирования оптических транспортных сетей.

Рахматулин А.М.,
Аспирант ФГУП ЦНИИС,
hamson@mail.ru

Оптическая транспортная сеть в настоящее время является основой сети связи любого масштаба, поэтому на этапах планирования и проектирования необходимо провести максимальное количество мероприятий для формирования четкой концепции транспортной сети, что в дальнейшем позволит избежать целого ряда проблем. К таким проблемам можно отнести ограниченную функциональность сети, дополнительные капитальные затраты на организацию резерва или затраты на замену морально устаревшего оборудования [1,2].

На данный момент разработано и активно применяется большое количество методов проектированиия транспортных сетей, в том числе и оптических, каждый из которых решает определенную задачу. Безусловно, все известные методы проектирования оптических транспортных сетей обладают определенным количеством общих этапов [1,2,3,4,9]:

- Разработка технического задания
- Анализ и оценка существующих услуг, прогнозирование возможных перспективных услуг, расчет предполагаемого объема передаваемой информации, а также ее классификация
- Выбор структуры сети
- Выбор среды и технологии передачи, а также соответствующего типа оборудования
- Анализ и определение требований по критерию готовности, выбор технологии резервирования
- Выбор поставщиков линейного кабеля
- Выбор поставщиков оборудования
- Формирование состава оборудования на узлах связи
- Разработка схемы организации связи
- Разработка схемы синхронизации оборудования
- Разработка схемы управления
- Расчет экономической эффективности
- Оценка необходимого уровня эксплуатационных мероприятий
- Учет энергозатрат на каждом узле, а также сети вцелом.

Конечно, в зависимости от поставленных задач эти этапы могут быть дополнены или изменены.

Ниже рассматриваются основные принципы разработки методов проектирования решетчатых и квазирешетчатых оптических транспортных сетей (рис.1-2).

Концепция таких тороидальных оптических транспортных сетей связи заключается в организации одинаковой степени отказоустойчивости для каждого сетевого узла, а развитые механизмы маршрутизации [5,6], разработанные для сетей этого типа, позволяют достичь высокой эффективности использования доступных сетевых ресурсов.

Учитывая специфику архитектур тороидальных оптических транспортных сетей [7,8], существующие методы проектирования не позволяют решить ряд задач, которые определены концепцией отказоустойчивой решетчатой (квазирешетчатой) оптической транспортной сети связи. К таким задачам относятся: формирование сложной архитектуры сети, определение оптимального механизма маршрутизации, а также методы его внедрения в систему управления сетью.

Разработка методологии проектирования решетчатых и квазирешетчатых сетей заключается в анализе существующих методов проектирования, формировании критичных, с точки зрения концепции, этапов проектирования, а также в заимствовании уже разработанных общих этапов.

Итак, выделим основные принципы разработки методов проектирования ОР(К)ОТС:

- Методы должны позволять решить задачи определенные концепцией отказоустойчивой решетчатой (квазирешетчатой) оптической транспортной сети (ОР(К)ОТС), а также обладать оптимальными механизмами их решения.

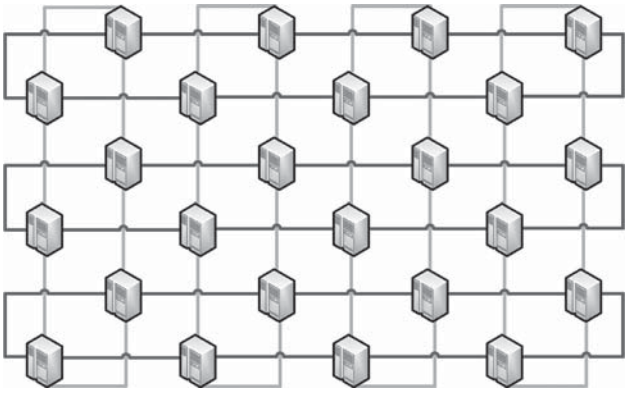


Рис.1. Решетчатая сеть

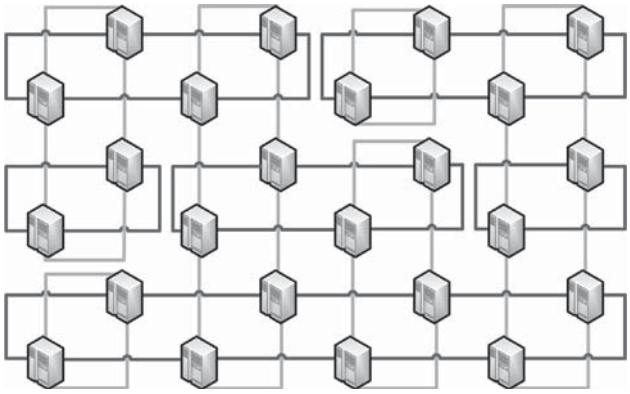


Рис. 2. Квазирешетчатая сеть

• Методы должны обладать определенной иерархией, состоящей из некоторого числа компонентов, каждый из которых решает определенную задачу.

• Методы должны обладать гибкостью и возможностью модифицирования или модернизации.

Далее, каждый из принципов будет рассмотрен более детально.

Основные задачи, определенные концепцией решетчатых и квазирешетчатых оптических транспортных сетей, заключаются в следующем:

• Каждый узел сети должен обладать одинаковой отказоустойчивостью.

• Механизмы управления сетью должны позволять достигать высоких показателей производительности.

• Сеть должна обладать перспективностью развития и возможностью масштабирования.

• Сеть должна обладать оптимальной экономической эффективностью.

Иерархичность методов проектирования позволит более эффективно решать задачи проектирования [1,2,9]. На данный момент можно выделить три уровня иерархической структуры:

• Уровень архитектуры

К данному уровню можно отнести выбор архитектуры, формирование схемы организации связи, определение механизма резервирования и пр.

• Уровень оборудования.

На данном уровне происходит выбор типа оборудования, линейных кабелей, их поставщиков, а также проводятся определенные расчеты.

• Уровень эксплуатации.

Определение необходимых измерительных приборов, выбор требуемого уровня эксплуатации проектируемой сети и пр.

Возможность модифицирования и модернизации позволит подстраивать методы под определенные нужды, а также сохранит их актуальность по прошествии времени.

Разработка новых методов проектирования решетчатых и квазирешетчатых оптических транспортных сетей позволит более эффективно осуществлять проектирование таких типов сетей, а также позволит полностью раскрыть их потенциал.

Литература

1. **Алексеев Е.Б.** Проектирование и техническая эксплуатация цифровых волоконно-оптических систем передачи — М.: ООО "Оргсервис-2000". — 218 с.

2. **Фокин В.Г.** Оптические системы передачи и транспортные сети — М.: Эко-Трендз, 2008. — 288 с.: ил

3. **Вербовецкий А.А.** Основы проектирования цифровых оптических систем и сетей связи — М., 2003 — 222 с.

4. **Мошак Н.Н.** Основы проектирования сетей АТМ. Ч.2 Методы и модели расчета параметров широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб: Учебное пособие — СПб.: СПбГУТ, 2003.

5. **N.F. Maxemchuk**. Routing in the Manhattan street network — IEEE Trans. Communications, Issue 35, 1987. —P.503-512.

6. **A.G. Greenberg, J.W. Goodman.** Sharp approximate models of deflection routing in mesh networks — IEEE Trans. Comm, Issue 41, 1993. — P.210-223.

7. **B. Parhami, Ding-Ming Kwai.** Comparing Four Classes of Torus-Based Parallel Architectures: Network Parameters and Communication Performance — Mathematical and Computer Modelling, Issue 40, 2004. — P.701-720.

8. **N.F. Maxemchuk.** The Manhattan street network — IEEE Globecom, September 1985. — P.255-261.

9. **Девицына С.Н.** Проектирование магистральных и внутризоновых волоконно-оптических линий связи с применением оборудования синхронной цифровой иерархии (SDH): Учебное пособие. — Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003. — 88 с.

Вопросы проектирования сетей IPTV

Для сохранения конкурентоспособности на телекоммуникационном рынке сервис-провайдеры должны задуматься о предоставлении персонализированных медиа- и интерактивных услуг IPTV, которые требуют интеграции развлекательных услуг с коммуникационными и интернет-технологиями. Все крупные проекты IPTV реализуются на базе сетей NGN.

Абаева Б.К.,
АО " Казахтелеком"

Основные услуги IPTV

Технология IPTV позволяет эффективно передавать телевизионный сигнал с помощью интернет-протокола. В отличие от традиционных видов цифрового телевидения (эфирного, кабельного и спутникового) IPTV — полностью интерактивный сервис, функционирующий в рамках мультисервисных сетей Triple Play. Технология IPTV практически не имеет ограничений по количеству каналов (число их может достигать от 30 до 100 и более) и качеству транслируемого контента. Все зависит лишь от пропускной способности сети и территории ее охвата. Спутниковые и обычные аналоговые ТВ-программы также можно принимать с помощью IPTV, если перекодировать их для просмотра в сети.

Фактически сети IPTV — это персональные, индивидуальные сети, где каждый пользователь может выбирать контент по своему желанию. IPTV — это вещание для одного зрителя.

Возможности IP-протокола позволяют предоставлять широкий пакет интерактивных и интегрированных услуг, таких, например, как:

— видео по запросу (video on demand) - запрос и просмотр видеофильмов, ТВ- передач в любое удобное время;

— управляемая цифровая запись видео (network personal video recorder) — сохранение контента в сети или STB (Set-Top Box — абонентская приставка IPTV) с целью последующего индивидуального просмотра;

— дистанционное управление видеомагнитофоном (remote recording capabilities) — средства для управления сервисами с мобильного телефона, ПК и других устройств;

— отложенный просмотр ТВ-передач (time shifting) — возможность повтора понравившихся фрагментов передачи с помощью канала, передающего контент с задержкой (обычно кратной одному часу);

— интерактивные сервисы (interactive services) — обеспечение двустороннего канала, обратной связи между пользователем и производителем контента, а также другими пользователями в целях интерактивного взаимодействия;

— поддержка нескольких камер (multiple camera) - возможность абонента "переключать" ТВ-камеры, используемые во время трансляции.

Типы IPTV-узлов

Трафик услуг IPTV по своей природе может быть разделен на два класса.

Широковещательный трафик передается от одного или нескольких источников одновременно до множества приемников. К данному типу трафика относится широковещательный TV-трафик, виртуальный кинозал, а также служебный трафик. Для передачи широковещательного трафика используется многоадресная (multicast) маршрутизация.

Остальной трафик является двунаправленным и передается обычным способом, то есть с помощью одноадресной (unicast) маршрутизации. Данный трафик помещается в два IP VPN, один из которых служит для организации обмена между серверным оборудованием IPTV узлов и абонентскими IPTV приставками (STB), а другой — для связи IPTV узлов между собой и системой биллинга.

Существует два типа IPTV узлов — центральные и локальные.

Центральные IPTV узлы (ЦУ) обычно устанавливаются в крупных городах региона и содержат:

— оборудование HE (Head End) для приема спутниковых, эфирных и кабельных TV- сигналов, их конвертации в формат, необходимый для передачи по сети, и кодирования контента;

— служебные серверы для управления STB;

— серверы VoD (Video on Demand — видео по запросу).

Локальные узлы устанавливаются во всех остальных городах и крупных населенных пунктах, где планируется оказание услуг IPTV. В локальных узлах устанавливаются:

— служебные серверы для управления STB (кроме ЦУ);

— серверы VoD (кроме ЦУ).

В крупных мегаполисах устанавливаются локальные узлы, содержащие только VoD- серверы. Для управления STB используется оборудование центрального узла. Центральный узел должен быть присоединен к магистральной сети передачи данных (МСПД).

Передача широковещательного трафика

Данный трафик является многоадресным, то есть в отличие от одноадресного трафика должен быть доставлен не одному, а многим адресатам. Поэтому для multicast-трафика применяются протоколы маршрутизации и алгоритмы коммутации, отличные от используемых для unicast-трафика. Основное требование к этим протоколам и алгоритмам состоит в том, что вне зависимости от количества адресатов multicast-пакет должен пройти по любому участку сети только один раз. Данное требование продиктовано необходимостью эффективного использования сетевых ресурсов.

Для передачи multicast-трафика используется протокол PIM (Protocol Independent Multicast). Есть несколько режимов работы протокола PIM (PIM-SM, PIM-DM и PIM-SSM). Для распространения IPTV-трафика наиболее подходящей является модификация PIM-SSM (Source Specific Multicast). PIM-SSM работает для частного случая, когда заранее известны адреса серверов, осуществляющих вещание multicast-трафика. Тогда PE- маршрутизатор сможет сразу построить путь для подключения непосредственно к источнику. Отпадает необходимость размещать в сети RP (Rendezvous Point). Изначально PIM-SSM разрабатывался для тех приложений, которые могут самостоятельно при помощи IGMPv3 (Internet Group Management Protocol — протокол управления группами мультивещания) просигнализировать адрес сервера, с которого они хотят получать multicast- поток. Для тех клиентов, которые поддерживают только IGMPv2 или v1 (к ним относятся большинство STB), необходимо задействовать на PE функцию SSM-mapping, которая ассоциирует группу со статически определенным адресом источника.

С точки зрения ядра сети у этого способа есть один недостаток — необходимость иметь корректный маршрут на сеть, в которой на-

ходятся источники multicast-трафика. Поскольку PE-маршрутизатор не обладает информацией о доступности внешних сетей, он не может определить, куда отправлять PIM Join-сообщения, что препятствует построению дерева распространения multicast-трафика. Для решения этой проблемы маршруты на источники multicast-трафика будут распространяться по IGP (Interior Gateway Protocol — протокол внутреннего шлюза) и iBGP в той сети, к которой они непосредственно присоединены.

Резервирование источников multicast-трафика может быть сделано двумя разными способами. Первый способ использует технологию IP- anycast, в которой одинаковые сигналы транслируются с нескольких физически разнесенных источников. Каждый конечный PE-маршрутизатор при получении IGMP-запроса на контент выбирает ближайший по отношению к себе источник и строит ветку дерева к нему. При выходе из строя одного из источников, информация о недоступности распространяется по сети. Маршрутизаторы, принимавшие от него сообщения, перестраивают дерево к источнику другого IPTV-узла. В данном способе резервирование источников выполняется средствами самой сети. Серверное оборудование не участвует в процессе обеспечения отказоустойчивости и распределении PE- маршрутизаторов по источникам.

Специфика построения IPTV-узлов не позволяет применять описанный выше способ. Поэтому для резервирования источников применяется другой метод, в котором каждый конечный PE-маршрутизатор строит деревья ко всем источникам для каждого multicast-адреса. Вещание по конкретному каналу происходит только с одного источника. При выходе из строя активного источника система управления IPTV-узлами включает резервный источник. Поэтому в данном способе важно гарантировать, что в каждый момент времени контент транслируется только с одного источника.

Как было сказано ранее, построение дерева распространения multicast- трафика осуществляется с помощью протокола PIM-SSM. Протокол PIM должен быть включен на всех интерфейсах, связывающих L1 и L2- маршрутизаторы ядра МСПД, на стыках для пропуска IPTV-трафика между МСПД и региональными сетями, а также на всех маршрутизаторах региональных сетей, участвующих в передаче multicast-трафика. Стандартно для PIM-SSM предусмотрен диапазон multicast-адресов. Поскольку STB сигнализируют подписку на канал с помощью сообщений IGMPv2, в которых отсутствует информация об источнике, PE-маршрутизаторы региональных сетей, принимающие такие запросы, должны уметь преобразовывать их в (S,G) сообщения протокола PIM. Те маршрутизаторы, которые обладают функцией DNS- mapping (Domain Name System — система доменных имен), должны быть настроены следующим образом:

- доменное имя для преобразования (*,G) в (S,G);
- DNS-серверы;
- иметь IP-связность с указанными DNS-серверами.

Маршрутизаторы, не имеющие функцию DNS-mapping, но обладающие возможностью статической привязки групповых адресов к источникам, можно применять для предоставления услуг IPTV. Сложность администрирования таких маршрутизаторов возрастает за счет того, что их необходимо перенастраивать в случае изменения состава широковещательных каналов или источников. Кроме того, такие изменения придется производить согласованно со всеми региональными сетями, эксплуатирующими маршрутизаторы без DNS-mapping.

Передача одноадресного трафика

В системе предоставления услуг IPTV unicast-трафик представляет собой трафик управления STB, индивидуальный контент, получаемый каким-либо абонентом, например, VoD, а также служебный трафик узлов IPTV. Для передачи unicast-трафика служат две BGP (Border Gateway Protocol — протокол граничного шлюза)/MPLS (Multiprotocol Label Switching- многопротокольная коммутация по меткам) IP VPN (Virtual Private Network — виртуальная частная сеть).

Трафик управления STB, индивидуальный контент и некоторая часть служебного трафика передается в VPN IPTV UCAST. Для обмена маршрутной информацией в IPTV UCAST между AS, входящими в общую сеть, выделены три типа маршрутов, каждому из которых назначен свой RT.

Каждый PE-маршрутизатор, участвующий в предоставлении услуг IPTV, анонсирует маршрут на присоединенные сети. Добавление RT желательно производить на маршрутизаторе, порождающем маршрут. Обмен маршрутами IPTV UCAST осуществляется на IPTV-стыках в vpnv4 unicast AFI/SAFI. Центральные IPTV-узлы должны импортировать все маршруты IPTV UCAST. Локальные IPTV-узлы имеют маршруты на STB своего региона по причине нахождения в одной AS и импортируют маршруты центральных IPTV-узлов.

Трафик между узлами IPTV и системой биллинга помещен в VPN IPTV MGMT (Management — управление). Поэтому обмен маршрутами и трафиком IPTV MGMT будет производиться через существующие стыки между МСПД и региональными сетями.

Обеспечение качества обслуживания

Маркировка QoS (Qualiti of Service — качество услуг).

Маркировка услуг IPTV осуществляется при помощи поля DSCP в IP заголовке пакета. Маркировка зависит от типа трафика и представлена в таблице 1.

Таблица 1

Маркировка QoS

Тип трафика	Класс трафика	Значение DSCP		
		Смвольное	Десятичное	Битовое
Multicast-трафик VoD-трафик	Реального времени (Real Time)	CS3	24	011000
Unicast-трафик	Гарантированный эластичный (Assured Elastic)	AF31	26	011010

Трафик от узлов IPTV может быть маркирован как непосредственно на серверном оборудовании, так и на сетевом оборудовании, например, на коммутаторе или маршрутизаторе. Метод маркировки может быть выбран индивидуально для каждого IPTV-узла.

Трафик от приставки заканчивается на локальном IPTV-узле и, как правило, будет проходить в незагруженном направлении. Тем не менее, желательно осуществлять маркировку этого трафика на оборудовании доступа (DSLAM, коммутатор Ethernet и т.п.) или ближайшем граничном маршрутизаторе значением DSCP=AF31.

Настройка очередей

Для обеспечения качества обслуживания в условиях перегрузки на МСПД и в региональных сетях необходимо настроить управление очередями физических интерфейсов. Как правило, трафик класса Real Time помещают в приоритетную очередь и резервируют полосу, необходимую для его передачи. Для остального трафика используют алгоритмы, основанные на выборке пакетов из очередей на основе выделенной полосы для каждой очереди с возможностью занятия неиспользуемой емкости. В данное время на МСПД используется следующее распределение полосы среди очередей для разных классов трафика (табл. 2):

Таблица 2

Распределение полосы в МСПД

Класс трафика	Полоса пропускания на 10 GE-интерфейсе	Полоса пропускания на GE-интерфейсе
Real Time	1 Гбит/с	100 Мбит/с
Assured Elastic	3 Гбит/с	200 Мбит/с
Elastic	6 Гбит/с	300 Мбит/с

Трафик в региональной сети немного отличается от трафика в МСПД за счет большего объема трафика класса Real Time, обусловленного трафиком VoD. Кроме того, нужно учитывать, что класс Real Time помимо IPTV-трафика содержит также и голосовой трафик. С учетом того, что полоса для Real Time-трафика установлена с запасом по отношению к трафику широковещательных каналов, первоначально в региональных сетях можно использовать такое же распределение, что и в МСПД.

Передача трафика в сети доступа по DSL-линии

Для подключения клиентов используется S-VLAN модель. Эта модель предполагает, что в DSL-интерфейсе между CPE (Customer Premises Equipment — оборудование в помещении пользователя) и DSLAM (DSL Access Multiplexer — мультиплексор доступа DSL) организуется несколько PVC (постоянное виртуальное соединение). Трафик, передаваемый по разным PVC, имеет разное функциональное назначение. На upstream-интерфейсе DSLAM создается несколько VLAN (Virtual LAN — виртуальная локальная сеть) для передачи трафика разного типа. DSLAM осуществляет коммутацию (бриджинг) между VLAN в upstream-интерфейсе и PVC в DSL- интерфейсах к абонентам. Одна из этих PVC используется для передачи трафика Интернет между компьютером пользователя и BRAS (Broadband Remote Access Server — сервер широкополосного удаленного доступа).

Изоляция пользователей друг от друга

Для стабильной работы клиентов, подключенных по технологии S-VLAN, необходимо предпринимать меры, препятствующие прохождению трафика напрямую между устройствами клиента. Помимо этого, оборудование сети должно препятствовать попыткам клиента нарушить функционирование сети путем отправки служебных пакетов. Основная нагрузка по обеспечению такой изоляции ложится на DSLAM. DSLAM в состоянии изолировать только подключенных к нему напрямую клиентов. Если несколько DSLAM подключаются к сети через общий L2-домен, то необходимо обеспечить изоляцию клиентов разных DSLAM друг от друга. Для этого предлагается использовать разные номера unicast-VLAN (а если необходимо, то и Control-VLAN) для разных DSLAM в L2-сети. Таким образом, точкой, в которой объединяются логические интерфейсы клиентов разных DSLAM, является PE-маршрутизатор, на котором можно отфильтровать ненужный трафик.

Требования к DSLAM

Оказание услуг по распространению IPTV-трафика требует от DSLAM поддержки следующих технологий:

- Несколько PVC в одном DSL-интерфейсе;
- Возможность запретить передачу пакетов между клиентскими портами DSLAM;
- Ограничение количества MAC-адресов (Medium Access Control — управление доступом к среде), которые могут быть ассоциированы с одним DSL-портом;
- DHCP relay/snooping с запоминанием выданного клиенту адреса и использованием этой информации для предупреждения IP spoofing;
- Поддержка DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol — протокол динамической конфигурации узла) опции 82;
- Защита от MAC spoofing — отбрасывание пакетов с MAC- адресом отправителя, который ассоциирован с другим портом DSLAM;
- Защита от IP spoofing — отбрасывание IP пакетов с некорректным IP- адресом;
- Защита от ARP spoofing — отбрасывание ARP-пакетов с IP/MAC-адресом, не соответствующим порту, по которому принят пакет;
- IGMP proxy (Internet Group Multicast Protocol — широковещательный групповой протокол Интернет);
- Функции QoS как минимум в downstream-направлении. При использовании одной PVC DSLAM должен иметь возможность классифицировать и приоритезировать трафик по 802.1p и/или DSCP (Differentiated Services Code Point — поле IP-пакета, определяющее класс его обслуживания). При использовании двух PVC DSLAM должен приоритезировать трафик по VPI/VCI (Virtual Path Identifier — идентификатор виртуального тракта/ Virtual Channel Identifier — идентификатор виртуального канала) или номеру VLAN.

Литература

1. DSL Forum Technical Report TR-126 "Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements".

2. ATIS — IIF-WT-019 Draft IPTV High Level Architecture Document // ATIS, 2006.

Моделирование транспортной сети регионального оператора связи с помощью графовых моделей

Рассматриваются вопросы математического моделирования транспортной сети связи с помощью графовых моделей для расчёта параметров и надежности сети, что позволяет оценить вероятность выхода из строя как отдельных элементов, так и всей сети в целом, тем самым ускоряет процесс проектирования транспортных сетей связи.

Семейкин В.Д.,
профессор кафедры "Связь" Астраханского государственного технического университета (АГТУ)

Скупченко А.В.,
аспирант кафедры "Связь" Астраханского государственного технического университета (АГТУ)

Введение

Моделирование представляет собой мощный метод научного познания, при использовании которого исследуемый объект заменяется объектом, называемым моделью. Основными разновидностями процесса моделирования можно считать два его вида — математическое и физическое моделирование. При физическом (натурном) моделировании исследуемая система заменяется соответствующей ей другой материальной системой, которая воспроизводит свойства изучаемой системы с сохранением их физической природы. Примером этого вида моделирования может служить пилотная сеть, с помощью которой изучается принципиальная возможность построения сети на основе тех или иных компьютеров, коммуникационных устройств, операционных систем и приложений.

Возможности физического моделирования довольно ограничены. Оно позволяет решать отдельные задачи при задании небольшого количества сочетаний исследуемых параметров системы. При натурном моделировании транспортной сети практически невозможно проверить ее работу для вариантов с использованием различных типов коммуникационных устройств — маршрутизаторов, коммутаторов и т.п. Проверка на практике около десятка разных типов маршрутизатров связана не только с большими усилиями и временными затратами, но и с немалыми материальными затратами. Поэтому, при оптимизации сетей во многих случаях предпочтительным оказывается использование математического моделирования.

Математическая модель представляет собой совокупность соотношений (формул, уравнений, неравенств, логических условий), определяющих процесс изменения состояния системы в зависимости от ее параметров, входных сигналов, начальных условий и времени. Особым классом математических моделей являются имитационные модели. Такие модели представляют собой компьютерную программу, которая шаг за шагом воспроизводит события, происходящие в реальной системе. При имитационном моделировании сети не требуется приобретать дорогостоящее оборудование — его работа имитируется программами, достаточно точно воспроизводящими все основные особенности и параметры такого оборудования. В докладе на примере транспортной сети Астраханского филиала ОАО "ЮТК" рассматривается моделирование транспортной сети регионального оператора связи с помощью графовых моделей.

Основные сведения о структуре транспортной сети Астраханского филиала ОАО "ЮТК"

Структуру транспортной сети Астраханского филиала ОАО "ЮТК" можно разделить на два уровня (рис. 1):

• Уровень Агрегирования (от англ. Aggregate — объединять). На этом уровне производится конфигурирование и основное управления всей региональной транспортной сетью. Сетевое оборудование представлено коммутаторами Cisco Catalyst 3750 ME и маршрутизаторами Cisco 7604 Chassis фирмы "Cisco Systems";

• Уровень Доступа (от англ. Access — доступ). Основной задачей сетевых устройств этого уровня является подключение конечных пользователей к сети Астраханского филиала ОАО "ЮТК". С помощью коммутаторов Cisco Catalyst 3560 фирмы "Cisco Systems" обеспечивается объединение корпоративных ЛВС, а также предоставляется весь перечень услуг для конечных пользователей (Интернет, IP-телефония, IPTV и т.д.). Услуга доступа к Интернет по технологии xDSL обеспечивается мультиплексорами доступа DSL (DSL Access Multiplexor, DSLAM), подключающимися в один из свободных портов коммутатора Cisco Catalyst 3560 . Используются DSLAM фирм Nokia и Siemens.

Уровень агрегирования имеет кольцевую топологию. Кольцо, соединяющее маршрутизаторы Cisco 7604, имеет пропускную способность 10 Гбит/с, а пропускная способность участков сети между маршрутизаторами Cisco 7604 и коммутаторами Cisco Catalyst 3750 ME равна 1 Гбит/с. Транспортная сеть строится с использованием технологии многопротокольной коммутации по меткам MPLS (Multi-Protocol Label Switching) [1].

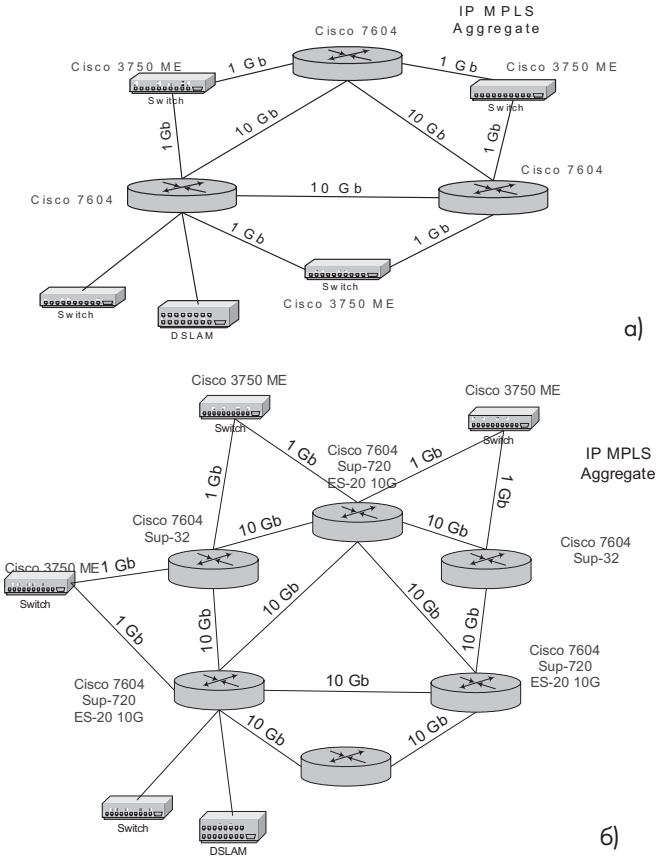


Рис. 1. Структура транспортной сети Астраханского филиала ОАО "ЮТК": а) до модернизации; б) после модернизации

В качестве направляющих систем используется оптическое волокно, соединяющее объекты электросвязи (РАТС, АМТС и т.д.). Сетевое оборудование размещено на АТС города Астрахань.

Применение теории графов для расчета параметров сети

По техническим характеристикам маршрутизаторы Cisco 7604 обеспечивают пропускную способность до 250 млн. пакетов в секунду, а коммутаторы Cisco 3750 ME — 15 млн. пакетов в секунду. Следовательно, на уровне агрегирования обеспечивается пропускная способность оборудования (6 маршрутизаторов и 3 коммутатора) будет равна:

6*250 + 15*3 = 1545 млн. пакетов/сек.

Чтобы рассчитать технические параметры сети, удобно использовать математическую модель сети, представленную в виде графа (рис. 2), включающего подмножества узлов и ребер [2].

Дальнейший расчет параметров сети проводится в следующей последовательности, используя математический пакет MathCad и аппарат теории графов.

Определение минимального ранга графа сети [2]

$$S := \begin{pmatrix} \infty & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & \infty & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & \infty & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & \infty & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & \infty & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & \infty & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \infty & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \infty & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \infty \end{pmatrix}$$

- **Матрица связности графа,где:**
"1" - существует ребро между узлами i и j
"0" - нет ребра между узлами i и j

$$LL = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 0 & 2 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 3 & 2 & 2 & 0 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 3 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 3 & 3 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

- **Результат вычислений:**
"1" - путь состоит из 1-го ребра
"2" - путь состоит из 2-х ребер
"3" - путь состоит из 3-х ребер

```
LL := | t ← 0
      | for i ∈ 0..8
      |   for j ∈ 0..8
      |     | K_{i,j} ← 0
      |     | K_{i,i} ≡ 11
      | z ← 0
      | for i ∈ 0..8
      |   for j ∈ 0..8
      |     | if S_{i,j} ≡ 1
      |     |   | K_{i,j} ← 1
      |     |   | K_{j,i} ← 1
      |     | if S_{i,j} ≡ 0
      |     |   | t ← i
      |     |   | z ← j
      |     |   | for l ∈ 0..8
      |     |   |   if S_{i,l} · S_{l,j} ≡ 1
      |     |   |     | K_{i,j} ← 2
      |     |   |     | K_{j,i} ← K_{i,j}
      |     |   | for d ∈ 0..8                if K_{i,j} ≡ 0
      |     |   |   for f ∈ 0..8
      |     |   |     if S_{i,d} · S_{d,f} · S_{f,j} ≡ 1
      |     |   |       | K_{i,j} ← 3
      |     |   |       | K_{j,i} ← K_{i,j}
      | K
```

- **Нахождение минимального количества ребер, образующих путь между i-м и j-м узлом графа**

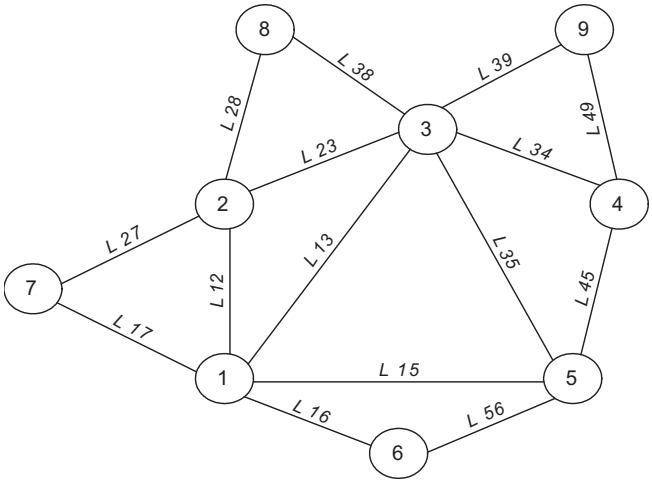


Рис. 2. Расчетная модель сети в виде графа

Таким образом, в случае работоспособности всех узлов сети, максимальный ранг графа сети равен 3.

Расчет надежности сети

Для расчета надежности сети была написана программа "Расчет надежности сети v.1.0.3" (Разработчик: Абельдаев Б.Р). Исходное окно программы приведено на рис. 3.

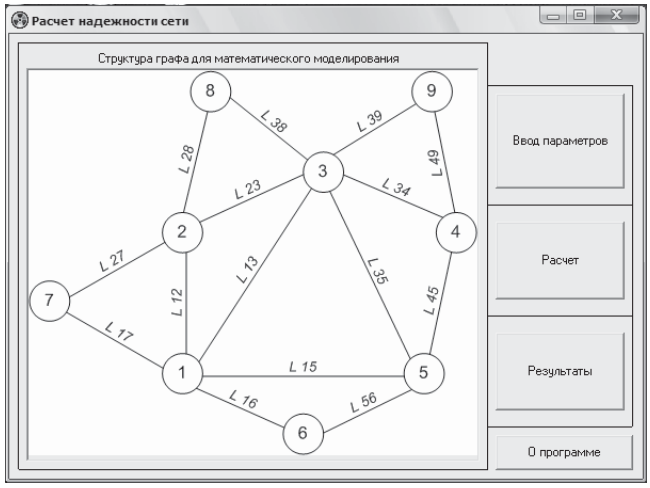


Рис. 3. Окно программы "Расчет надежности сети"

С помощью данной программы рассчитываются вероятности работоспособности сети: вероятность работоспособности пути между любыми двумя вершинами графа. Для расчета надежности сети необходимо определить величины надежности каждой вершины графа и ребер графа (рис. 4). После этого определяются матрица вероятности работоспособности ребер графа и матрица вероятности работоспособности вершин графа (рис. 5).

Далее выбираются две вершины, и находится путь между ними. Путь может состоять из 1, 2 или 3 участков (ранг пути). Надежность пути будет определяться совокупной надежностью вершин и ребер, входящих в него. Моделируется событие, и, исходя из вероятности этого события, определяется, является ли этот путь надежным или нет. Для каждых двух вершин производится 1000 испытаний. Затем определяется процент успешных испытаний, и результаты заносятся в матрицу надежности сети, которая отображается в Окне "Результаты моделирования" (рис. 6).

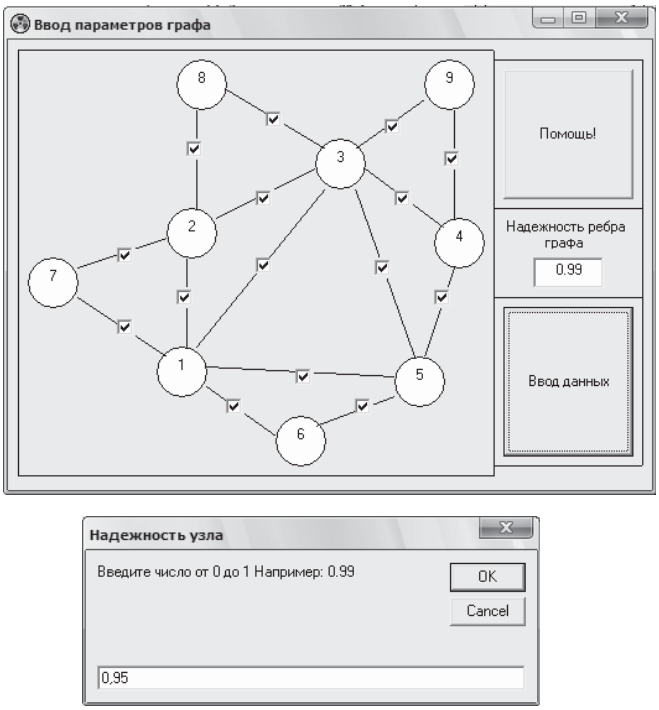


Рис. 4. Ввод параметров графа сети

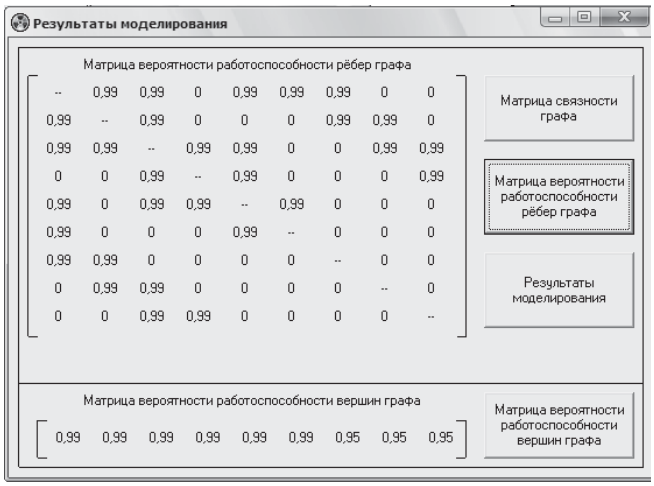


Рис. 5. Результаты расчета матриц вероятности работоспособности ребер и вершин графа

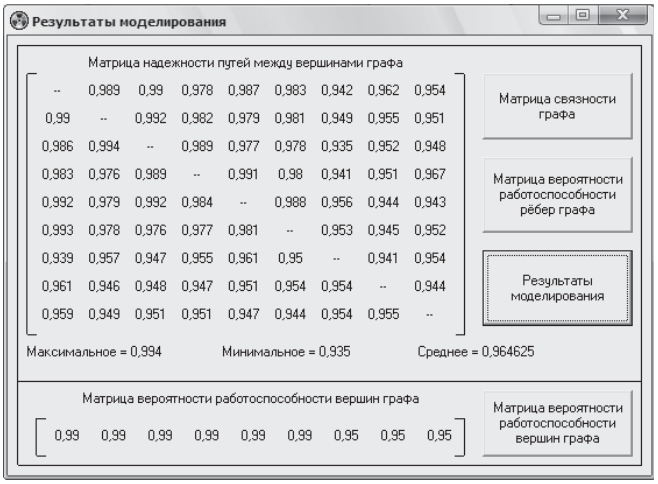


Рис. 6. Окно "Результаты моделирования"

Заключение

Аппарат теории графов является мощной базой для расчета параметров сетей связи. Проведенные расчеты показали, что транспортную сеть любого вида можно представить как совокупность вершин и ребер графа, а также их весов. Математическое моделирование транспортной сети с помощью графовых моделей позволяет оценить вероятность выхода из строя как отдельных элементов, так и всей сети в целом, тем самым ускоряет процесс проектирования транспортных сетей связи.

Литература

1. **Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С.** Технология и протоколы MPLS. — СПб.: БХВ — Санкт-Петербург, 2005. — 304 с.

2. **Семейкин В.Д.** Сети связи: курс лекций / Астрахан. гос. техн. ун-т. — Астрахань: Изд-во АГТУ, 2006. — 256 с.

Тенденции и методики развития инфокоммуникационных сетей на ближайшую и среднесрочную перспективу

Рассматриваются вопросы типизации и роста информационного наполнения инфокоммуникационных сетей, а так же направления модернизации мультисервисной телекоммуникационной сети на примере крупной московской сетевой структуры "АКАДО". Показывается зависимость пропускной способности различных уровней телекоммуникационной инфраструктуры от потребностей абонентов в различные периоды и способы устранения скоростных ограничений в плане освоения новых сервисов.

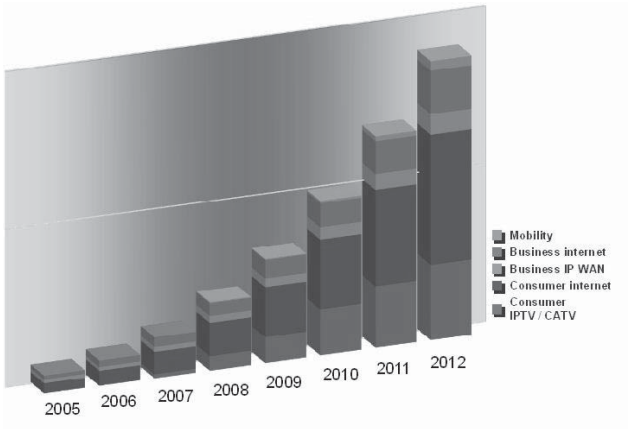
Астахов И.В.,
Начальник управления
ОАО "КОМКОР" ("АКАДО Телеком"),
iastahov@akado-telecom.ru

Сначала возникла потребность, потом появился сервис. Сервис обрел параметры и характеристики, которые поначалу просто обещались. Потом же эти параметры и характеристики стали уже гарантироваться.

Но в любом случае первична потребность и, применительно к услугам связи, потребность — это потребность в обмене информацией, получении и/или передачи информации.

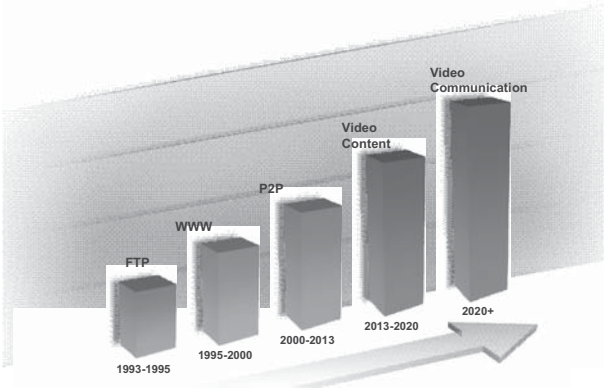
При построении системы связи огромное значение имеет тип передаваемой информации и ее количество. Исходя из типа информации строятся качественные показатели телекоммуникационной сети (ТКС). От интенсивности обмена информацией зависят скоростные показатели системы.

За последние годы значительно изменился состав и объем информации, передаваемой по ТКС. Согласно исследованиям Morgan Stanley до 2008 года в сетях операторов связи трафик бизнес-клиентов (B2B) преобладал над трафиком физических лиц (B2C). В 2008 г. трафик сравнялся и, начиная с 2010 г., суммарный трафик физических лиц начнет значительно преобладать над трафиком бизнес клиентов.



Так же сильно изменяется и внутренний состав трафика. Если основным трендом в 1993-95 гг. были голосовой и FTP-трафик, то в 1995-2000 гг. наряду с теми же голосовым и FTP, преобладающим был уже www-трафик. В настоящее время практически без уменьшения объемов голосового трафика и при увеличении объемов www, основным трафиком становится Peer-to-Peer.

Согласно прогнозам ведущих аналитиков в ближайшем будущем вновь ожидается смена доминирующего трафика. В период с 2013 по 2020 гг. на первый план в общем объеме передаваемого в ТКС трафика выйдет, скорее всего, видео как в качестве услуг традиционного телевидения, так и интерактивных ТВ-сервисов. При этом основной вклад даст повсеместный переход на телевидение высокой четкости (HD TV) и, соответственно, контент высокой четкости (HD Video). Этому будет способствовать появление огромного количества частных видео сервисов. Но и видео трафик, в свою очередь, начиная с 2020 г., очевидно начнет сдавать позиции в угоду приложениям видеокоммуникации.



Возможности роста трафика и изменения его наполнения во многом определяются устройствами, потребляющими этот трафик, а именно классом оконечных пользовательских устройств. Ранее для каждого вида трафика использовался свой тип абонентского устройства. Телефонный аппарат — для голосового сервиса, компьютер — для Интернет, телевизор — для просмотра программ, музыкальный центр — для прослушивания дисков и радио. Но в последнее время концепция построения пользовательского терминала все больше предполагает использование единого универсального медиа центра, подключенного к сети. И пока только отсутствие необходимого интерактивного контента останавливает рост популярности подобных устройств и, как следствие, рост трафика приложений.

В соответствии с объемом трафика и новыми типами используемых приложений должна меняться и сеть оператора связи.

Вначале становления услуги Интернет для передачи всех типов трафика использовались сети SDH в различных конфигурациях. Это было естественно, т.к. доминирующим трафиком тогда еще был голосовой. Остальные технологии — X.25, Frame Relay, IP и т.д. были как бы вторичными и использовались для организации тех или иных частных сервисов. Да и сам Интернет тогда рассматривался многими операторами как вторичный.

В период бурного развития Интернет технологии на ТКС начали возникать серьезные изменения. Пакетный трафик начал становиться преобладающим и для его передачи требовалось добавлять в традиционные TDM (SDH) сети различные элементы "пакетизации" (маршрутизаторы). Постоянная необходимость выделения полосы в классических SDH-сетях под "пакетный" трафик становилось не вы-

годной, и требовались другие методы передачи, ориентированные специально на пакетную передачу.

При появлении технологии ATM все дружно заговорили о единой технологии передачи данных для всех видов трафика. Однако в то время, в силу различных причин, это не удалось. Сказывалась и сложность самой технологии, и дороговизна замены оборудования, и многие другие факторы, которые не позволили ATM превратиться в единую универсальную технологию построения систем передачи. Тем не менее, количество крупных сетей, построенных по технологии ATM, тогда в мире насчитывалось далеко за сотню.

Появление технологического потенциала IP, позволяющего осуществить с соразмерными затратами переход всех типов сервисов в область IP-приложений дало оператору возможность отказаться от использования многих устаревших технологий.

В настоящее время хорошо отработанная технология IP/MPLS может рассматриваться как базовая практически для всех приложений, используемых на ТКС.

Технология MPLS (многопротокольная коммутация на основе меток) занимает ведущее место в сегодняшних ТКС как надежное средство для передачи IP-трафика с поддержкой различных классов услуг.

В рамках этой технологии пограничные маршрутизаторы (Label Edge Routers, LER) снабжают пакеты специальной маркировкой (метками) для передачи их к месту назначения по заранее проложенным коммутируемым маршрутам (Label-Switched Path, LSP) с заданным классом услуг. Важно, что технология MPLS позволяет создавать виртуальные частные сети (VPN) на третьем (IP VPN) или втором уровнях модели OSI (Virtual Private LAN Services, VPLS). Такие расширения, как быстрая перемаршрутизация MPLS (Fast ReRoute, FRR), обеспечивают высокую готовность и короткое время переключения после отказа. На переключение маршрутов, как и в случае ранее широко распространенной для построения сетей технологии SDH, по-прежнему отводится всего 50 мс.

Растущее распространение приложений реального времени и, в частности, услуги Triple Play (передача данных, голоса и видео по единой инфраструктуре доступа) вызвало повышение требований в отношении сервиса не только в магистральных сетях, но и в сетях агрегации и доступа. С технической точки зрения это потребовало миграцию механизмов обеспечения качества обслуживания MPLS из ядра на уровень доступа. По сравнению с классической сетью доступа на базе Ethernet сеть на базе технологии MPLS является, безусловно, более совершенной, но и, к сожалению, более дорогим вариантом.

До недавнего времени технологии сетей доступа всегда заметно отставали от потребностей потребителей. Именно из-за ограниченных возможностей сетей доступа определялись скоростные характеристики передаваемого трафика.

Существующие уже долгое время технологии доступа ADSL и DOCSIS v1 на рынке услуг для физических лиц (B2C) не позволяли обеспечивать скорости более 0,5-2 Мбит/с. Причем если этих скоростей более менее хватало для относительно комфортного типового www-серфинга, то для новых интерактивных приложений, появляющихся в последнее время , уже недостаточно.

Что касается беспроводного доступа, то здесь имелись свои, не менее сложные проблемы.

В Российской Федерации Wi-Fi как технология доступа в сегменте B2C так и не вышла за пределы ограниченного количества квартир и офисов в основном из-за жесткого регулирования частотного ресурса со стороны государства. Но даже те операторы, которые получили необходимые частоты во многих случаях так и не начали полноценно оказывать услуги по этой технологии.

На рынке услуг для юридических лиц (B2B) так же применяются различные технологии доступа — ADSL, PDH, BPON, а так же радио доступ. Используемые технологии позволяют достичь более высоких средних скоростей, чем на рынке B2C. Однако это обусловлено большей стоимостью оборудования и, соответственно, предоставляемых услуг в целом.

В любом случае именно технологии доступа являлись до недавнего времени тем "бутылочным горлышком", которое ограничивало требуемый трафик.

Магистральная же составляющая сетей всегда строилась с дальним прицелом и позволяла, как правило, пропустить без каких-либо сложностей весь трафик, поставляемый ограниченной по возможностям "последней милей".

Но технологии доступа, к счастью, не стоят на месте. Появление в сегменте B2C технологий ADSL2, ADSL2+ у традиционных операторов (например МГТС) и DOCSIS v2 у кабельных операторов ("АКАДО-Столица") с возможностью предоставлять клиенту скорости до 20Мбит/с дали резкий толчок развитию интерактивных сервисов.

Массовое внедрение широкополосных технологий доступа DOCSIS v3 и MetroEthernet на B2C рынке, как показывает практика, позволит вообще отказаться от скоростных ограничений на абонентском уровне и предоставлять для приложений именно ту полосу, которую необходимо.

В сегменте B2B основной технологией доступа сейчас становится MetroEthernet. Например, в компании "АКАДО Телеком" уже развернута сеть доступа, позволяющая предоставлять услуг со скоростями до 1Гбит/с, что в значительной степени перекрывает все существующие потребности.

Как было указано выше основным для всех крупных операторов связи становится трафик, определяемый услугами, предоставляемые физическим лицам, в том числе, трафик передачи телевизионного контента.

За последние пару лет происходит лавинообразное увеличение такого трафика минимум в два раза ежегодно. И это при существующих сегодня ограничениях в скорости для клиентов за счет продажи разных по скорости услуг.

Согласно исследованиям, проведенным в группе компаний "АКАДО", если ограничения по скорости будут сняты, а они в ближайшее время будут сняты, то скоростные потребности усредненного абонента, при которых он будет комфортно использовать все возможные типы сервисов, будут не меньше 15-30 Мбит/с, а при условии использования HD TV и все 50Мбит/с.

Все это вызывает необходимость ускоренной модернизации, как сетей доступа, так и магистральных сетей. Ведь если недавно еще хватало совокупной скорости 10-30 Гбит/с на соединение с вышестоящими Интернет провайдерами и пирами, то сейчас, например, в "АКАДО Телеком" суммарная емкость соединений более 100 Гбит/с считается едва ли достаточной. Самоуспокоение относительно пропускной способности магистрального участка сети становится опасным. Если не предпринимать уже сегодня никаких мер, то в скором будущем магистральная составляющая сети может стать новым "бутылочным горлышком".

Для решения вновь возникшего дефицита пропускной способности есть несколько вариантов решения.

Одним из самых простых технологически, но, наверное, и самым дорогим будет вариант простого экстенсивного увеличения пропускной способности на всех уровнях: в сети доступа, в агрегации и в магистральной части.

Другим, более рациональным вариантом предполагается анализ и регулирование трафика потребляемого или генерируемого

клиентом. Полученные при анализе трафика Интернет данные показывают, что в настоящее время около 80% всего объема дает Peer-to-Peer-сервисы. Говорить о Peer-to-Peer как о полностью "пиратском" трафике так же нельзя, т.к. уже многие контент-провайдеры используют Peer-to-Peer-сети как способ распространения легальной продукции. В тоже время только 15% клиентов потребляют 85% всего трафика. Это означает, что в случае дефицита полосы пропускания на магистральном уровне существующий Peer-to-Peer-трафик 15% клиентов не позволяет комфортно пользоваться интерактивными сервисами остальным 85%. Причем следует отметить, что т.к. в основном применяются тарифные планы, базирующиеся на используемой полосе, то и платят все клиенты примерно одинаково, что явно несправедливо.

Сейчас уже имеется достаточное количество специализированного оборудования, которое позволяет делать online-анализ трафика и производить необходимые манипуляции с конкретным видом трафика вплоть до учета типов приложений.

Следует заметить, что меры по уменьшению нагрузки от Peer-to-Peer могут быть как запретительными, так и тарифными.

Запрещать можно как типы трафика, так и вводить ограничения на объем трафика. Например, можно как крайнюю меру ввести ограничение для всего Peer-to-Peer трафика. Правда, в этом случае возможен отток клиентов к другому оператору, у которого нет запретов на подобный сервис.

Более выгодным для оператора вариантом является разработка набора тарифных планов, предполагающих различные варианты наборов типов трафика. Например, для одного клиента наиболее подходящим будет www-трафик и иногда VoIP, для другого необходим в большей степени VoIP, третьему требуется тот самый Peer-to-Peer. Современный класс устройств типа online-анализаторов трафика в связке с другим оборудованием позволяет устанавливать соответствующую политику вплоть до каждого клиента. Наличие у оператора развитой OSS/BSS системы позволит предоставить клиенту возможность самостоятельно выбирать в тот или иной момент необходимые приоритетные приложения.

Отдельно стоит выделить тенденции развития ТВ вещания и интерактивного телевидения как основного тренда на ближайшие годы.

Для операторов связи, имеющих ТКС с участком доступа, базирующимся на технологиях, отличных от DOCSIS, единственным способом доставки клиенту ТВ-сигнала и внедрение интерактивного ТВ будет передача всего трафика через IP/MPLS инфраструктуру. При этом следует иметь в виду, что у традиционных операторов с технологией ADSL/ADSL2+ имеется физическое ограничение пропускной способности порядка 24Мбит/с, а на реальной медной паре и вовсе максимальное значение редко достигает 15Мбит/с. Этой скорости уже не достаточно для передачи HD TV-трафика.

Для дальнейшего наращивания скорости на медной паре необходима организация промежуточных активных узлов и переход на технологию VDSL2.

Для операторов, имеющих развернутую волоконно-коаксиальную сеть (HFC — hybrid fiber coax) вариантов развития может быть несколько. Один из путей — модернизация DOCSIS.

Главным отличием сети доступа, в которой используется DOCSIS v2 ,является отсутствие необходимости переделок и модернизации кабельной инфраструктуры при переходе на DOCSIS v3, позволяющей предоставить необходимые в будущем скорости.

В типовом случае, организация ТВ-вещания в HFC сети не предполагает на первом этапе передачу телевизионного сигнала в формате IP и дальнейшего его восстановления, т.к. распространение цифрового контента происходит непосредственно в частотном спектре. Интерактивные ТВ-сервисы для HFC сети в сторону клиентского устройства так же передаются без использования преобразования в IP и только запросы на подключение (переключение) сервисов от устройства проходят по внешней IP-инфраструктуре.

В будущем DOCSIS v3 позволит так же перейти на IP-вещание, поскольку перевод каналов из частотного плана HFC-сети в IP TV позволит освободить частотные каналы, которые могут передаваться для более рационального использования по протоколу DOCSIS v3.

В настоящее время в компании АКАДО-Столица построена сеть HFC с использованием DOCSIS v2, которая полностью готова для внедрения DOCSIS v3.

Таким образом, телекоммуникационному оператору, если он не хочет остаться за бортом телекоммуникационного рынка, предстоят серьезные "телодвижения" по модернизации его сети. Вопрос лишь в том, чтобы эта модернизация, не наносила большого экономического ущерба на этапе преобразований. И будущее здесь, безусловно, за перспективной технологией будущего — IP на всех уровнях.

Литература

1. Материалы конференции "Broadband Conference 2009", 03.12.09, Москва.

Сокращение потерь сообщений в транспортно-распределительных системах

Получены аналитические выражения, характеризующие зависимости вероятности отказов и пропускной способности транспортно-распределительных систем как от структуры, числа узлов, так и от вместимости буферных накопителей на входах.

Птицын Г.А.,
МТУСИ

Предпосылки. Повышение пропускной способности (Пс) транспортно-распределительных систем (ТРС) достигается посредством чередования входов и выходов [1]. Если поток по дуге равен W/T, где W — вместимость, T — период движения грузоносителей, то пропускная способность с увеличением числа пар входов и выходов возрастает в пределе в 2 раза.

Процедура оценки пропускной способности основана на определении общего числа со-единений γ, нагрузки дуг — β_γ, выбора из них β_{max}. Отношение γ/β_{max} и характеризует значе-ние пропускной способности. Поскольку $\gamma > \beta_{max}$, то и $1 \le Пс \le 2$. Пс является функцией одной переменной — размера сети n. Такое допустимо, если вместимость буферных накопителей, необходимых для размещения очередей грузов на входах ТРС, стремится к бесконечности. Практически и технически это реализовать невозможно. Ограничение вместимости буферных нако-пителей неизбежно приводит к отказам и, соответственно, к снижению пропускной способно-сти ТРС, но насколько — неизвестно.

Вероятность возникновения отказов в узле 2 х 1 при ограничении вместимости буферных накопителей до значения E характеризуется выражением [1]:

$$P_{от} = P_1P_2 / (1+\rho^{-1}+\rho^{-2}+\rho^{-3}+\ldots+\rho^{-E}),\ где\ \rho = P_1P_2 / ((1-P_1)(1-P_2))$$

Однако такой подход не учитывает того, что отказы приводят к снижению реального ис-ходящего потока и, соответственно, к уменьшению транзитного потока в узле. Сумма потоков в узле становится меньше изначальной, падает вероятность отказов, повышается пропускная способность транспортно-распределительной системы.

Задача заключается в установлении аналитических зависимостей вероятности отказов и пропускной способности не только от n — размера (числа узлов) ТРС, но и от E — вместимости буферных накопителей на входах.

Ограничения и допущения. Принимаем, что узлы ТРС являются обменными, ТРС кольцевая, дуги однонаправленные, межузловые потоки одинаковы по интенсивности. Узлы сети полнодоступны как по исходящим, так и по входящим потокам. В однонаправленном кольце размером n узлов обмена общее число соединений $\gamma = n(n-1)$, нагрузка дуг по числу соединений $\beta = n(n-1)/2$, отсюда $Пс = 2W/T$ независимо от n — числа узлов обмена. Если принять $W = 1$, $T = 1$, то Пс = 2. Отсюда исходящий поток в любом узле $P_{ис} = 2/n$ складывается из (n-1) межузловых составляющих. Транзитный поток в любом узле равен:

$$\beta_T = \beta - (n-1) = (n-1)(n-2)/2.$$

Предположим вначале, что вместимость буферных накопителей равна нулю, размер ТРС $n = 3$, вероятности исходящего и транзитного потоков в узле в сумме составляют единицу ($P_{ис} + P_T = 1$).

Переходный режим. Вероятность отказов в любом узле $P_{от} = P_{ис}P_T$. Поскольку $n = 3$, то $P_{ис} = 2/3$ и содержит две составляющие. Если номер узла 1, то исходящие составляющие P_{12} и P_{13}. В узле 1 заканчивается обслуживание составляющих P_{21} и P_{31}. Транзитом проходит одна составляющая $P_{32} = 1/3$. В таком случае $P_{от1} = 2/9$. В целом по ТРС $\Sigma P_{от} = 2/3$. Таким образом, пропускная способность ТРС на 1-ом такте составляет Пс = 2 – $\Sigma P_{от}$ = 1,33 гр/такт. Реальный исходящий поток с учетом отказов $P_{иср} = 2/3 - P_{от} = 4/9 = 0{,}44$. Вероятность одной составляющей $P_{ij} = 2/9 = 0{,}22$.

На втором такте $P_{ис} = 2/3 = 0{,}67$, вероятность транзитного потока (одной составляющей) равна $P_T = 2/9 = 0{,}22$. Вероятность отказа в узле на 2-ом такте $P_{от2} = \frac{2}{3} * \frac{2}{9} = \frac{4}{27} = 0.15;\ \sum P_{от2} = \frac{12}{27} = 0.44$. Пропускная способность ТРС на 2-ом такте $Пс = 1\frac{15}{27} = 1{,}56.$

Вероятность исходящего потока на 2-ом такте $P_{ис\,р\,2} = \frac{2}{3} - \frac{4}{27} = 0.52.$ Вероятность одной составляющей $P_{ij} = P_{T\,2} = \frac{7}{27} = 0.26$.

На третьем такте $P_{от} = \frac{2}{3} * \frac{7}{27} = 0.17$. Сумма вероятностей отказов по всем трем узлам $\Sigma P_{от} = 3P_{от} = 0{,}52$. Пропускная способность на третьем такте $Пс = 2 - \frac{42}{81} = 1{,}48$ гр / такт.

На четвертом такте $P_{ис} = 2/3$, вероятность реального исходящего потока $P_{ис\,р\,4} = \frac{2}{3} - \frac{14}{81} = 0{,}49$. Вероятность транзитного потока (одной составляющей) $P_{T\,4} = P_{ис\,р\,4}/2 = \frac{20}{81} = 0.25$. Вероятность отказов на 4-ом такте $P_{от\,4} = \frac{2}{3} * P_{T\,4} = \frac{40}{243} = 0.17;\ \sum P_{от\,2} = \frac{120}{243} = 0.49$. Пропускная способность ТРС на 4-ом такте $Пс = 2 - \frac{120}{243} = 1.51$.

Изменение потоков в ТРС за 6 тактов переходного периода представлено в таблице 1.

Вероятность исходящего потока постоянна и не зависит ни от номера узла, ни от номера такта: $P_{ис} = 2/3$.

Вероятность транзитного потока в узле (одной составляющей) $P_T = (P_{ис} - P_{от})/2$. Вероят-ность отказа берется из предыдущего такта.

Пропускная способность ТРС $Пс = 2 - \sum P_{от} = 2 - 3P_{от}$.

Как следует из табл.1 вероятность отказов с увеличением числа тактов стремится к 1/6, сумма вероятностей отказов — к 1/2, Пс ® 1,5 гр/такт .

Установившийся режим. Вероятность транзитной составляющей и, следовательно, транзитного потока в узле быстро стабилизируется и одинакова при переходе от момента времени t к моменту ($t + T$): $P_{ij}(t) = P_{ij}(t + T)$.

Число составляющих исходящего потока в одном из узлов для ТРС с n узлами обмена $\beta_{ис} = n - 1$. Число составляющих транзитного потока в одном из n узлов обмена $\beta_T = (n-1)(n-2)/2$.

Вероятность одной составляющей с учетом отказов при $E = 0$:

$$P_{ij} = (P_{ис} - P_{от}) / (n-1) = (\frac{2}{n} - P_{от}) / (n-1)$$

Вероятность отказов в одном из n узлов ТРС:

$$P_{от} = P_{ис}(P_{ис} - P_{от})(n-2)/2 = (\frac{2}{n} - P_{от})(n-2)/n$$

Таблица 1

Динамика потоков переходного периода

N	$P_{ис}$	P_T	$P_{от}$	$P_{ис\,р}$	$\sum P_{от}$	Пс
1	0.67	0.33	0.22	0.44	0.67	1.33
2	0.67	0.22	0.15	0.52	0.44	1.56
3	0.67	0.26	0.17	0.49	0.52	1.48
4	0.67	0.25	0.17	0.5	0.49	1.51
5	0.67	0.25	0.17	0.5	0.5	1.5
6	0.67	0.25	0.17	0.5	0.5	1.5

Решение этого уравнения для $E = 0$ приводится к виду:

$$P_{от} = \frac{n-2}{n(n-1)} \;;\; \sum P_{от} = nP_{от} = \frac{n-2}{n-1}$$

Пропускная способность ТРС размером n узлов обмена при вместимости буферных накопителей $E = 0$ равна:

$$Пс = 2 - \sum P_{от} = 2 - \frac{n-2}{n-1} = \frac{n}{n-1}.$$

n может принимать целочисленные значения от 2 и более, при этом Пс уменьшается от 2 до 1, сумма вероятностей отказов во всех узлах возрастает от 0 до 1.

Для увеличения Пс необходимо размещение буферных накопителей вместимостью больше 0. Рассмотрим ТРС при $n = 3$, $E = 1$.

Вероятность отказа в одном из узлов $P_{от} = \frac{P_1P_2}{1+\rho^{-1}} = \frac{P_1P_2}{1+\frac{(1-P_1)(1-P_2)}{P_1P_2}}$,

где $P_1 = 2/3$. Реальный исходящий поток $P_1 = 2/3 - P_{от}$. Вероятность P_2 включает в себя $P_{от}$ и содержит одну составляющую $P_2 = P_T = (P_1 - P_{от})/2$. После подстановки значений P_1 и P_2 получаем:

$$P_{от} = \frac{2(9P_{от}^2 - 12P_{от} + 4)}{9(8 - 3P_{от})}.$$

Преобразование этого выражения дает квадратное уравнение $45P_{от} - 96P_{от} + 8 = 0$, решением которого являются два корня: один — $P_{от\,1} > 1$, что недопустимо и другой $P_{от\,2} = 0{,}087$. Поэтому вероятность отказа в одном из узлов $P_{от} = 0{,}087$. Вероятность отказов в ТРС ($n = 3$):

$$\sum P_{от} = 3P_{от} = 0{,}268; \quad Пс = 1{,}732.$$

Если вместимость буферного накопителя увеличить $E \geq 2$, то для нахождения $P_{от}$ нужно решить уравнение в степени ($E \div 1$). Вместе с тем для получения $P_{от}$ можно применить упрощенное эмпирическое выражение $P_{от} = \frac{n-2}{n(n-1)(E+1)}$, тогда $\sum P_{от} = \frac{n-2}{(n-1)(E+1)}$. Расхождение для Пс с учетом $P_{от}$ по обеим формулам составляет менее одного процента.

Однако статистика имитации работы ТРС показывает более значимые расхождения, особенно при $E = 1$. Например, если $n = 3$, $E = 1$, то $\sum P_{от}^{теор} = 0.27$, $\sum P_{от}^{стат} = 0.384$, при этом $\Delta = 0{,}114$, Пс = 1,616(стат.). Если $n = 4$, $E = 1$, то $\sum P_{от}^{теор} = 0.34$, $\sum P_{от}^{стат} = 0.48$, при этом $\Delta = 0{,}14$, Пс = 1,519 (стат.).

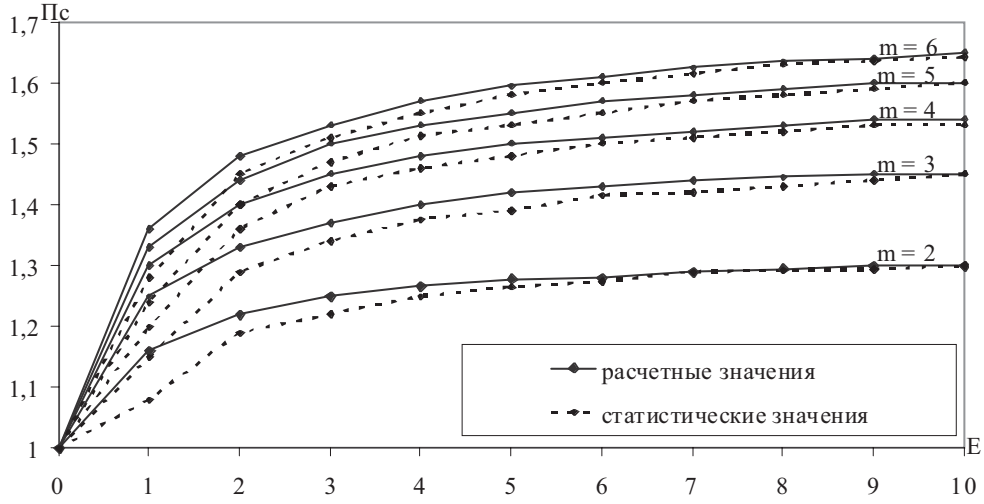
Однонаправленное кольцо с чередованием входов и выходов имеет Пс, зависящую от *m* — числа пар вход-выход и нарастает от единицы ($m = 1$) до двух при $m \to \infty$. В такой ТРС $\gamma = m^2$, $\beta = \frac{m(m+1)}{2}$ и $Пс = \frac{2m}{m+1}$. Вероятность одной составляющей без учета потерь на отказы $P_{ij} = \frac{Пс}{\gamma} = \frac{2}{m(m+1)}$.

Вероятность исходящего потока на одной из станций $P_{ис} = P_{ij} * m = \frac{2}{m+1}$. Но реальный исходящий поток будет меньше

Таблица 2

Динамика пропускной способности ТРС

m \ E	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	1.16/1.08	1.22/1.19	1.25/1.22	1.266/1.25	1.277/1.265	1.28/1.274	1.29/1.29	1.295/1.293	1.3/1.294	1.3/1.3
3	1	1.25/1.15	1.33/1.29	1.37/1.34	1.4/1.376	1.42/1.39	1.43/1.416	1.44/1.42	1.445/1.43	1.45/1.44	1.45/1.45
4	1	1.3/1.2	1.4/1.36	1.45/1.43	1.48/1.46	1.5/1.48	1.51/1.5	1.52/1.51	1.53/1.52	1.54/1.53	1.54/1.53
5	1	1.33/1.24	1.44/1.4	1.5/1.47	1.53/1.513	1.55/1.53	1.57/1.55	1.58/1.57	1.59/1.58	1.6/1.59	1.6/1.6
6	1	1.36/1.28	1.48/1.45	1.53/1.51	1.57/1.55	1.595/1.58	1.61/1.6	1.625/1.615	1.635/1.63	1.64/1.636	1.65/1.642



Зависимости пропускных способности от вместимости буферных накопителей

на величину $P_{от}$, поэтому $P_{ис\,р} = \frac{2}{m+1} - P_{от}$. Вероятность P_{ij} с учетом потерь на $P_{от}$: $P_{ij\,р} = \frac{P_{ис\,р}}{m} = \frac{\frac{2}{m+1} - P_{от}}{m}$. Транзитный поток на станции входа (по числу составляющих) $\beta_{тр} = \frac{m(m+1)}{2} - m = \frac{m(m-1)}{2}$. Вероятность транзитного потока $P_{тр} = P_{ij}\beta_{тр} = \frac{m-1}{m+1}$. Вероятность транзитного потока с учетом потерь $P_{тр\,р} = P_{ij\,р}\frac{m(m-1)}{2} = (\frac{2}{m+1} - P_{от})\frac{(m-1)}{2}$. При вместимости буферных накопителей равной нулю ($E = 0$) вероятность отказов на станции входа равна:

$$P_{от} = P_{тр\,р} * P_{ис} = (\frac{2}{m+1} - P_{от})\frac{m-1}{m+1}$$

Получено уравнение с одной неизвестной — $P_{от}$. Решение его дает вероятность отказов на всех m станциях входа $\sum P_{от} = \frac{m-1}{m+1}$. Отсюда Пс однонаправленного кольца с чередованием входов и выходов при $E = 0$ не зависит от m и равна единице. При $E > 0$ вероятность отказов будем считать по упрощенному эмпирическому выражению:

$$P_{от} = \frac{m-1}{m(m+1)(E+1)}; \quad \sum P_{от} = \frac{m-1}{(m+1)(E+1)}$$

Отсюда Пс однонаправленного кольца:

$$Пс = \frac{2m}{m+1} - \frac{m-1}{(m+1)(E+1)}$$

Числовые значения Пс для $m = 2 \div 6$, $E = 0 \div 10$ приведены в таблице 2. В знаменателе приведены статистические значения Пс однонаправленного кольца с чередованием входов и выходов. Наибольшие расхождения наблюдают при $m = 3; 4$, $E = 1$. С увеличением m и E расхождения уменьшаются.

Сравнение расчетных и статистических значений пропускной способности ТРС ($m = 2 \div 6$) с чередованием пар входов и выходов при изменении вместимости буферных накопителей от 0 до 10 дано на рис. 1.

Выводы

1. Пропускная способность однонаправленного кольца с узлами обмена равна

$$Пс = 2 - \sum P_{от} = 2 - \frac{n-2}{(n-1)(E+1)},$$

где n — число узлов обмена, E — вместимость буферного накопителя.

2. Пропускная способность однонаправленного кольца с чередованием входов и выходов равна

$$Пс = \frac{2m}{m+1} - \frac{m-1}{(m+1)(E+1)},$$

где m — число пар входов и выходов. Второе слагаемое в обоих случаях характеризует потери (отказы) при ограничении очередей.

Литература

1. **Птицын Г.А., Титов Е.В.** Повышение производительности систем сортировки посылок // Почтовая связь. Техника и технологии, 2003. — №8. — С. 7-9.

Модель функционирования сервера присутствия в сети NGN

Предоставление услуги контроля присутствия в сетях NGN и в частности, сообщения уведомления NOTIFY, сильно увеличивают объем сигнального трафика и создают большую нагрузку на сеть. В докладе анализируется модель функционирования сервера присутствия в виде системы массового обслуживания типа $M^{[X]}|G|1$ с прогулками прибора на периодах простоя, а также ее частного случая системы $M^{[X]}|M|1$, исследуются параметры производительности модели.

Мушили Н.М.,
аспирант кафедры систем телекоммуникаций РУДН,
nsangoumouchili@yandex.ru

Самуйлов К.Е.,
заведующий кафедрой систем телекоммуникаций РУДН,
ksam@sci.pfu.edu.ru

Сопин Э.С.,
магистр 2-го года обучения кафедры
систем телекоммуникаций РУДН,
sopin-eduard@yandex.ru

Введение

Одной из ключевых услуг сети связи следующего поколения считается услуга контроля присутствия, которая позволяет пользователю получать информацию о доступности других пользователей, их готовности к информационному обмену, настроении, занятости и т.д. Внедрение этой услуги увеличивает доступность пользователей, их коммуникационную активность, а значит, и доходы оператора связи.

Исследования функционирования сервера присутствия IMS [2,3] показывают, что наибольшую долю нагрузки на него создают процедуры оповещения наблюдателей об изменении статуса присутствия наблюдаемых абонентов, а именно сообщения NOTIFY. Вследствие этого основное внимание при построении математической модели уделяется обслуживанию именно сообщений NOTIFY.

Принцип предоставления услуги контроля присутствия прост [1]: агент наблюдаемого пользователя информирует сервер присутствия о каждом изменении своего статуса с помощью сообщения PUBLISH. Сервер присутствия обрабатывает информацию и оповещает об этом всех пользователей, подписанных на наблюдение статуса присутствия данного пользователя, сообщениями NOTIFY. На рис. 1 представлена упрощенная схема уведомления наблюдателей об изменении статуса присутствия наблюдаемого пользователя.

Модель функционирования сервера присутствия

Исходя из диаграммы передачи сообщений, показанной на рис. 1, построена схема обслуживания сообщений сервером присутствия, представленная на рис. 2. Как видно на схеме, поступающее сообщение PUBLISH инициирует отправку одного сообщения 200OK наблюдаемому абоненту и X сообщений NOTIFY наблюдателям этого абонента, где X — случайная величина количества наблюдателей абонента.

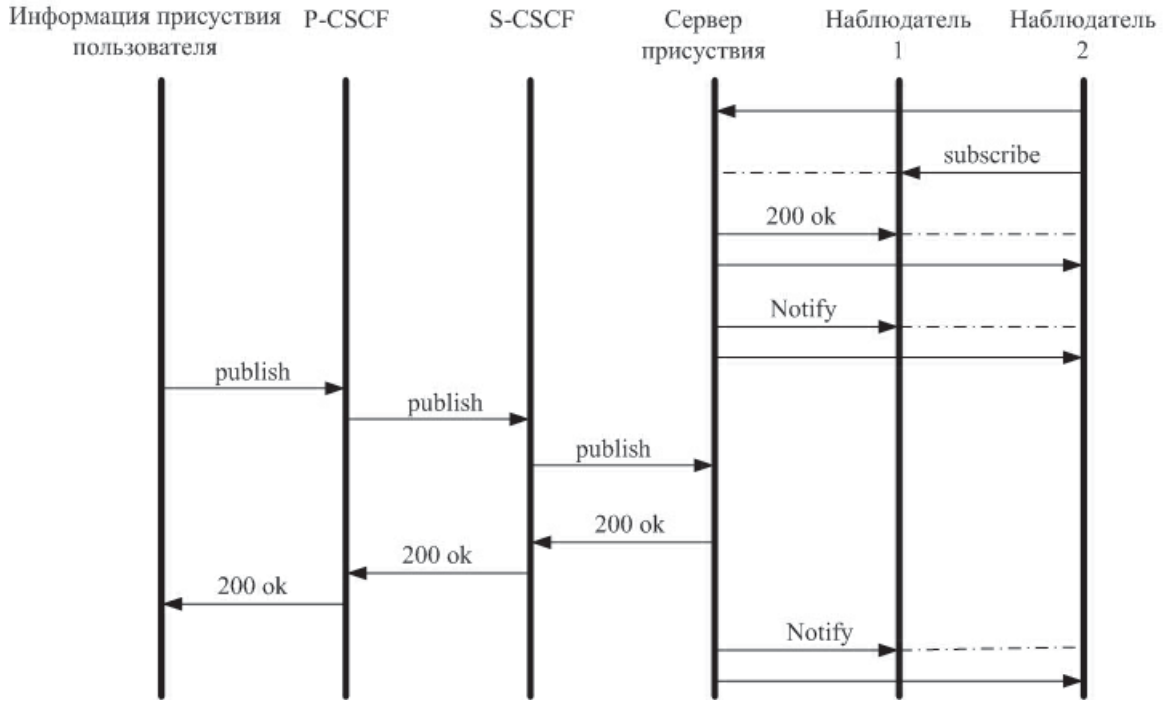


Рис. 1. Схема уведомления наблюдателей об изменении статуса присутствия пользователя

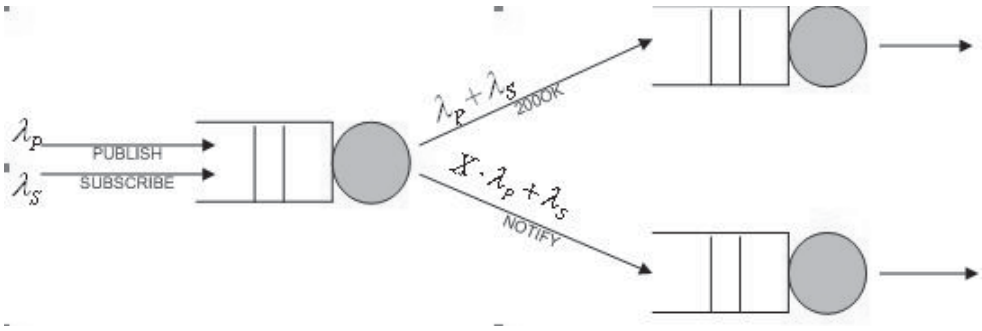


Рис. 2. Схема обслуживания сообщений сервером присутствия

Исследования показывают [3], что $\lambda_P >> \lambda_S$, а $M(X) >> 1$. Опираясь на эти данные, а также учитывая тот факт, что сервер присутствия обрабатывает и другие сообщения, опишем модель обслуживания сервера сообщений NOTIFY в виде СМО типа $M^{[X]}|G|1$ с прогулками прибора. Сообщения поступают на прибор пачками с интенсивностью λ. Сообщения обслуживаются в порядке поступления, время обслуживания является случайной величиной с функцией распределения $B(x)$ и средним b. Будем считать, что размер очереди не ограничен. В занятом состоянии прибор абсолютно надежен. Если в некоторый момент времени прибор освободился от обслуживания заявок, он уходит на прогулку, длительность которой есть случайная величина с ФР (функция распределения) $F(x)$. Пачка с вероятностью l_i состоит из i заявок, пачка не может быть пустой, т.е. $l_0 = 0$.

Для обозначения ПЛС (преобразование Лапласа-Стилтьеса) функции распределения будем использовать соответствующие малые греческие буквы $\beta(s) = \int_0^\infty e^{-sx} d(B((x))$. Малыми греческими буквами с нижним индексом β_k, φ_k, будем обозначать интегралы вида $\beta_k = \int_0^\infty e^{-\lambda x} \frac{(\lambda x)^k}{k!} d(B((x)), \sum_{k=0}^{\infty} \beta_k = 1$. Моменты распределений будем обозначать соответствующими малыми латинскими буквами с указанием порядка момента сверху, например, $l^{(1)}$, $b^{(2)}$.

Здесь β_k можно интерпретировать как вероятность поступления в СМО k пачек заявок за случайное время наблюдение, распределенное в соответствие с функцией распределения $B(x)$. Аналогично определяется φ_k, $k \geq 0$.

Введем случайный процесс $\xi(t)$ — число заявок в СМО в момент времени t и $\xi(t)$ — длина очереди в СМО в момент времени t и определим распределения этих случайных процессов:

$$p_j = \lim_{t\to\infty} P\{\zeta(t) = j\}, \quad j \geq 0, \tag{1.1}$$

$$q_j = \lim_{t\to\infty} P\{\xi(t_n + 0) = j\}, \quad j \geq 0, \tag{1.2}$$

где t_n, $n \geq 0$ — моменты окончания обслуживания заявки, либо окончания прогулки.

Обозначим l_i^k вероятность того, что k пачек содержат i заявок. Очевидно, что это есть k-кратная свертка распределения l_i, и тогда можно установить следующую связь соответствующих ПФ (производящая функция):

$$L_k(z) = \sum_{j=0}^{\infty} l_j^k z^j = (L(z))^k. \tag{1.3}$$

Введем также величины $\rho = l^{(1)}\hat{\rho}$, $\hat{\rho} = \lambda \cdot b^{(1)}$ и $\alpha = \lambda \cdot f^{(1)}$. Нетрудно убедиться, что вероятности q_j, $j \geq 0$ удовлетворяют следующей системе уравнений:

$$q_j = q_0 \sum_{k=0}^{j} l_j^k \varphi_k + \sum_{i=0}^{j} q_{i+1} \sum_{k=0}^{j-i} l_{j-i}^k \beta_k, \quad j \geq 0. \tag{1.4}$$

Проведя обычные для ПФ преобразования, получим:

$$Q(z) = q_0 \frac{\beta(\lambda - \lambda L(z)) - z\phi(\lambda - \lambda L(z))}{\beta(\lambda - \lambda L(z)) - z}, \quad \rho < 1, f^{(1)} < \infty. \tag{1.5}$$

Теперь, используя свойство $Q(1) = 1$, найдем q_0:

$$q_0 = \lim_{z\to 1} Q(z) = \frac{1-\rho}{1-\rho+l^{(1)}\alpha}. \tag{1.6}$$

Далее найдем связь между распределениями q_i и p_i:

$$p_j = \tilde{C}^{-1}\left\{ q_0 \int_0^\infty [1-F(x)] e^{-\lambda x} \left(\sum_{k=0}^{j} l_j^k \frac{(\lambda x)^k}{k!} \right) dx + \right.$$
$$\left. + \sum_{i=0}^{j} q_{i+1} \int_0^\infty [1-B(x)] e^{-\lambda x} \left(\sum_{k=0}^{j-i} l_{j-i}^k \frac{(\lambda x)^k}{k!} \right) dx \right\}, \tag{1.7}$$

где $\tilde{C} = q_0\alpha + (1-q_0)\hat{\rho}$.

Умножим обе части уравнения (1.7) на z^j и просуммируем для $j \geq 0$ Проведя несложные преобразования, получим окончательно ПФ для распределения p_j:

$$P(z) = \frac{1-\rho}{\alpha} \cdot \frac{(1-z)(1-\varphi(\lambda - \lambda L(z)))}{(\beta(\lambda - \lambda L(z)) - z)(1-L(z))} \tag{1.8}$$

Теперь найдем среднюю длину очереди N:

$$N = \lim_{z\to 1} P'(z) = \frac{1}{2}\lambda l^{(1)} \frac{f^{(2)}}{f^{(1)}} + \frac{\lambda^2 (l^{(1)})^2 b^{(2)} + \hat{\rho}(l^{(2)} - l^{(1)})}{2(1-\rho)}. \tag{1.9}$$

Используя формулу Литтла, находим среднее время пребывания заявки в системе:

$$v = b^{(1)} + \frac{N}{\lambda l^{(1)}} = b^{(1)} + \frac{f^{(2)}}{2f^{(1)}} + \frac{\lambda s^{(1)} b^{(2)} + b^{(1)}\left(\frac{s^{(2)}}{s^{(1)}} - 1\right)}{2(1-s^{(1)}\rho)}. \tag{1.10}$$

Упрощенная математическая модель

Теперь упростим модель. Положим, что время обработки заявки на приборе распределено по экспоненциальному закону и что размер пачки фиксирован и равен n.

Обозначим $\{S(t), t \geq 0\}$ — случайный процесс, принимающий значение "0", если прибор занят обслуживанием заявок, и "1", если прибор находится на прогулке. Пусть $\upsilon(t)$ — число заявок в системе в момент времени t. Определим следующие вероятности:

$$p_{i,0} = \lim_{t\to\infty} P\{\upsilon(t) = i, \quad S(t) = 0\}, \quad i = \overline{1,B};$$
$$p_{i,1} = \lim_{t\to\infty} P\{\upsilon(t) = i, \quad S(t) = 1\}, \quad i = \overline{0,B}. \tag{2.1}$$

где B — максимальный размер буфера. Обозначим $\frac{1}{\mu} = b^{(1)}$, $\frac{1}{\theta} = f^{(1)}$ и выпишем систему уравнений глобального баланса:

$$\begin{aligned}
&\lambda p_{0,1} = \mu p_{1,0};\\
&(\lambda+\theta)p_{in,1} = \lambda p_{(i-1)n,1}, \quad i = 1,\ldots\left|\frac{B}{n}\right| - 1;\\
&\theta p_{B,0} = \lambda_{B-n,1};\\
&(\lambda+\mu)p_{i,0} = \mu p_{i+1,0} + \lambda p_{i-n,0} + \theta p_{i,1}, \quad i = n+1,\ldots,B-1;\\
&(\lambda+\mu)p_{i,0} = \mu p_{i+1,0} + \theta p_{i,1}, \quad i \le n;\\
&(\lambda+\mu)p_{B,0} = \lambda p_{B-n,0} + \theta p_{B,1}.
\end{aligned} \tag{2.2}$$

Очевидно, что такой процесс не является процессом размножения-гибели, а значит нельзя найти выражение для стационарных вероятностей (2.1) в явном виде.

Еще более упростим модель. Положим $n := 1$, $\lambda := n\lambda$, тогда система (2.2) примет вид:

$$\begin{aligned}
&\lambda p_{0,1} = \mu p_{1,0};\\
&(\lambda+\mu)p_{1,0} = \mu p_{2,0} + \theta p_{1,1};\\
&(\lambda+\mu)p_{i,0} = \mu p_{i+1,0} + \lambda p_{i-1,0} + \theta p_{i,1}, \quad i = 2,\ldots,B-1;\\
&\mu p_{B,0} = \lambda_{B-1,0} + \theta p_{B,1};\\
&(\lambda+\theta)p_{i,1} = \lambda p_{i-1,1}, \quad i = 1,\ldots B-1;\\
&\theta p_{B,1} = \lambda p_{B-1,1}.
\end{aligned} \tag{2.3}$$

В статье [3] показано, что решение системы (2.3) очень незначительно отличается от системы (2.2), поэтому решение системы (2.3), которое можно получить в явном виде, может использоваться как приближенное решение системы (2.2). Однако, в отличие от результатов работы [3], мы получили значительно более компактные формулы для стационарных вероятностей (2.1):

$$\begin{aligned}
&p_{i,1} = \left(\frac{\lambda}{\lambda+\theta}\right)^i p_{0,1}, \quad i = \overline{1,B-1};\\
&p_{B,1} = \frac{\lambda}{\theta}\left(\frac{\lambda}{\lambda+\theta}\right)^{B-1} p_{0,1};\\
&p_{i,0} = \left(\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i + \frac{\lambda}{\mu-\lambda-\theta}\left(\left(\frac{\lambda}{\lambda+\theta}\right)^{i-1} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{i=1}\right)\right)p_{0,1};\\
&p_{0,1} = \left(\frac{\lambda(\lambda+\theta)}{(\mu-\lambda)(\mu-\lambda-\theta)}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^B - \frac{\lambda(\lambda+\theta)}{\theta(\mu-\lambda-\theta)}\left(\frac{\lambda}{\lambda+\theta}\right)^B + \frac{\mu(\lambda+\theta)}{\theta(\mu-\lambda)}\right)^{-1}.
\end{aligned} \tag{2.4}$$

Вероятность того, что в системе находится более K сообщений, равна:

$$P_K = \frac{\lambda}{\mu-\lambda-\theta}\left(\frac{\mu}{\theta}\left(\frac{\lambda}{\lambda+\theta}\right)^K - \frac{(\lambda+\theta)}{\theta}\left(\frac{\lambda}{\lambda+\theta}\right)^B - \frac{(\lambda+\theta)}{\mu-\lambda}\left(\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^K - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^B\right)\right)p_{0,1} \tag{2.5}$$

Вероятность того, что буфер (очередь NOTIFY сообщений) был переполнен или вероятность потери заявки:

$$P_B = p_{B,1} + p_{B,0} \tag{2.6}$$

Средняя длина очереди равна:

$$\overline{Q} = BP_B + \frac{1}{\mu-\lambda-\theta}\left(\begin{aligned}&\frac{\mu(\lambda+\theta)}{\theta^2}\left(((B-1)\lambda - B(\lambda+\theta))\left(\frac{\lambda}{\lambda+\theta}\right)^B + \lambda\right)\\ &-\frac{(\lambda+\theta)\mu}{(\lambda-\mu)^2}\left(((B-1)\lambda - B\mu)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^B + \lambda\right)\end{aligned}\right)p_{0,1} \tag{2.7}$$

Заключение

В статье представлены результаты исследований по управлению перегрузками сервера присутствии в сети IMS. Разработана математическая модель в терминах системы массового обслуживания с групповым поступлением заявок и прогулками приборов. По сравнению с известными результатами получены новые формулы для вычисления вероятностно-временных характеристик модели, в том числе, для ее важного частного случая.

Литература

1. 3GPP TS 24.141 v8.3.0 (2008-12) 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network and Terminals; Presence service using the IP Multimedia (IM) Core Network (CN) subsystem; Stage 3 (Release 8).

2. Abhayawardhana V.S., Babbage R. A Traffic Model for the IP Multimedia Subsystem (IMS). // IEEE Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007, 22-25 April 2007. — P.783-787.

3 **Chi C., Hao R., Wang D., Cao Z.** IMS Presence Server: Traffic Analysis & Performance Modeling. // Network Protocols, 2008. ICNP 2008. IEEE International Conference, 19-22 Oct. 2008. — P.63-72.

Численный анализ блокировок оптической сети с маршрутизацией по длине волны

Анализируется влияние эффекта конверсии длин волн на работу оптических сетей связи. Приводится анализ зависимости работоспособности сети (вероятности блокировки и загрузки сети) от количества переприемов в соединении и от числа длин волн в оптическом звене.

Ефимушкин А.В.,
Эксперт Департамента сетевых технологий компании ACTIVE TELECOM,
efimushkin@activetelecom.ru

Аналитическая модель

Рассмотрим приближенную аналитическую модель для нахождения вероятности блокировки канала сети с произвольной топологией, как без возможности преобразования длин волн в узле, так и с ней. Для этого введем ряд предположений.

1) Каждое звено сети имеет одинаковое число W длин волн.

2) Каждому запросу на соединение случайно назначается длина волны из всех доступных длин волн. Стратегия упорядоченного занятия существенно сложнее для аналитического исследования и в данной работе не рассматривается; далее исследуется стратегия случайного занятия при отсутствии конверсии длин волн.

3) Каждый узел сети имеет W передатчиков для исходящего трафика и приемников для входящего, где W есть число длин волн передаваемых в волокне (по одному передатчику и приемнику для каждой длины волны).

4) Рассматриваются соединения "точка-точка".

5) В каждый узел сети поступает пуассоновский поток вызовов, время обслуживания вызовов распределено экспоненциально.

6) Буферы для входящих вызовов отсутствуют. Вызов, который не может быть обслужен, блокируется и теряется, не создавая повторных вызовов.

7) Нагрузка на звенья сети независима друг от друга. В действительности это очень важное предположение, и точность модели, построенной при этом предположении, зависит от топологии сети и модели трафика.

8) Статическая маршрутизация. Предполагается использование одного и того же маршрута для соединений между каждой парой источник — получатель. Динамическая маршрутизация дает большую производительность, но ее теоретический анализ очень трудоемок. На данном этапе в работе сравниваются схемы при наличии и отсутствии конверсии длин волн в узлах.

На первом этапе рассмотрим вероятность блокировки вызова при отсутствии конверсии длин волн. В данном случае вызов от одного пользователя к другому будет блокирован в случае отсутствия одной и той же свободной длины волны на каждом звене маршрута между ними.

Рассмотрим сеть, состоящую из последовательно соединенных станций с множеством звеньев J и количеством W возможных длин волн для передачи на каждом звене. Пусть маршрут $R \subseteq J = \{1,2,\ldots,J\}$.

Время удержания для любого вызова принимается экспоненциально распределенным с параметром μ, λ_i — интенсивность поступления вызова на звено i маршрута. Тогда $\rho_i = \lambda_i/\mu$ интенсивность нагрузки на звено i, $i = 1,\ldots, J$.

Пусть $X^{(i)}$ — случайная величина, определяющая число занятых длин волн на i-м звене,

$$p_k^{(i)} := P\{X^{(i)} = k\},\ k = 0,\ldots,W.$$

При рассмотрении одного звена, его состояния при различном числе k занятых длин волн и переходы из состояния в состояние можно рассматривать как процесс размножения и гибели [10,11], рис.1.

Выпишем систему уравнений равновесия (СУР):

$$\lambda_i p_{k-1}^{(i)} = k\mu p_k^{(i)},\ k = 1,\ldots,W,$$

где k — число занятых длин волн на звене.

Из СУР следует, что

$$p_k^{(i)} = \frac{\rho_i^{\,k}}{k!} p_0^{(i)} = \frac{\dfrac{\rho_i^{\,k}}{k!}}{\sum\limits_{w=0}^{W} \dfrac{\rho_i^{\,w}}{w!}},$$

где $p_k^{(i)}$ — вероятность занятости k длин волн на звене i маршрута, $k = 0,\ldots, W$, $i = 1,\ldots, J$.

Интенсивность λ_i определяется объединением вкладов от всех предложенных потоков на маршруты, содержащие звено i.

Для вызова, не нуждающегося в переприемах (т.е. поступающего на маршрут, состоящий из одного звена), вероятность π его блокировки равна вероятности того, что W длин волн уже занято на звене i ранее установленными соединениями:

$$\pi = p_W^{(i)} = \frac{\dfrac{\rho_i^{\,W}}{W!}}{\sum\limits_{w=0}^{W} \dfrac{\rho_i^{\,w}}{w!}}$$

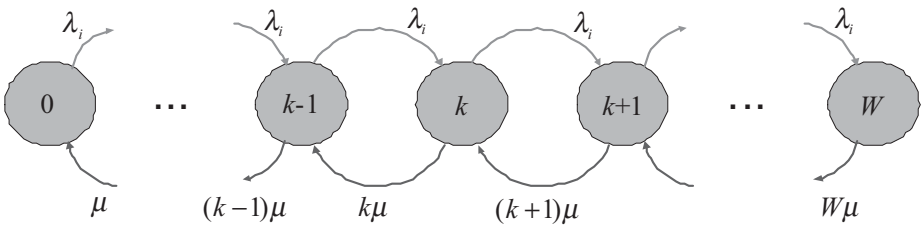


Рис. 1. Представление состояний звена сети в виде процесса размножения и гибели

Анализ блокировок на примере двухзвеньевого линейного фрагмента оптической сети

Определим теперь вероятность блокировки для вызовов, поступающих на маршрут, состоящий из большего количества звеньев. Во-первых, определим вероятность $q_k^{(n)}$, как вероятность наличия k занятых длин волн на первых n звеньях маршрута. Под занятой длиной волны на маршруте будем понимать длину волны, не доступную хотя бы на одном звене рассматриваемого маршрута. Для маршрута, состоящего из одного звена, имеем $q_k^{(1)} = p_k^{(1)}$, $k = 0,...,W$.

Для маршрута, состоящего из двух звеньев a и b обозначим за n_a и n_b количество свободных длин волн находящихся, соответственно, на звеньях a и b. Вероятность $P(f|n_a, n_b)$ того, что f длин волн доступны для установления соединений, эквивалентна вероятности наличия одних и тех же свободных длин волн, как на звене a, так и на звене b [3-5].

$$P(f \mid n_a, n_b) = \begin{cases} \dfrac{\binom{n_a}{f}\binom{W-n_a}{n_b-f}}{\binom{W}{n_b}}, & n_a + n_b - W \le f \le \min(n_a, n_b), \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

На n_a и n_b накладываются следующие ограничения $n_a + n_b - f \le W$, $0 \le n_a, n_b \le W$.

По определению условной вероятности найдем распределение занятых длин волн на маршруте из двух звеньев

$$q_{W-f}^{(2)} = \sum_{i=0}^{W}\sum_{j=0}^{W} P(f \mid i, j) p_i^{(1)} p_j^{(2)}$$

Введем следующие обозначения.

Обозначим через $\pi^0(n, W)$ вероятность блокировки маршрута R, состоящего из $|R|=n$ звеньев, содержащих по W длин волн без конверсии длин волн в узлах.

Обозначим через $\pi(n, W)$ вероятность блокировки маршрута R, состоящего из $|R|=n$ звеньев, содержащих по W длин волн с полной конверсией длин волн в узлах.

Вероятность блокировки маршрута из двух звеньев без конверсии длин волн в узлах в веденных выше обозначениях можно представить как $\pi^0(2, W) = q_W^{(2)}$.

Можно распространить описанный выше анализ на нахождение вероятности блокировки вызова, поступающего на маршрут из n звеньев, $n \ge 1$. По существу будем использовать рекуррентную формулу, определяющую распределение занятых длин волн на маршруте из n звеньев через распределение занятых длин волн на маршруте из $n-1$ звена. Для $n \ge 1$ имеем

$$q_{W-f}^{(n)} = \sum_{i=0}^{W}\sum_{j=0}^{W} P(W-f \mid i, j) q_i^{(n-1)} p_j^{(n)},$$

и

$$\pi^0(n, W) = q_{W-W}^{(n)}.$$

Если в сети возможно преобразование длин волн, то ограничение на использование одной и той же длины волны для установления соединения отпадает. Блокировка вызова происходит при данных условиях только в отсутствии свободных длин волн на каком-либо из звеньев маршрута. Поэтому в данном случае можно использовать результаты классической теории коммутации каналов [6]. Вероятность блокировки для соединений, поступающих на маршрут из n звеньев равна

$$\pi(n, W) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - p_W^{(i)}).$$

Если средняя загрузка звеньев одинакова, то $p_W^{(i)} = P_W$ и вероятность блокировки может быть выражена в виде

$$\pi(n, W) = 1 - (1 - p_W)^n.$$

Численный анализ

Рассмотрим вероятности блокировок вызовов для маршрута, состоящего из двух звеньев, в зависимости от числа длин волн в случае отсутствия конверсии длин волн в узлах сети. Предположим, что интенсивности нагрузки на каждое звено сети равными единице ($\rho = 1$)(табл.1).

Таблица 1

Вероятности блокировок вызовов

W	$\pi^0(2, W)$
1	0.75
2	0.44(0)
3	0.1914
4	0.0618
5	0.0153
10	0.000001

При существовании возможности конверсии длин волн в узлах маршрута, аналогичные вероятности при том же значении интенсивности нагрузки на звено сети будут равны значениям, представленным в табл.2.

Сравнительный анализ результатов показан на рис. 2.

Аналогичным образом рассмотрим пример для более длинного линейного маршрута. Возьмем фиксированное количество длин волн ($W = 5$) и исследуем изменение вероятности блокировки линейного маршрута при увеличении количества звеньев в маршруте. Будем рассматривать одинаковую интенсивность нагрузки на каждое звено сети равную единице ($\rho = 1$).

Пусть n — количество звеньев в линейном маршруте.

$\pi^0(n, 5)$ — вероятность потерь на маршруте из n звеньев без конверсии длин волн в узлах.

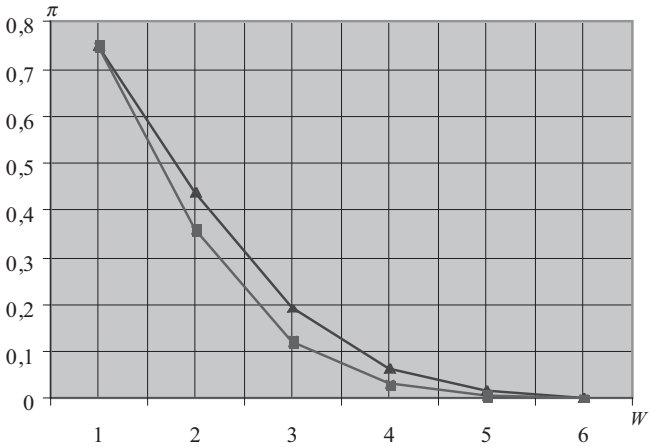


Рис. 2. Изменение значений вероятности блокировки вызова на маршруте в зависимости от количества длин волн на звене сети

Таблица 2

Вероятности блокировок вызовов

n	$\pi^0(n,5)$	$\pi(n,5)$
2	0,01535	0,006126
3	0,019537	0,009174
4	0,02487	0,012214
5	0,03166	0,015244
6	0,040303	0,01826
7	0,05131	0,021276
8	0,065313	0,024278
9	0,08314	0,027271
10	0,10584	0,03025

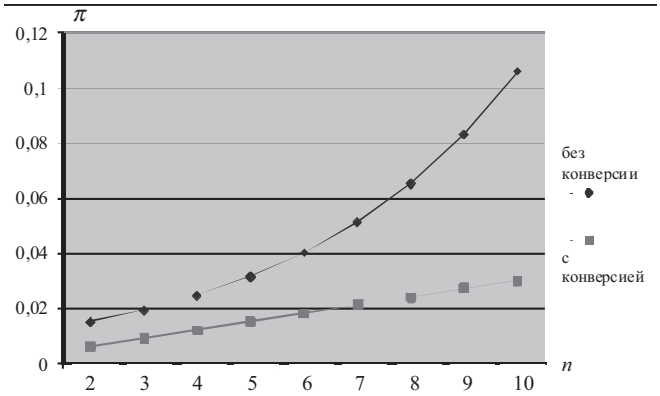


Рис. 3. Изменение значений вероятности блокировки вызова в зависимости от увеличения длины маршрута

Таблица 3

Вероятности потерь

W	$\pi(2,W)$
1	0.75
2	0.3599
3	0.1211
4	0.0305
5	0.0061
10	2.0275×10-7

$\pi(n, 5)$ — вероятность потерь на маршруте из n звеньев с конверсией длин волн в узлах.

Для данного примера вероятности потерь показаны в табл. 3.

Сравнительный анализ результатов показан на рис. 3.

Изменение вероятности блокировки линейного маршрута при увеличении числа длин волн W и постоянном количестве звеньев в маршруте равном десяти (n = 10) будет иметь вид, представленный на рис. 4.

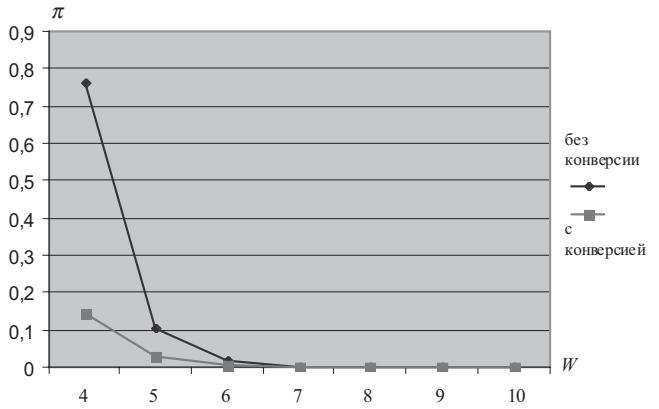


Рис. 4. Изменение значений вероятности блокировки вызова в зависимости от количества длин волн в звене сети

Тем не менее, на практике значения интенсивностей нагрузки на звенья в общем случае не известны, а известна матрица трафика, которая характеризует предложенную интенсивность нагрузки между парами станций.

Численный анализ блокировок оптической сети на примере сети N (N=6, J=8,W) с известной интенсивностью предложенной нагрузки позволяет оценить значения вероятности блокировки сети от числа длин волн в каждом звене W. Будет рассматриваться только статическая маршрутизация. На рис. 5 приводится анализ интенсивности уменьшения вероятности блокировки сети N (6,8,W) при увеличении числа длин волн W.

Как видно из графика, интенсивности убывания вероятностей блокировок сети в обоих случаях почти одинаковы, причем дополнительные преимущества по улучшению производительности сети при использовании конвертеров длин волн в узлах сети сходят на нет при значительном увеличении дли волн используемых для передачи информации по сети. Из приведенного анализа можно сделать вывод в пользу удешевления стоимости при прокладке новых оптических сетей за счет прокладки многоволоконных оптических сетей, т.к. использование оборудования конверсии длин волн в узлах сети является еще очень дорогим.

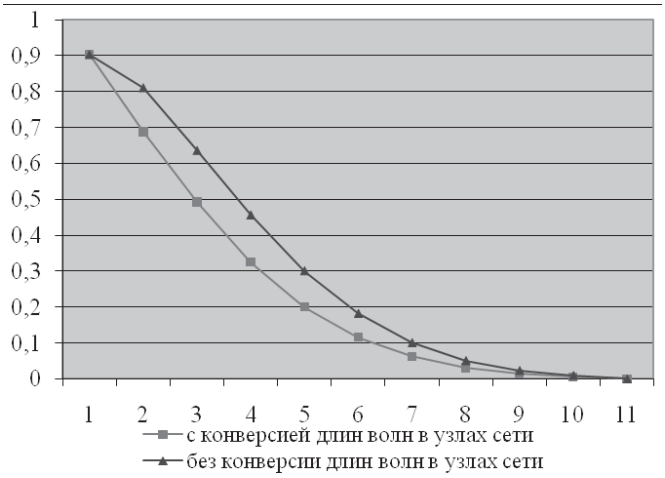


Рис. 5. Анализ интенсивности уменьшения вероятности блокировки сети N (6,8,W) при увеличении W

Заключение

Исследовано влияние эффекта конверсии длин волн на работу оптических сетей связи. Проведен анализ зависимости вероятности блокировки и загрузки сети от количества переприемов в соединении и от числа длин волн в оптическом звене.

Литература

1. **Башарин Г.П., Самуйлов К.Е.** Современный этап в развитии теории телетрафика. Информационная математика. Научно-технический журнал. // М.: Физматлит, 2001. — №1. — С.153-166.

2. **Бочаров П.П., Печинкин А.В.** Теория массового обслуживания // М.: РУДН, 1995. — 529 с.

3. **Birman A.** Computing approximate blocking probabilities for a class of all-optical networks// IEEE J. Select. Areas Commun, 1996. — vol.14. — №5. — P.852-857.

4. **Kovacevic M., Acampora A.** Benefits of wavelength translation in all-optical networks // Proc. IEEE INFOCOM'95, Boston, MA. — Vol.2, April 1995. — P.413-422.

5. **Kovacevic M., Acampora A.** On wavelength translation in all-optical clear-channel networks // IEEE J. Select. Areas Commun. 1996. — vol.14. — №5. — P.868-880.

6. **Kelly F.P.** Blocking probabilities in large circuit switched networks // Advances in Applied Probability, 1986. — P.473-505.