

Цифровые системы передачи: от HDSL к G.shdsl

В. Угрюмов, сотрудник Schmid Telecom, С. Шаронин, к.т.н., сотрудник "СвязьКомплект"

Совсем недавно системы высокоскоростной цифровой передачи по медным абонентским линиям были диковинкой. Прошло всего десятилетие - и уже далеко не всякий специалист по телекоммуникациям уверенно ориентируется в разнообразии их характеристик. Недавно появилась еще одна технология - G.shdsl. Рождалась она долго, но появилась сразу же в виде всемирного стандарта ITU-T (G.991.2) - все давно устали от хаоса несовместимого друг с другом оборудования различных производителей.

Немного предыстории.

В начале 90-х годов развитие цифровых способов обработки сигнала привело к созданию HDSL. Эта технология сочетала в себе линейное кодирование 2B1Q и сложные алгоритмы эхоподавления. Первые варианты, работающие по двум парам, были созданы в США и быстро вытеснили старые цифровые системы передачи T1 ANSI (1544 Мбит/с), которые имели рабочую дальность чуть более километра. Все это произошло благодаря тому, что HDSL, обеспечивая большую дальность (3,5 км на проводе 0,4 мм), позволил отказаться от регенераторов и существенно снизить затраты на монтаж и эксплуатацию вновь вводимых линий.

Аналогичная картина складывалась в это время и в Европе - получили распространение варианты HDSL, которые обеспечивают передачу потока E1 ETSI (2048 Кбит/с). Сначала появился вариант, который для получения большей скорости при той же дальности использовал три пары. Скорость передачи по каждой из пар при этом была та же, что и у американского варианта (748 Кбит/с). Затем, был стандартизован двухпарный вариант, у которого скорость по каждой из пар была выше (1168 Кбит/с) при меньшей рабочей дальности (около 3 км на проводе 0,4 мм). Но даже в этом случае дальность она оказывалась выше, чем у оборудования с линейным кодом HDB3 (рис. 1).

Всем опытом эксплуатации HDSL доказал свои высокие эксплуатационные характеристики. В подавляющем большинстве случаев монтаж HDSL оборудования проводится без дополнительного подбора пар или кондиционирования линии. Благодаря этому сегодня около 80% всех линий E1 подключено с применением HDSL оборудования. Более того, сам факт появления технологии, которая обеспечила возможность экономичных решений по организации цифровых подключений абонентов, привел к тому, что число таких подключений стало стремительно расти. Иными словами, именно появление HDSL стало своеобразным катализатором развития цифровых сетей.

В свою очередь, развитие цифровых сетей создало спрос на цифровые системы передачи xDSL с другими характеристиками. Так появилась сравнительно низкоскоростная технология IDSL, основными достоинствами которой были работа по одной паре и низкая стоимость, обусловленная применением стандартных компонентов, производимых для абонентского ISDN оборудования. Так родились скоростные и асимметричные ADSL, VDSL со всеми своими разновидностями, созданные для подключения индивидуальных абонентов жилого сектора по их существующей телефонной линии и без отказа от использования этой линии для аналоговой или цифровой (ISDN BRI) телефонии. Наконец, так были разработаны обеспечившие увели-

ченную дальность работы разновидности HDSL с другими способами линейного кодирования (CAP) и адаптивные разновидности HDSL с возможностью изменять скорость передачи в линии, подстраивая ее под характеристики линии.

Производители, каждый на свой лад, стали задумываться о реализации вариантов HDSL систем, которые бы работали по одной паре при полной скорости. Дело в том, что параллельно с развитием xDSL технологий росло и число используемых ими линий. Из-за этого большинство операторов во всем мире уже сегодня отмечают острую нехватку меди на абонентском участке - почти вся она "съедена" xDSL линиями. А ведь цифровизация еще не закончена. Где-то к 1996 году появились однопарные варианты HDSL. Но они не могли решить проблему из-за несовместимости с ADSL - спектр сигнала таких систем частично перекрывался со спектром сигнала ADSL от АТС к клиенту.

Первыми забили тревогу операторы США, и уже в начале 1996 года перед комитетом ANSI (T1E1.4) была поставлена задача подобрать для дальнейшего развития технологию, которая при симметричных потоках данных и использовании



Рис. 1. Эволюция систем передачи.

одной пары позволяла бы обеспечить:

- ♦ рабочую дальность не меньшую, чем HDSL;
- ♦ устойчивость к тем же физическим характеристикам линии, что и HDSL (затухание, взаимное влияние, отражения от неоднородностей и отводов);
- ♦ использование для оказания тех же видов услуг, что и HDSL;
- ♦ надежную и устойчивую передачу на реальных линиях со всеми присущими им дефектами;
- ♦ "сосуществование" с другими технологиями (HDSL, ISDN, ADSL);
- ♦ снижение эксплуатационных затрат по сравнению с HDSL.

HDSL2

Новая технология, появившаяся в результате огромной трехлетней работы, получила название HDSL2 (нужно отметить, что работа над ее стандартизацией ввиду некоторых разногласий между основными производителями пока не окончена и стандарт существует в виде рабочей версии T1.418-2000). Изначально в качестве основы для реализации HDSL2 рассматривались симметричная передача с эхоподавлением (SEC) и частотное мультиплексирование (FDM), но обе были отклонены из-за присущих им недостатков. Первая имеет серьезные ограничения в условиях помех на ближнем конце, что делает ее неприменимой для массового развертывания. Вторая, хотя и свободна от недостатков первой, но требует использования более широкого спектра и не обеспечивает требований по взаимному влиянию с системами передачи других технологий.

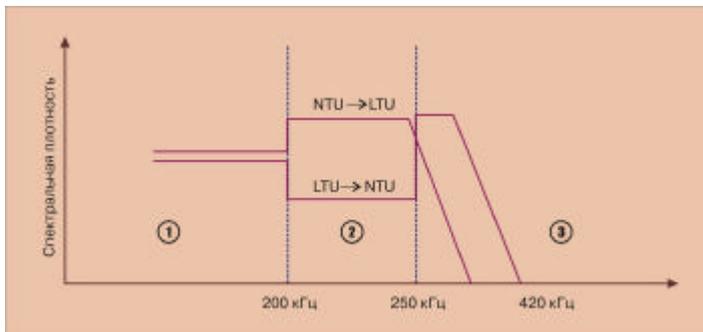


Рис. 2. Спектральная плотность сигнала G.shdsl.

В результате, в качестве основы была принята система передачи с перекрывающимся, но несимметричным распределением спектральной плотности сигнала, передаваемого в различных направлениях, использующая 16-уровневую модуляцию PAM (Pulse Amplitude Modulation). Выбранный способ модуляции PAM-16 обеспечивает передачу трех бит полезной информации и дополнительного бита (кодирование для защиты от ошибок) в одном символе. Сама по себе модуляция PAM не несет в себе ничего нового. Хорошо известная 2B1Q - это тоже модуляция PAM, но четырехуровневая. Использование решетчатых (Trellis) кодов, которые за счет введения избыточности передаваемых данных позволили снизить вероятность ошибок, дало выигрыш в 5 dB. Результирующая система получила название TC-PAM (Trellis coded PAM). При декодировании в приемнике используется весьма эффективный алгоритм Витерби (Viterbi). Дополнительный выигрыш получен за счет применения прекодирования Томлинсона (Tomlinson) - искажении сигнала в передатчике на основе знания импульсной характеристики канала. Суммарный выигрыш за счет использования такой достаточно сложной технологии кодирования сигнала составляет до 30% по сравнению с ранее используемыми HDSL/SDSL системами.

Но все-таки, ключевым элементом успеха новой технологии является идея несимметричного распределения спектра, получившее название OPTIS (Overlapped PAM Transmission with Interlocking Spectra) и послужившее основой HDSL2 и, впоследствии, G.shdsl. При выборе распределения спектральной плотности для OPTIS решалось одновременно несколько задач (рис. 2). В первой области диапазона частот (0-200 кГц), где переходное влияние минимально, спектральные плотности сигналов, передаваемых в обе стороны одинаковы. Во втором диапазоне частот (200-250 кГц), спектральная плотность сигнала от LTU (оборудования на узле связи) к NTU (абонентскому оборудованию) уменьшена, чтобы снизить его влияние на сигнал в обратном направлении в этой области частот. Благодаря этому переходные влияния на ближнем конце в обоих диапазонах частот оказываются одинаковыми. В свою очередь мощность сигнала от NTU к LTU во втором диапазоне частот уменьшена, что даёт дальнейшее улучшение отношения сигнал/шум в этой области частот. Следует отметить, что это уменьшение не ухудшает отношения сигнал/шум на входе NTU по двум причинам: во-первых, полоса частот сигнала от LTU к NTU увеличена по сравнению с полосой частот сигнала в обратном направлении, и, во-вторых, абонентские модемы NTU пространственно разнесены, что также уменьшает уровень переходной помехи. В третьем диапазоне частот спектральная плотность сигнала от LTU к NTU максимальна, поскольку сигнал в обратном направлении в этой области почти отсутствует, и отношение сигнал/шум для сигнала на входе NTU оказывается высоким. Выбранная форма спектра является оптимальной не только в случае, когда в кабеле работают только системы HDSL2. Она будет оптимальна и при работе с ADSL, поскольку сигнал HDSL2 от NTU к LTU выше частоты 250 кГц, где сосредоточена основная мощность составляющих нисходящего потока ADSL, практически подавлен. Предварительные расчёты показали, что помехи от системы HDSL2 в нисходящем тракте системы ADSL (от LTU к NTU) меньше помех от системы HDSL, работающей по двум парам, и существенно меньше помех от системы HDSL, использующей код 2B1Q и работающей по одной паре на полной скорости.

На арену выходит G.shdsl

В 1998 году инициативу ANSI подхватила и остальная часть мира. В ITU-T началась работа над всемирным стандартом G.shdsl (стандарт G.991.2 утвержден в феврале 2001 г.), европейской версией этого стандарта занимается и ETSI (сейчас он оформлен в виде спецификации TS 101524).

В основу G.shdsl были положены основные идеи HDSL2, получившие дальнейшее развитие. Была поставлена задача, используя способы линейного кодирования и технологию модуляции HDSL2, снизить взаимное влияние на соседние линии ADSL при скоростях передачи выше 784 Кбит/с.

В целях поддержки клиентов различного уровня, в G.shdsl решили предусмотреть возможность выбора скорости в диапазоне 192 Кбит/с - 2320 Кбит/с с инкрементом 8 Кбит/с. За счет расширения набора скоростей передачи оператор может выстроить маркетинговую политику, более точно приближенную к потребностям клиентов. Кроме того, уменьшая скорость можно добиться увеличения дальности в тех случаях, когда установка регенераторов невозможна. Так, если при максимальной скорости рабочая дальность составляет около 2 км (для провода 0,4 мм), то при минимальной - свыше 6 км (рис. 3). Но это еще не все. В G.shdsl предусмотрена возможность использования для передачи данных одновременно двух пар, что позволяет увеличить предельную скорость передачи до 4624 Кбит/с. Но, главное, можно удвоить максимальную скорость, которую удается получить на реальном кабеле по которому подключен абонент.

Есть и другие достоинства G.shdsl. По сравнению с двухпарными вариантами, однопарные варианты обеспечивают существенный выигрыш по аппаратным затратам и, соответственно, надежности изделия. Ресурс снижения стоимости составляет до 30% для модемов и до 40% для регенераторов - ведь каждая из пар требует приемопередатчика HDSL, линейных цепей, элементов защиты и т.п.

Для обеспечения взаимной совместимости оборудования различных производителей в стандарт G.shdsl был инкорпорирован стандарт G.hs.bis (G.844.1), описывающий процедуру инициализации соединения. Предусмотрено два варианта процедуры. В первом оборудовании LTU (установленное на АТС) диктует параметры соединения NTU (оборудованию клиента), во втором - оба устройства "договариваются" о скорости передачи с учетом состояния линии. Учитывая неизвестные начальные условия, при обмене данными во время инициализации для гарантированного установления соединения применяется низкая скорость передачи и один из классических методов модуляции (DPSK).

Кроме установки скорости, G.hs описывает и порядок выбора протокола в процессе установки соединения. Чтобы обеспечить совместимость со всеми используемыми на сегодня сервисами, фреймер G.shdsl модема должен реализовать возможность работы с такими протоколами, как E1, ATM, IP, PCM, ISDN. Для обеспечения гарантированной работоспособности приложений реального времени, стандартом G.shdsl ограничена максимальная задержка данных в канале передачи (не более 500 мс). Наиболее используемыми приложениями этого вида для G.shdsl являются передача голоса VoDSL во всех ее разновидностях (PCM -

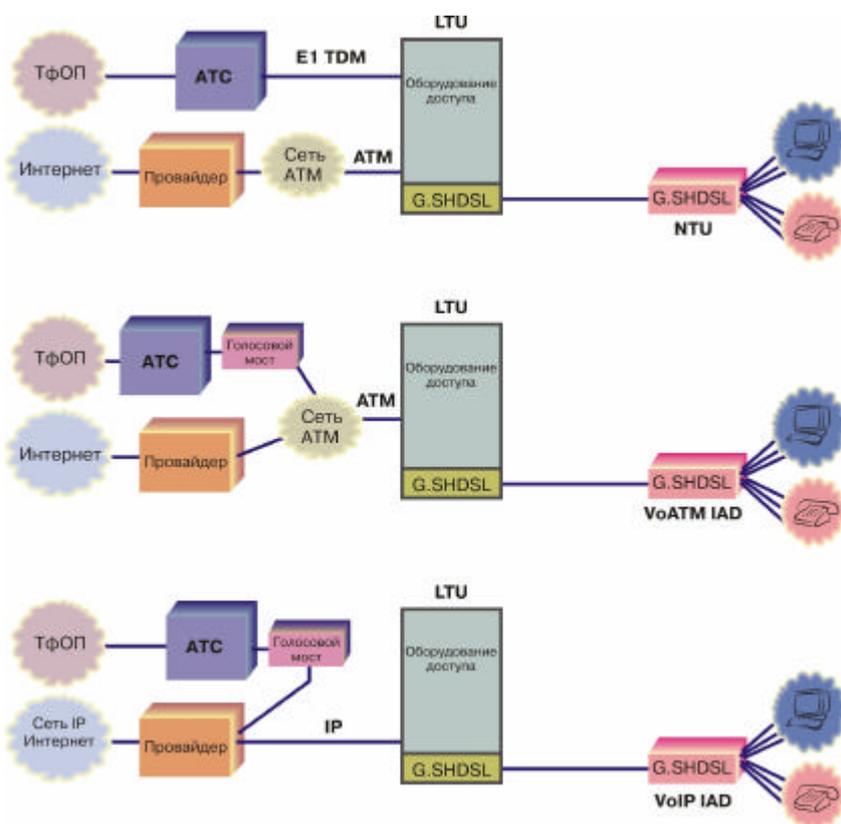


Рис. 4. Примеры использования оборудования G.shdsl

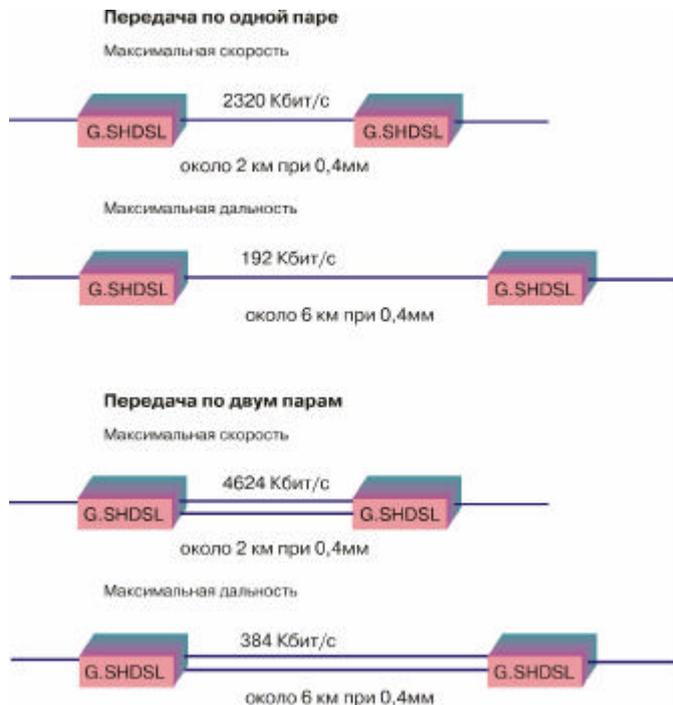


Рис. 3. Возможности систем передачи G.shdsl.

обычный цифровой канал телефонии, VoIP - голос через IP и VoATM- голос через ATM) и видеоконференцсвязь.

За счет оптимального выбора протокола во время инициализации в G.shdsl удастся дополнительно снизить задержки в канале передачи. Например, для IP трафика устанавливается соответствующий протокол, что позволяет отказаться от передачи избыточной информации, по сравнению с IP пакетами, инкапсулированными в ATM ячейки. А для передачи цифровых телефонных каналов в формате ИКМ непосредственно выделяется часть полосы DSL канала.

Стоит отметить, что упомянутые выше передача голоса и видеоконференцсвязь требуют передачи симметричных потоков данных в обе стороны. Симметричная передача необходима и для подключения локальных сетей корпоративных пользователей, которые используют удаленный доступ к серверам с информацией. Поэтому, в отличие от других высокоскоростных технологий (ADSL и VDSL), G.shdsl как нельзя лучше подходит для организации последней мили. Так, при максимальной скорости она обеспечивает передачу 36 стандартных голосовых каналов. Тогда как ADSL, где ограничивающим фактором яв-

ляется низкая скорость передачи от абонента к сети (640 Кбит/с), позволяет организовать лишь 9 голосовых каналов, не оставляя места для передачи данных.

Еще одна задача, которая успешно решена в G.shdsl - снижение энергопотребления. Поскольку для дистанционного питания используется одна пара, важность этой задачи трудно переоценить. Еще одна положительная сторона - снижение рассеиваемой мощности открывает путь к созданию высоко интегрированного стационарного оборудования.

Новые возможности оборудования - свобода выбора операторов

Как следует из вышеизложенного, G.shdsl имеет целый ряд достоинств по сравнению с другими xDSL технологиями. Опираясь основными показателями, можно сказать, что G.shdsl, по сравнению с однопарным вариантом 2B1Q HDSL, позволяет увеличить на 35-45% скорость передачи при той же дальности или увеличить дальность на 15-20% при той же скорости. Кроме того, в G.shdsl изначально заложены базовые возможности для ее использования на последней миле в сетях PCM (ИКМ), ATM, IP, FR. Благодаря этому G.shdsl имеет самую широкую область применения (рис. 4).

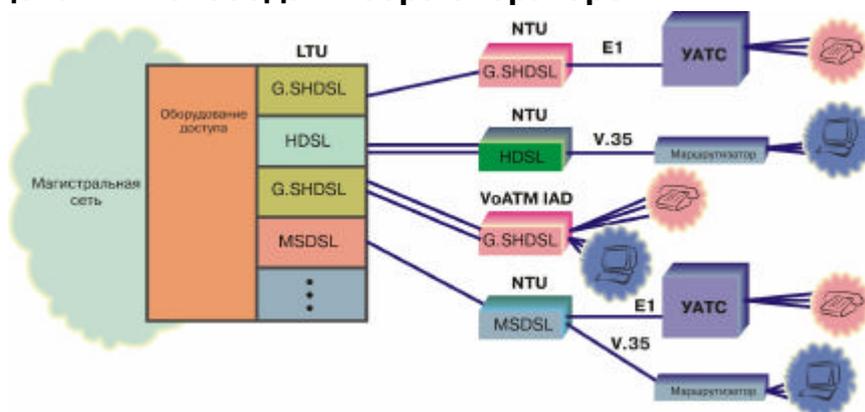


Рис. 5. Пример использования универсальной xDSL платформы.

Казалось бы, новая технология станет панацеей, и спрос на все прочие симметричные xDSL технологии исчезнет, а на асимметричные - существенно снизится. Однако, как большинство специалистов по эксплуатации оборудования, так и большинство производителей оборудования G.shdsl, отмечают, что новую технологию нельзя рассматривать как полную замену семейств HDSL/SDSL/MSDSL. Все они сходятся во мнении, что она не может служить их заменой, а является дополнением. Поэтому в ближайшее время станут выигрывать аппаратные платформы, которые реализуют возможность использования всех основных технологий в рамках единой системы (рис. 5). Именно они позволят оператору выбирать для подключения абонента ту xDSL технологию, которая оптимально подходит для существующих условий и решаемых задач.

Подтверждение этой концепции находит подтверждение в серьезном успехе оборудования WATSON компании SchmidTelecom, хорошо известном на российском рынке. Эта универсальная платформа всегда включала в себя компоненты, использующие все основные технологии линейного кодирования (2B1Q и CAP) на пределе их возможностей. Теперь в нее включено семейство WATSON5, полностью реализующее все требования стандарта G.shdsl, включая G.hs.bis. Такие малые сроки разработки объясняются просто - Schmid Telecom работает в теснейшей связи с производителями комплектующих и участвовал в разработке прототипных вариантов оборудования на всех заключительных этапах создания стандарта G.shdsl. Нужно отметить, что такую степень информированности и участия в процессе разработки могут позволить себе лишь несколько производителей xDSL оборудования, являющихся лидерами в этой области. Только такие компании и смогут предложить оборудование G.shdsl на рынок в ближайшем обозримом будущем.

Однако, уже сегодня оборудование G.shdsl предлагают даже небольшие компании. Объяснение этого факта простое - речь идет об оборудовании, частично выполняющем требования стандарта G.shdsl. Благодаря тому, что оно реализует не все описанные в стандарте функции или реализует их с использованием упрощенных нестандартных алгоритмов, оно стоит весьма недорого. Обычно, в таких устройствах совместимость со стандартом ограничена применением линейного кодирования TC-PAM. Область применения этих устройств за рубежом ограничена приложением "точка-точка", использующимся для объединения учреждений АТС и сегментов локальных сетей учреждений. Отличить такие устройства просто - они не имеют вариантов с высокой плотностью оборудования (несколько модемов на одном модуле), ориентированных на установку на узлах связи.

В заключение хочется обратить внимание на тот факт, что одним из основополагающих моментов в стандарте G.shdsl, который будет обуславливать успех этой технологии на рынке телекоммуникационного оборудования, является совместимость оборудования различных производителей. Эта возможность позволит операторам в будущем легко менять поставщика или приобретать абонентское и стационарное оборудование у различных поставщиков, что уже сегодня повсеместно практикуется для ADSL. Проверкой совместимости занимается специально созданная ведущими производителями лаборатория IOL (IterOperability Lab, University of New Hampshire), работающая во взаимодействии с DSL Форумом - основоположником "моды" xDSL. Проверка является весьма дорогостоящим процессом, поэтому только серьезные поставщики смогут обоснованно гарантировать, что их оборудование полностью совместимо со стандартами G.shdsl и G.hs.bis. Именно на их оборудовании мы и рекомендуем остановить свой выбор.

В. Угрюмов, сотрудник Schmid Telecom,
С. Шаронин, к.т.н., сотрудник "СвязьКомплект"

Контактный телефон: 362-7787 (Шаронин).