Тихомир Фабета

Тихомир Фабета
Эрикссон Никола Тесла А.О., Загреб, Хорватия
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Croatia

Резюме

Современное информационное общество невообразимо без коммуникации, базирующейся на широкополосных (broadband) технологиях доступа. Широкополосный рынок в данное время насчитывает свыше 290 миллионов пользователей, а самым крупным сегментом широкополосного рынка, состоящим из 200 миллионов пользователей, является доступ посредством цифровых абонентских линий (DSL - Digital Subscriber Line), который позволяет использование существующей инфраструктуры медных кабелей для предложения новых услуг оконечным пользователям.

В дальнейшем развитии сетей доступа очень важную роль будут играть технологии доступа посредством асимметричных цифровых абонентских линий второго поколения (ADSL2+ - Asymmetric Digital Subscriber Line) и посредством высокоскоростных цифровых абонентских линий (VDSL2 - Very high speed DSL 2). В данной статье описаны эти две технологии и их применение в развитии широкополосных сетей доступа.

Ключевые слова:

Широкополосные сети доступа
ADSL (Асимметричная цифровая абонентская линия)
VDSL2 (Высокоскоростная цифровая абонентская линия)
Ethernet
Топология сетей доступа

Key words:

Broadband Access Networks
ADSL
VDSL2
Ethernet
Access Network Topology

Abstract

Today's information society is characterized by communication based on broadband access technology. There are currently over 290 million users of the broadband access in the world, and the largest segment of the broadband market constitute 200 million users of Digital Subscriber Line (DSL) that enable the use of the existing copper infrastructure for offering new services.

Access via Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL2+) and Very high speed DSL 2 (VDSL2) will have a very important role in further development of access technologies. This article describes these two technologies and their application in development of broadband access technologies.

1. Введение

Введение широкополосных технологий на телекоммуникационный рынок является значительным шагом вперед как для операторов телекоммуникационных систем, так и для оконечных пользователей. Новые технологии значат новые услуги для оконечных пользователей, а также новые деловые модели для операторов. Использование широкополосных технологий обеспечивает эффективное распределение носителей информации (media) в телекоммуникационных сетях, т.е. передачу большого количества данных в единицу времени. В то же время проводится процесс дальнейшей цифровизации носителей информации, которые становятся все более пригодными для распределения по широкополосным сетям. Следовательно, применение новых технологий ведет к дальнейшему сближению двух больших промышленностей – телекоммуникаций и носителей информации, и к созданию нового совместного рынка, который для обеих промышленностей представляет новый вызов и новые возможности.

Главным преимуществом технологии передачи посредством цифровых абонентских линий (DSL - Digital Subscriber Line) по сравнению с остальными широкополосными технологиями в стационарных сетях доступа является возможность использования существующей инфраструктуры медных кабелей, используемой для предоставления речевой услуги (POTS - Обычная телефонная сеть, или ISDN - Цифровая сеть с интегрированными службами).

2. Развитие широкополосных технологий доступа DSL

Передача по цифровым абонентским линиям первоначально была задумана как технология, которая обеспечит возможность передачи данных по существующим медным парам проводов, служащих для предоставления традиционной речевой телефонной услуги. Так как нынешние широкополосные сети доступа, чаще всего, построены на асимметричных технологиях, в этой статье сосредоточим свое внимание именно на эти технологии. Симметричные широкополосные технологии, такие как, например, цифровая абонентская линия с большой скоростью передачи (HDSL - High-bit rate DSL), или симметричная цифровая абонентская линия с большой скоростью передачи (SHDSL - Symmetric High-bit rate DSL), не рассматриваются в этой статье. Эти технологии, по причине своих технологических ограничений (скорость передачи и отрицательный эффект на соседние пары проводов), не обеспечивают возможность предоставления передовых интерактивных услуг, таких как, например, IP телевидение (IPTV) или видео по запросу (VoD).

Технология	25-138 кГц	138-1104 кГц	1104-2208 кГц
ADSL	*восходящее направление (upstream)*	*нисходящее направление downstream*	не используется
ADSL2	*восходящее направление (upstream)*	*нисходящее направление downstream*	не используется
ADSL2+	*восходящее направление (upstream)*	*нисходящее направление downstream*	*нисходящее направление downstream*

Таблица 1. Используемая частотная полоса для технологий ADSL, дополнение A.

Аналоговая телефонная услуга для передачи речи использует частотную полосу от 0 Гц до 4 кГц. Асимметричные широкополосные технологии доступа используют свободную частотную полосу выше 4 кГц и, применяя определенные техники модуляции, обеспечивают возможность передачи данных по той же самой паре медных проводов, которые используются для аналоговой речевой услуги. В таблице 1 представлено использование частотной полосы отдельными технологиями DSL, дополнение A (Annex A).

Используемая для DSL частотная полоса разделена на две части:

- *восходящая линия (upstream) – часть спектра, которая используется для передачи данных в направлении от оконечного пользователя к сети;*
- *нисходящая линия (downstream) – часть спектра, которая используется для передачи данных в направлении оконечного пользователя.*

Каждая из этих частей частотной полосы разделена на т.н. тоны (tone) или поднесущие (subcarrier). Ширина каждого тона составляет 4,3125 кГц и служит для передачи определенного числа битов.

2.1 Технология ADSL

Технология, базирующаяся на асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL - Asymetric Digital Subscriber Line), определена в рекомендации G.992.1 (1999.) международного объединения по телекоммуникациям (ITU-T) и представляет собой

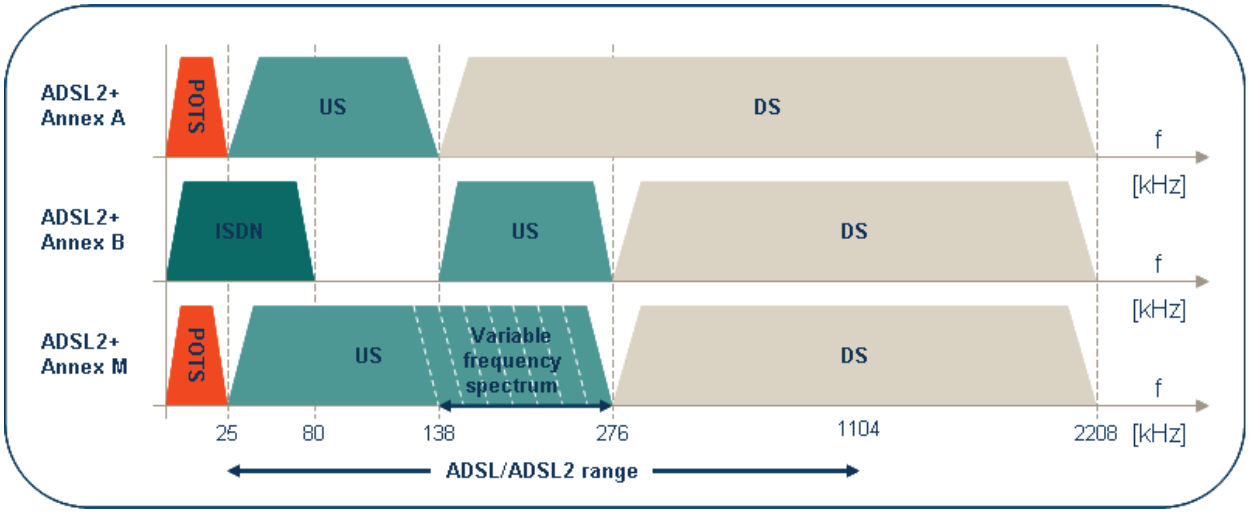

Рис. 1. Частотная полоса ADSL

асимметричную широкополосную технологию доступа, предназначенную для обеспечения услуг частному сегменту рынка. Так как технология ADSL имеет много наследников, она часто обозначается ADSL1.

История ADSL началась в Stanford University и в организациях AT&T Bell Labs, которые в 1992 году развили ADSL из концепта в прототип. После этого, в 1995 году, Национальный Институт Стандартизации США – ANSI, опубликовал первый стандарт для ADSL с обозначением “T1 413 issue I”. Организация ITU-T свою рекомендацию для ADSL (G.992.1) приняла на основании стандарта ANSI из 1999 года.

Первоначально технология ADSL была предназначена для передачи содержаний видео по запросу со скоростью 8Мбит/с в нисходящей линии связи DS (downstream) и 640кбит/с в восходящей линии связи US (upstream). Однако за свой успех технология ADSL обязана большой популярности и распространенности сети Интернет. На телекоммуникационном рынке технология ADSL заняла доминирующее место в качестве технологии, служащей для предоставления услуг быстрого доступа к Интернету.

Именно благодаря тому факту, что ADSL не использует частоты 0,3-25 кГц обычной телефонной услуги (POTS – Plain Ordinaty Telephone Service), или 1-120 кГц цифровой сети интегрированных услуг (ISDN – Integrated Services Digital Network), можно по одной и той же паре медных проводов одновременно реализовать и традиционную речевую услугу, и ADSL услугу. Это значительно упростило предоставление оконечным пользователям нового типа услуги передачи данных (быстрый доступ к Интернету).

На рис.1. представлено распределение частотной полосы для ADSL/2/2+ по сети POTS. Максимальные скорости передачи, обеспечиваемые технологией ADSL, составляют 13,2 Мбит/с в нисходящей линии связи, и 1,5 Мбит/с в восходящей линии связи.

2.2 Технология ADSL2

Технология ADSL2 представляет второе поколение асимметричных широкополосных технологий доступа, она определена ITU-T рекомендацией G.992.3 (2002.). По сравнению с ADSL технологией, ADSL2 вносит улучшения в сегмент скоростей передачи и досягаемости. В рамках технологии ADSL2 определено следующее:

- дополнение к рекомендации, которое определяет расширенную восходящую линию связи (extended upstream), обеспечивающую скорости и до 3 Мбит/с;
- дополнение к рекомендации, которое определяет расширенную досягаемость (extended reach) для определенного значения скорости передачи.

2.3 Технология ADSL2+

Технология ADSL2+ утверждена в 2003 году и определена ITU-T рекомендацией G.992.5. Технология ADSL2+ использует частотный спектр до 2,2 МГц по медной паре проводов, что в два раза больше по сравнению с технологиями ADSL и ADSL2, которые используют спектр до 1,1 МГц. Использование расширенного частотного спектра позволяет технологии ADSL2+ достичь больших скоростей на более коротких медных парах. Максимальные скорости передачи, обеспечиваемые технологией ADSL2+, составляют 28,7 Мбит/с в нисходящей линии, и 1,5 Мбит/с в восходящей линии.На рис. 2. представлено сравнение скоростей передачи в зависимости от длины медной пары проводов для всех трех ADSL технологий. Основной характеристикой ADSL технологий является уменьшение скорости передачи в зависимости от увеличения длины медной пары. Из рисунка видим, что технология ADSL2+ дает лучшие результаты (большие скорости передачи) по медным парам проводов длины менее 2 км, а для медных пар

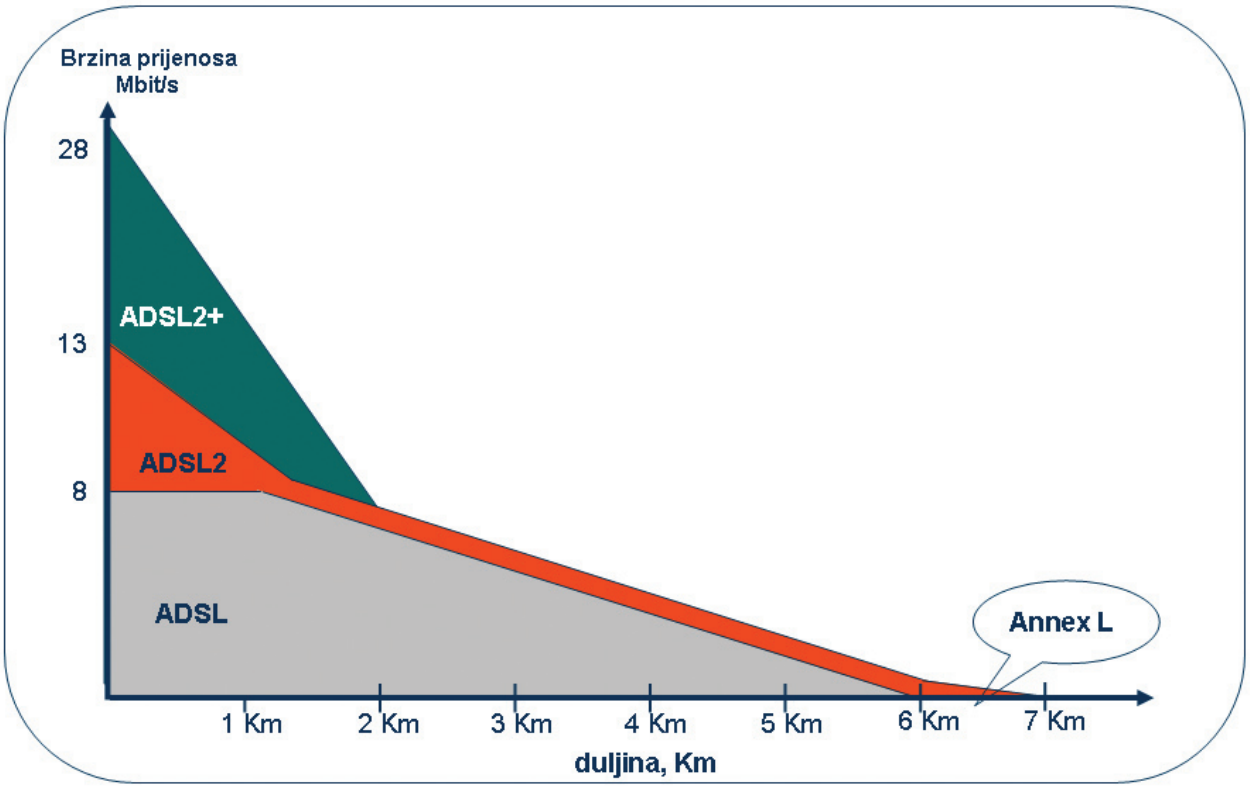

Рис. 2. Скорости передачи ADSL/2/2+

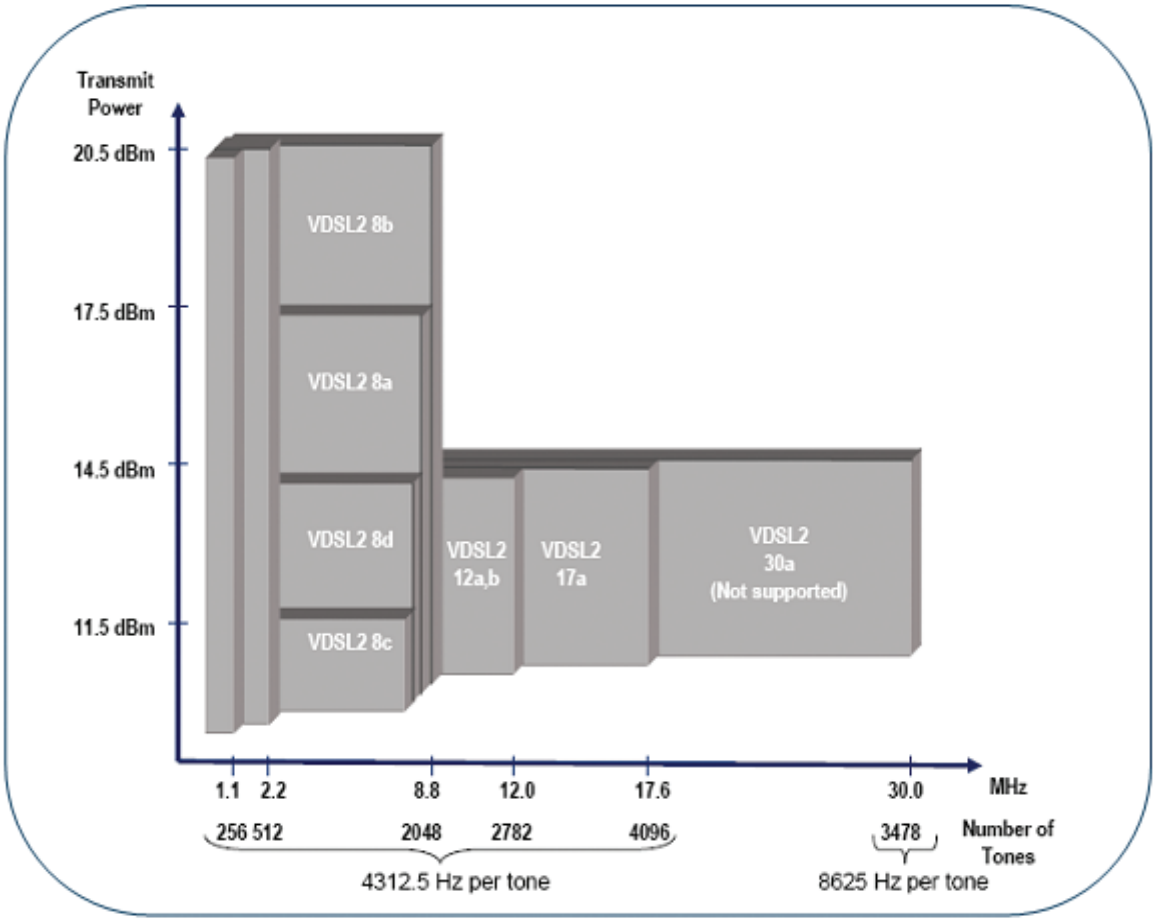

Рис. 3. Профили VDSL2

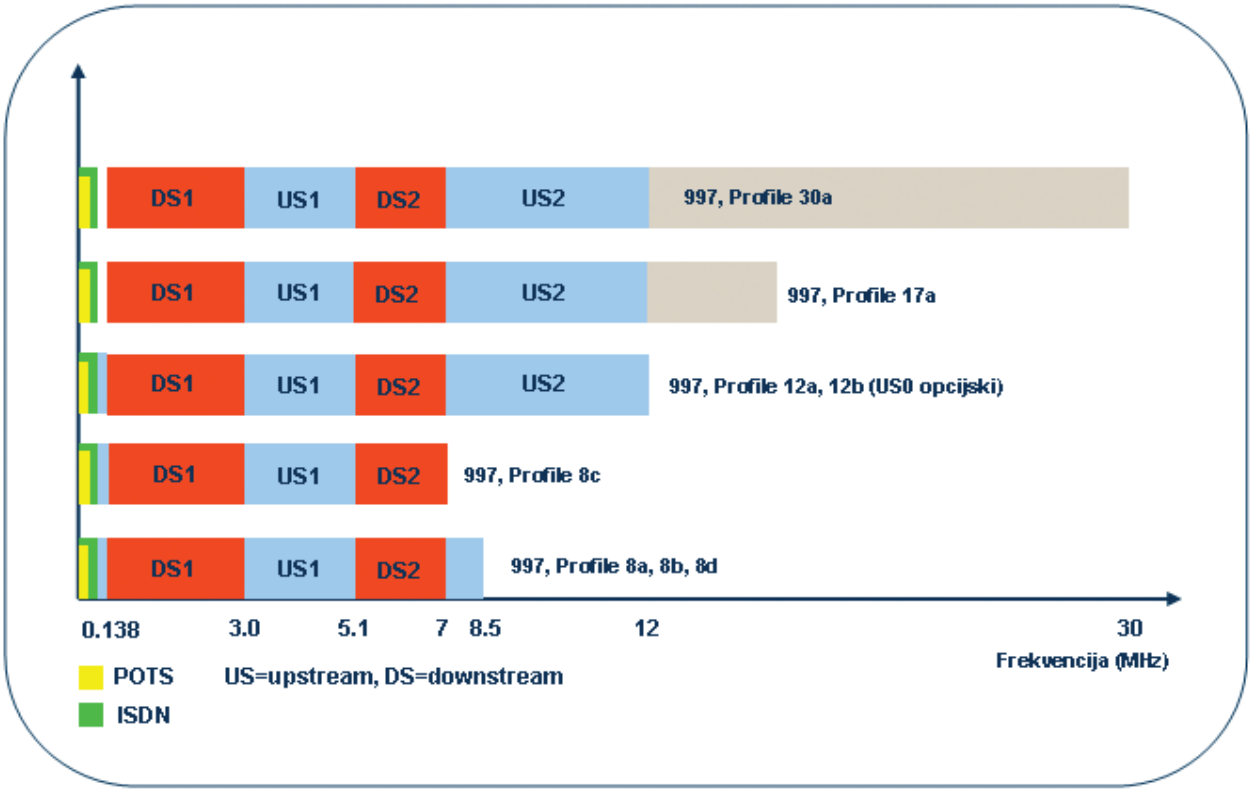

Рис. 4. Профиль ширины полосы при использовании технологии VDSL2 согласно плану ширин полосы 997

проводов длиннее 2 км более пригодна технология ADSL2.

В реальных условиях возможная максимальная скорость передачи зависит не только от длины, но и от качества медной пары, качества соединений, влияний окружающей среды, таких как, например, интерференция и шум.

2.4 Технология VDSL2

Технология VDSL2 (Высокоскоростная цифровая абонентская линия - Very high speed DSL2) определена ITU-T рекомендацией G.992.3, и базируется на стандартах ANSI и ETSI (Европейский институт стандартизации электросвязи). В ITU-T рекомендации G.993.2, характеристики передачи технологии VDSL2 определены различными профилями. Отдельные профили, например, определяют частотный спектр, который используется для передачи данных, мощность передачи, и т.п. На рис. 3. представлены определенные профили VDSL2 и используемый частотный спектр, мощности передачи и число тонов по отдельному профилю. Технологию ADSL можно описать как систему с двумя ширинами полосы, в которой одна часть частотного спектра используется для передачи в направлении сети (восходящая линия связи), а вторая часть используется для передачи в направлении пользователя (нисходящая линия связи). С другой стороны, технология VDSL2 использует больше ширин полосы и для передачи в направлении сети, и для передачи в направлении пользователя, что увеличивает гибкость системы, когда речь идет о скоростях передачи и симметрии данных на восходящей и нисходящей связи. Планирование передачи с двумя ширинами полосы началось в 2000 году с целью удовлетворения требований операторов, связанных с симметричной и асимметричной передачей. Первый из этих планов (Band Plan 998) лучше поддерживает асимметричную передачу, а следующий план (Band Plan 997) эффективнее поддерживает симметричную передачу. Технология VDSL1 поддерживает ширину полосы до 12 МГц, а применение технологии VDSL2 может увеличить ширину полосы до 30 МГц, Рис. 4. Для совместимости этих двух технологий в рамках спектра, для технологии VDSL2 применяется та же самая ширина полосы, т.е. менее 12 МГц. Система, базирующаяся на технологии VDSL2, может использовать до 4096 несущих частот. В зависимости от плана ширины полосы, несущая выделяется или для передачи по нисходящей линии связи, или для передачи по восходящей линии связи. Как и в случае ADSL, нижний уровень спектра выделен услугам POTS и ISDN.

2.5 Дополнения, определяющие стандарты ADSL

Международная организация ITU-T, кроме рекомендаций для ADSL, установила и некоторые дополнения (Annex), определяющие стандарты для спецификации применения технологии ADSL для определенных регионов и применений. Эти документы определяют распределение числа тонов / несущих, и уровень мощности передачи восходящей и нисходящей линией связи. В нескольких следующих абзацах дан краткий обзор отдельных дополнений.

Дополнение A и B
Дополнение A (Annex A) определяет реализацию технологии ADSL по паре медных проводов, используемых для предоставления обычной телефонной услуги, POTS. Поэтому часто обозначается ADSL/POTS, или ADSL2+/POTS. Если линия ADSL определена как дополнение A, для передачи данных используется частотный спектр от 25 кГц до 1,1 МГц. Дополнение A чаще всего используется в Европе, Азии и Северной Америке.
Дополнение B (Annex B) определяет технологию ADSL по паре медных проводов, которые для речевой услуги вместо POTS используют технологию ISDN. Чаще всего используется в Европе.

Дополнение A и Дополнение B определяют
VDSL2 рекомендацию. При чем, если речь идет о рекомендации VDSL2, дополнение A определяет способ реализации в Северной Америке, а дополнение B определяет способ реализации в Европе.

Дополнение C и I
Дополнение C (Annex C) определяет способ реализации ADSL в Японии, который минимально влияет на японский вариант ISDN, TCM-ISDN. Новая версия дополнения C, названная Annex I, по сравнению с дополнением C обеспечивает в два раза большую скорость передачи данных в нисходящей линии связи.

Дополнение L
Дополнение L (Annex L) определено только для рекомендации ADSL2, а часто его также называют удлиненный RE-ADSL2 (Reach Extended ADSL2), т.к. делает возможным применение ADSL2 технологии на парах медных проводов длины большей, чем это обеспечено ASDL2 дополнением A.

Дополнение M
Дополнение M (Annex M) определяет новую спектральную маску для технологий ADSL2 и ADSL2+, что в два раза увеличило число тонов, которые используются для передачи по восходящей линии связи, а в результате, скорости передачи увеличились в два раза. Практическая реализация этого дополнения обеспечивает возможность предоставления оконечным пользователям услуг симметричной передачи данных со скоростями, значительно превосходящими скорости, достигаемые при использовании технологии SHDSL.

3. Основные характеристики технологии DSL

3.1 Модуляция DMT

Технологии передачи ADSL, ADSL2, ADSL2+ и VDSL2 базируются на дискретной многотональной модуляции (DMT - Discrete Multitone).
Модуляция DMT (Рис. 5.) использует тот же принцип,

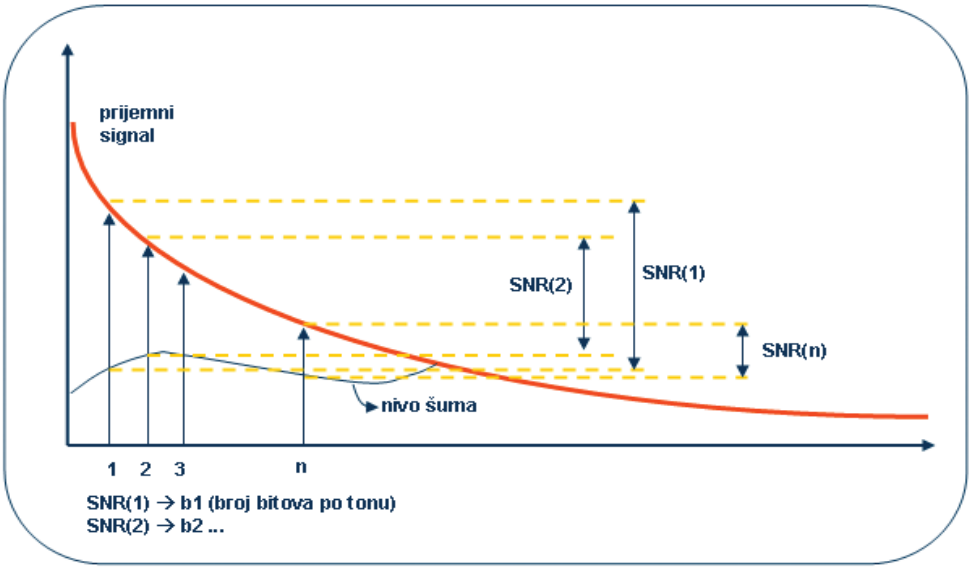

Рис. 5. Модуляция DMT – отношение сигнал-шум определяет число битов по тону

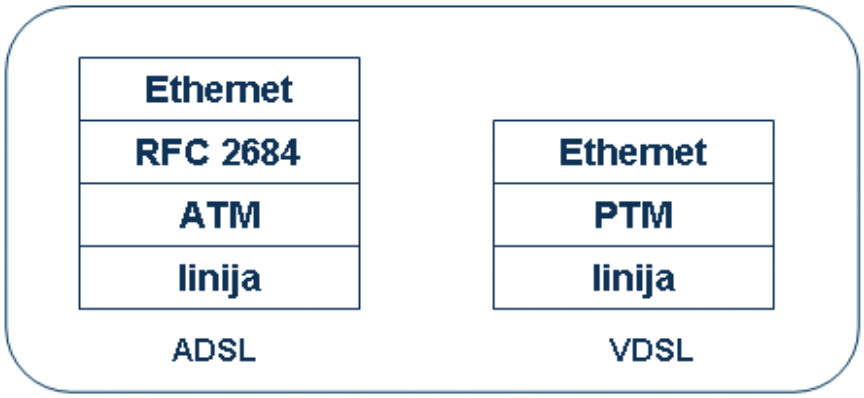

Рис. 6. Стек протоколов ADSL и VDSL2

что и мультиплексирование с ортогональным частотным разделением сигналов (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing), т.е. доступный частотный спектр по медной паре проводов делится на параллельные каналы. Центр каждого канала представлен несущей, модулированной с помощью техники QAM (Квадратурная амплитудная модуляция).

Разница по сравнению с OFDM состоит в том, что при использовании модуляции DMT можно передавать различное число битов по отдельным поднесущим, что зависит от отношения между сигналом и шумом (SNR – Signal Noise Ratio) на определенной частоте. Так как несущие взаимно ортогональные, между ними не может возникнуть интерференция. Число битов, которые могут быть переданы по несущей, изменяется от 1 до 15.

Расстояние между несущими равняется 4,3125 кГц, а в VDSL2 можно использовать и 8,6125 кГц.

Для модуляции в системе DMT используется процедура, названная 2N-point IFFT (Inverse Fast Fourier - обратное быстрое преобразование Фурье). Обратное преобразование Фурье используется в DSL передатчиках, так как в этом случае данные выделены символам, представляющим группу точек в независимых параллельных каналах внутри определенной частоты. В системах DMT сигнал передачи создается во временном интервале и, таким образом, не требуется его фильтрация или модуляция. Именно это является причиной применения процедуры обратного преобразования Фурье, с помощью которой сигнал из частотного домена преобразуется во временной домен. В качестве входных данных для 2N-point преобразования используются группы точек канала N. В системе DMT преобразование Фурье и обратное преобразование Фурье используются согласно известным алгоритмам быстрого преобразования Фурье (FFT)

3.2 ATM или PTM передача

Основные принципы, на которых базируются способы передачи ADSL, ADSL2 и ADSL2+, те же самые, однако принципы передачи с помощью технологии VDSL2 существенно отличаются. Это отличие, по своей сути, является отражением широкого применения сети Ethernet. Конкретно, технология ADSL основывается на асинхронном режиме передачи (ATM - Asynchronous Transfer Mode), который обеспечивает удовлетворительный уровень качества услуги (QoS - Quality of Service), а технология VDSL2 основывается на пакетном режиме передачи (PTM - Packet Transfer Mode), Рис. 6. Пакетная передача заменяет и ATM и RFC 2684 в стеке протоколов (которые, кроме прочего, содержат и AAL5).

Кроме того, единица сегментации в случае технологии VDSL (кодовое слово) большая, чем в случае применения технологии ADSL (ячейка), что также увеличивает емкостную эффективность.

	ADSL	**VDSL**
Величина единицы сегментации	Процент полезной нагрузки в единице сегментации	65 байта (кодовое слово)
Величина единицы сегментации	Процент полезной нагрузки в единице сегментации	1 байт
Процент полезной нагрузки в единице сегментации	**90,6 %**	**98.5 %**

Таблица 2. Сегментация ADSL и VDSL2

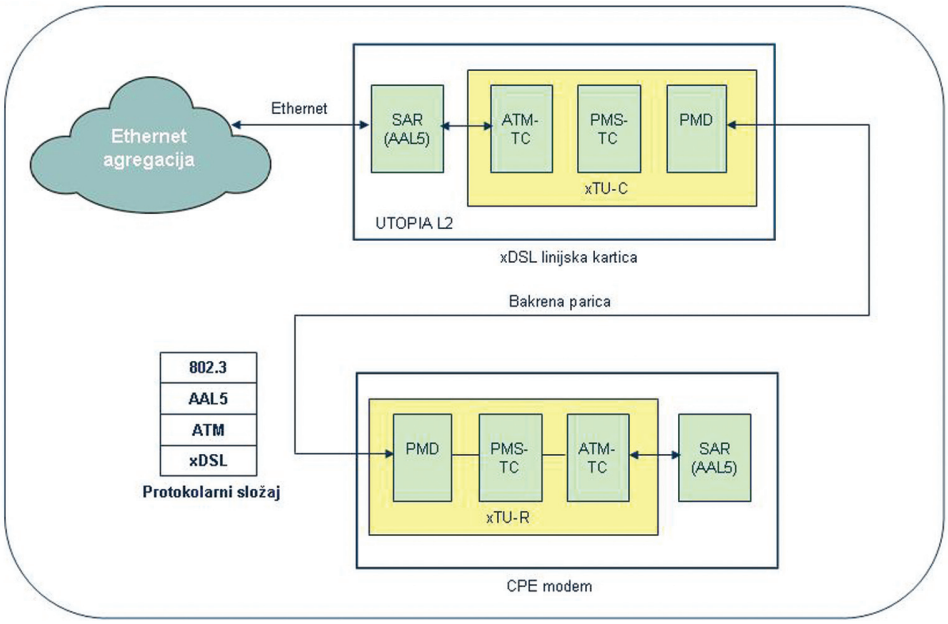

Рис. 7. Логические блоки для xDSL передачи в направлении агрегационной сети Ethernet, при использовании технологии ATM

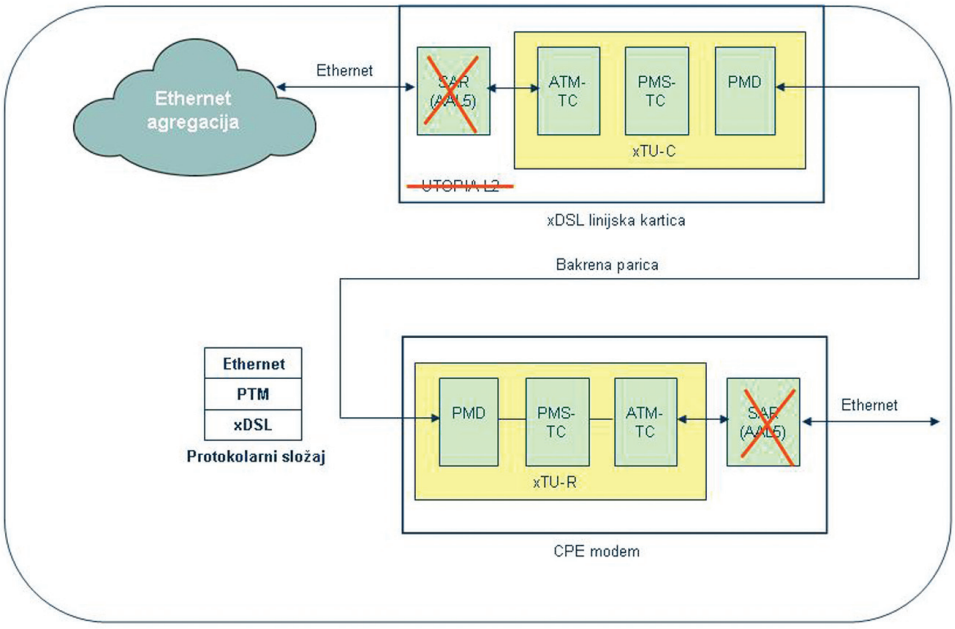

Рис. 8. Логические блоки для xDSL передачи в направлении агрегационной сети Ethernet, если ATM, используемый в качестве протокола второго уровня, заменен режимом PTM

В таблице 2. представлено сравнение полезной нагрузки для технологий ADSL и VDSL2 в процентах. В настоящее время для передачи Ethernet фреймов посредством технологий ADSL/2/2+, чаще всего, используется IP-мультиплексор доступа цифровых абонентских линий (IP DSLAM - IP Digital Subscriber Line Access Multiplexor) в мостовом режиме работы. В мультиплексоре доступа Ethernet фреймы отображены в ATM уровень адаптации 5 (AAL5) и инкапсулированы в ATM ячейки прежде, чем будут переданы по физической DSL линии связи. На рис. 7. представлены логические блоки для ADSL/2/2+ передачи между устройством пользователя (CPE модем) и линейной платой в DSL узле доступа. Блок сегментации и сборки (SAR - Segmentation and Reassembly) обрабатывает Ethernet фреймы. ATM ячейки передаются посредством универсального ATM физического интерфейса (UTOPIA - Universal Test and Operations PHY Interface for ATM) к прикладному транспортному интерфейсу с сокращенным наименованием ATM TPS-TC (Transport Protocol-Specific – Transmission Convergence). Интерфейс TSP-TC иногда обозначается аббревиатурой ATM-TC, в контексте блока xTU-C (xDSL transceiver unit – central office – xDSL блок приемопередатчика – центральный офис). Недостатком инкапсуляции Ethernet фреймов в ATM ячейки (Ethernet - уровень AAL5 - ячейки ATM) является то, что Ethernet фреймы величины 64 октета должны занять две ячейки. А именно, ATM ячейки могут передавать максимально 48 октетов, поэтому Ethernet фрейм разделяется на две части, одна из которых содержит 48 октетов, а другая 16 октетов. При максимальной величине Ethernet фрейма, составляющей 1518 октетов, ATM заглавие достигает

160 октетов, т.е. почти 10% емкости передачи. Стандарт Института инженеров по электротехнике и электронике, IEEE 802.3ah, определил особый интерфейс - Ethernet TPS-TC, который функционирует на основании 64/65-октетной инкапсуляции для Ethernet применения, с большей используемостью, чем в ATM системах. Когда речь идет о технологии VDSL1, международное объединение телекоммуникаций ITU-T специфицировало иной, обобщенный режим пакетной передачи (PTM – Packet Transfer Mode). В спецификации организации ITU-T интерфейс TPS-TC обозначен аббревиатурой PTM-TC. Стандарты, на которых основывается технология VDSL2, полностью поддерживают 64/65-октетную инкапсуляцию, базирующуюся на PTM. Рабочая группа стандарта IEEE 802.3ah ввела правило, по которому PTM инкапсулирует Ethernet фреймы до их модуляции в DSL приемопередатчике. Рабочая группа ITU-T SG15/Q4 определяет PTM для VDSL2, а также для ADSL2+ и симметричной высокоскоростной цифровой абонентской линии (SHDSL). Кроме того, усовершенствована 64/65-октетная инкапсуляция и добавлена поддержка для не-Ethernet пакетов, которые короче 64 битов. Поэтому при использовании PTM можно элиминировать ATM как носителя на втором уровне (Рис. 8.).

3.3 Дуальное запаздывание (latency) в технологии VDSL2

На рис. 9. представлена эталонная модель приемопередатчика VDSL2. Уровень TPS-TC действует в качестве уровня адаптации между транспортными протоколами и цифровой абонентской линией.Ethernet okviri ili ATM ćelije su Ethernet фреймы или ATM ячейки являются входными данными для уровня TPS-TC. Кроме прочего, уровень TPS-TC обеспечивает и транспортные механизмы, инкапсуляцию фреймов или ячеек, а также определяет скорости на входе и выходе.
Следующее, на что сосредоточено внимание, это уровень физической среды PMS-TC (Physical Media-Specific – Transmission Convergence), который поддерживает функцию инициального запаздывания (latency path functions). С помощью этой функции (вместе с решетчатым кодированием – Trellis code) увеличивается степень защиты от ошибок. Размещение данных во фреймы также выполняется на уровне PMS-TC.
В системах ADSL2+ общепринята реализация только одного соединения с функцией инициального запаздывания (one latency path). Однако речь не идет об ограничении стандарта. Интерливинг или

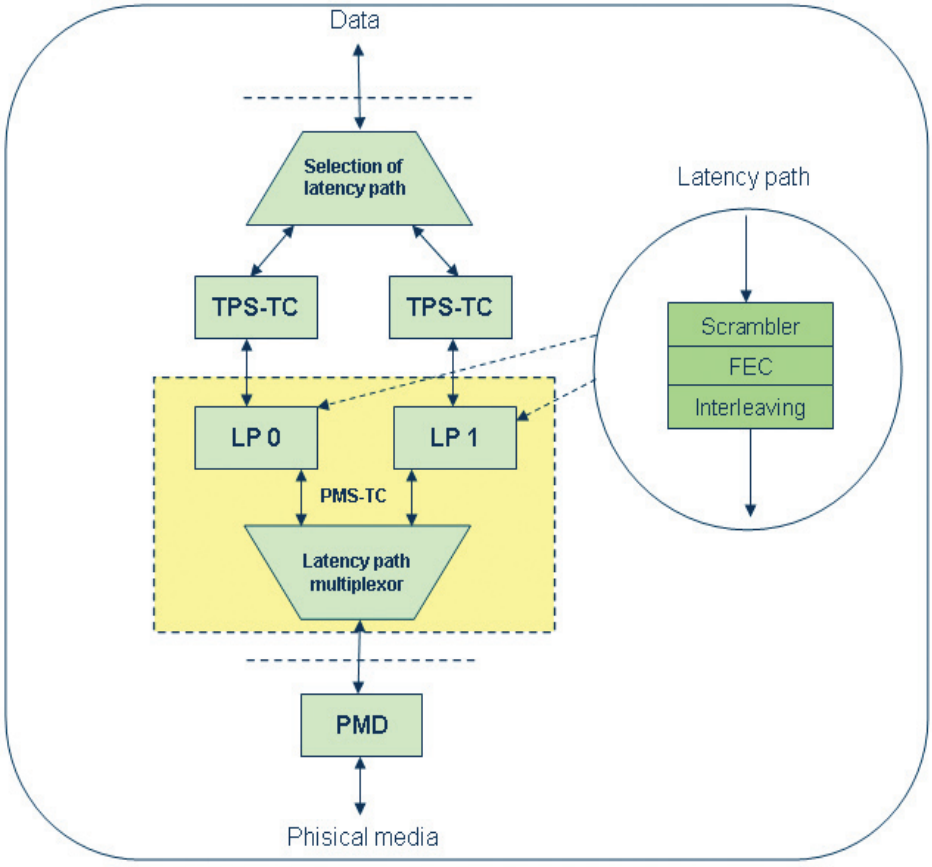

Рис. 9. Эталонная модель приемопередатчика VDSL2

чередование (interleaver) используется вместе с Reed-Solomon кодом, действуя в качестве мощного фильтра ошибок. Однако интерливинг вносит запаздывание, а так как существует только одно соединение с функцией инициального запаздывания и используется интерливинг, каждая услуга подлежит одинаковому времени запаздывания.
Если речь идет о таких услугах как, например, видео, которые должны быть защищены от возможных периодических серий неисправных данных, важно обеспечить большую глубину интерливинга (interleaver depth). Последствием такого способа работы является значительное запаздывание. Видео услуга не чувствительна на запаздывание, однако чувствительна на дрожание сигнала (jitter). С другой стороны, речевые услуги и игры не требуют значительную защиту от ошибок, но весьма чувствительны на запаздывание.

Решение с дуальным инициальным запаздыванием (dual-latency) обеспечивает и дополнительное соединение на уровне PMS-TC, которое поддерживает эту функцию. Для передачи данных, которые должны быть защищены од ошибок, используется соединение с интерливингом, а для данных, чувствительных на запаздывание, используется соединение без интерливинга или с минимальным интерливингом. И, наконец, серии данных, передаваемые по соединениям с инициальным запаздыванием, мультиплексируются в одинарный поток битов, который затем передается в направлении физического уровня, зависимого от среды передачи данных (PMD - Physical Media Dependent), и там модулируется. Число битов, которые перенимаются из соединения с инициальным запаздыванием и помещаются в один DMT фрейм, определяется в течение фазы инициализации DSL линии. С уровня PMD сигнал направляется к аналоговой части системы. Операторы высказали потребность в функции двойного инициального запаздывания в системах VDSL2, чтобы и в случае передовых услуг обеспечили их высокое качество.

3.4 Мощность

Технология VDSL2, в основном, применяется для коротких абонентских шлейфов, перемещая узлы DSLAM ближе к пользователям. Поэтому предусматривается все более значительное применение топологии FTTCab (Fiber to the cabinet – оптоволокно до кабинета) в сетях операторов. Однако если речь идет о таких услугах, как ADSL/2/2+, которые используют ту же самую группу кабелей, что и VDSL2, может появиться снижение качества передачи в нисходящей линии из-за перекрестных помех (crosstalk) между парами проводов в системах VDSL2. В таком случае может использоваться контроль мощности для достижения удовлетворительного качества нисходящего VDSL2 сигнала. Это снижает влияние перекрестных помех из систем VDSL2 на системы ADSL2+, при чем качество нисходящего VDSL2 сигнала не уменьшается.

Если различные VDSL2 пользовательские модемы (CPE - Customer Premises Equipment) находятся на различных удаленностях от узла доступа (DSLAM), сигнал передачи пользователя, расположенного ближе к узлу доступа, генерирует помехи в передаче по восходящей линии связи остальных удаленных пользователей, так называемый феномен “near-far”, Рис. 10.

Решение этой проблемы находится в уменьшении мощности восходящего сигнала пользователей, которые расположены вблизи узла доступа. Чтобы постигнуть одинаковую емкость восходящей связи для всех одинаково удаленных от узла пользователей, используется определенный алгоритм.

3.5 Решение DSL компании Эрикссон – EDA

Решение компании Эрикссон для ADSL/2/2+ и VDSL2 доступа названо EDA. Решение EDA IP DSLAM поставляется как целостная система единственной расширяемости, базированная на 12-линейных модулях. Решение IP DSLAM основывается на технологии Ethernet (TR-101). В сущности, IP DSLAM завершает DSL линии и агрегирует нагрузку в направлении сети доступа, используя Ethernet интерфейс к агрегационной сети.
Решение IP DSLAM согласовано со всеми значимыми DSL стандартами, а способность совместной

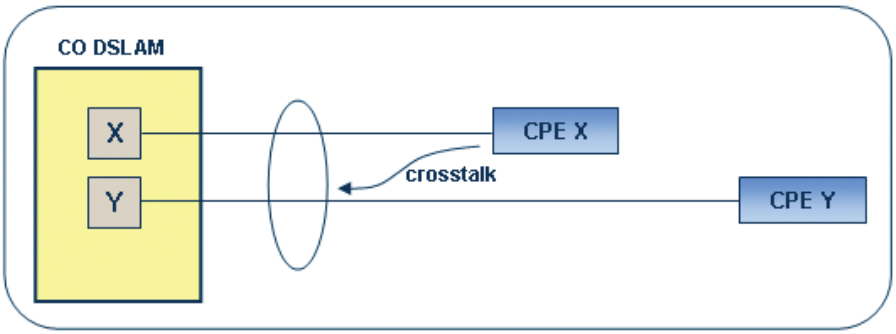

Рис. 10. Влияние перекрестных помех

Рис. 11. EDN312 и EDN612 – Решения Эрикссон для ADSL2+ и VDSL2

работы постоянно проверяется и согласовывается с запросами операторов. При этом DSL кодирование линий включено в один из пакетов программного обеспечения. EDA поддерживает технологию VDSL2, а также асимметричные технологии ADSL, ADSL2 и ADSL2+, включая:

- VDSL2 Annex A для Северной Америки (POTS и ISDN)
- VDSL2 Annex B для Европы (POTS и ISDN)
- ADSL/2/2+ Annex A для поддержки POTS
- ADSL/2/2+ Annex B для поддержки ISDN
- ADSL2+ Annex M
- ADSL2 Annex L

Решение IP DSLAM EDN612 (Рис. 11.), которое поддерживает 12 линий, является основой новой системы EDA 1200, специализированной для VDSL2 нагрузки с возможностью поддержки и нагрузки ADSL/ADSL2/ADSL2+. Модуль EDN612 агрегирует нагрузку с 12 DSL линий в направлении гигабитного Ethernet интерфейса.
Система EDA 1200 обеспечивает возможность контроля мощности на линии, а в результате экономится и до 25% на уровне целой системы IP DSLAM. Самая значительная экономия достигается при максимальных скоростях передачи.

Система EDA 1200 поддерживает PSD оптимизацию мощности сигнала. Эта возможность используется, если оператор обладает и централизованным, и выносным оборудованием. Решение предлагает шесть возможностей: два для стандартного оборудования, два для центрального оборудования и два для оборудования, размещенного на удаленной позиции.

4. Архитектура широкополосных сетей доступа

В течение последних нескольких лет произошло мощное развитие DSL рынка и услуг, которые используют DSL в качестве технологии передачи. Главным характерным признаком этого развития является стремление предоставить оконечным пользователям посредством одной DSL линии одновременно несколько услуг, а именно: доступ к

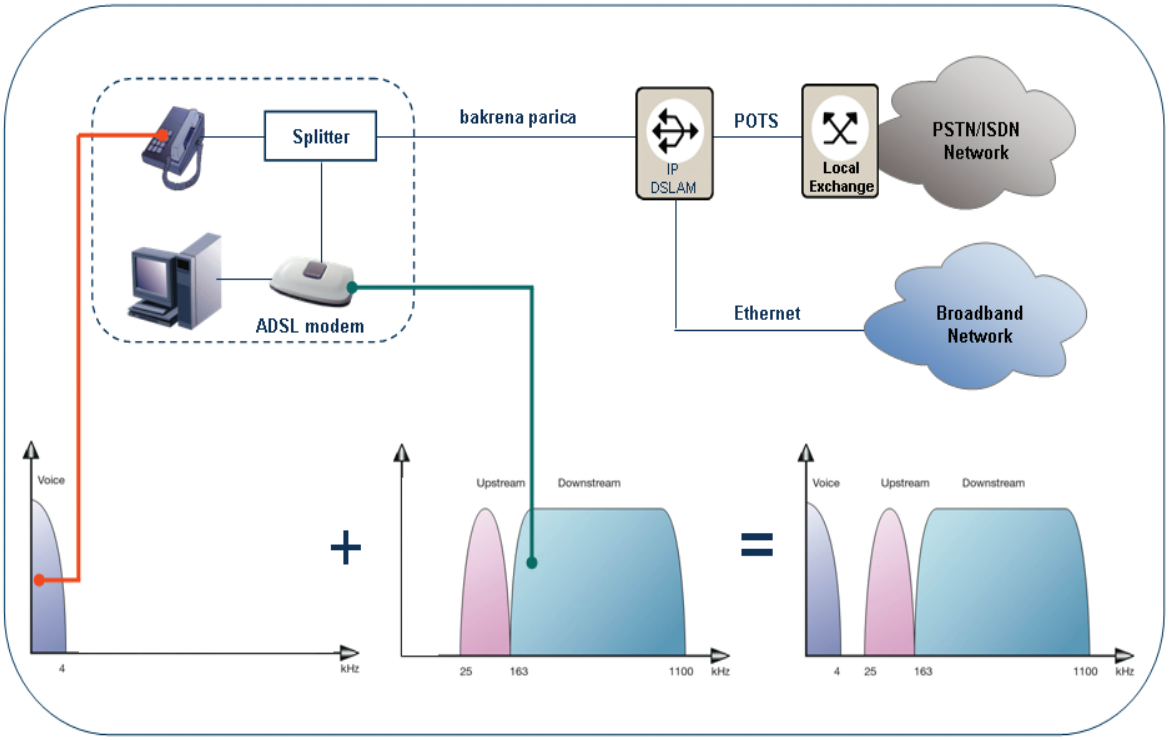

Рис. 12. Архитектура DSL

Интернету, передачу речи посредством Интернет-протокола (Voice over IP), IP телевидение, видео по запросу и т.д. Такие потребности рынка навязывают новые запросы к сетевым DSL узлам с точки зрения линейной скорости передачи и обеспечения качества услуги.
Упрощенная архитектура широкополосных ADSL сетей представлена на Рис. 12.
Самая большая часть современных широкополосных узлов доступа, DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexor), размещена на позициях с существующей телефонной инфраструктурой операторов (телефонные станции, абонентские узлы для POTS и ISDN). Такая позиция часто называется центральным офисом (CO – Central Office).

На рис. 12. представлена архитектура сети доступа, которая обеспечивает возможность предоставления оконечным пользователям услуги быстрого доступа к сети Интернет посредством технологии ADSL. Оборудование пользователя (персональный компьютер) посредством Ethernet интерфейса соединено с ADSL модемом. Кроме ADSL модема оконечному пользователю требуется устройство, которое служит для объединения, или разделения ADSL и аналогового телефонного сигнала. Такое устройство называется сплиттером или фильтром. В исходящем направлении сплиттер объединит 4 кГц аналоговый POTS сигнал с ADSL сигналом (25 кГц до 1,1 МГц) и такой сигнал направит по медной паре проводов к оператору.

На стороне оператора такой комбинированный сигнал сначала поступает в фильтр в центральном офисе, который выделит аналоговый (POTS) компонент сигнала и прозрачно направит его к сети PSTN. Фильтр в центральном офисе чаще всего является частью узла DSLAM. Фильтр в центральном офисе пропустит ADSL компоненту сигнала в направлении узла DSLAM, где завершается ADSL соединение, а нагрузка передачи данных агрегируется на Ethernet (или в старых вариантах ATM) интерфейсе в направлении широкополосной сети. Максимальная возможная скорость передачи данных зависит, кроме прочего, и от длины медной пары проводов между пользовательским ADSL модемом и узлом DSLAM.

4.1 Архитектура широкополосных сетей согласно DSL форуму

Традиционные широкополосные сети доступа базируются, в основном, на технологиях ADSL и ATM. Топология таких сетей определена в технических рапортах TR-025 и TR-059 форума DSL. Однако архитектуры TR-025/TR-059 не могут обеспечить среду для предоставления передовых интерактивных услуг, таких как, например, IP телевидение или видео на запрос, для которых требуются механизмы многоадресной передачи сигнала (multicast) и большие скорости передачи данных. Поэтому форум DSL определил новый технический рапорт TR-101. Рапорт TR-101 определяет сценарии миграции архитектуры, базированной на ATM, в направлении архитектуры, базирующейся на Ethernet. В рамках TR-101 определены запросы для перевода протоколов, качества услуг, multicast –многоадресных сессий, надежности и системы эксплуатации, администрирования и обслуживания (OAM – Operations Administration and Maintenance), основанной на технологиях Ethernet и IP.

Поставщики DSL услуг стараются внести в свой портфель и передовые услуги в комбинации с основным доступом к Интернету. Речь идет о видео услугах, об играх (развлекательных содержаниях), видео и видео конференции, VoIP, а также об услугах для деловых пользователей (например, Layer 2 VPN и IP VPN). Многие из этих услуг требуют значительно высший уровень DSL скоростей передачи по сравнению с теми, которые обычно достигаются в рамках ADSL системы. Самым надежным способом увеличения уровня DSL скоростей передачи является уменьшение удаленности между устройствами ATU-C (DSLAM) и ATU-R (CPE модем), что подразумевает

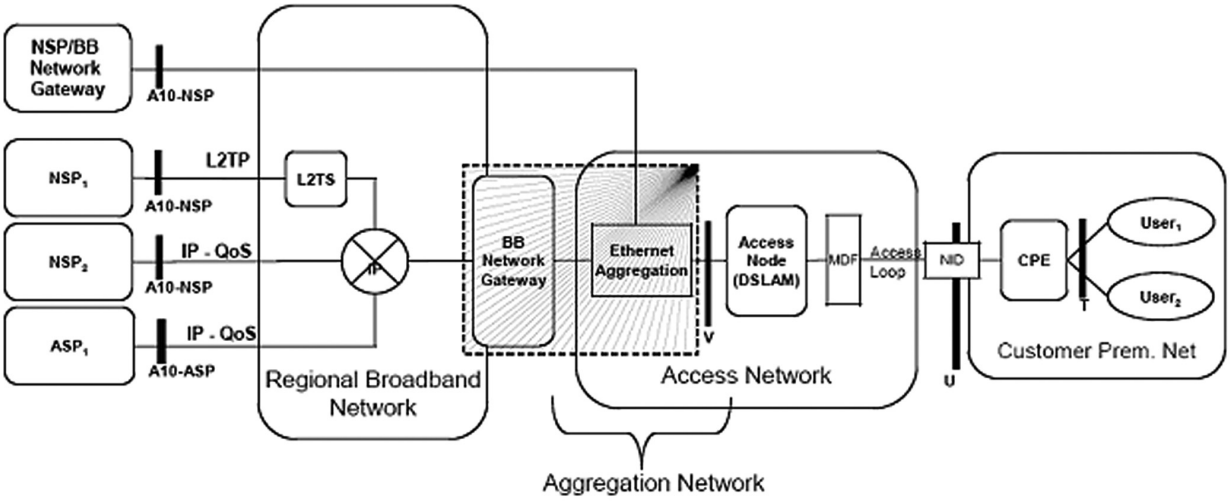

Рис. 13. Архитектура широкополосных сетей доступа согласно TR-101

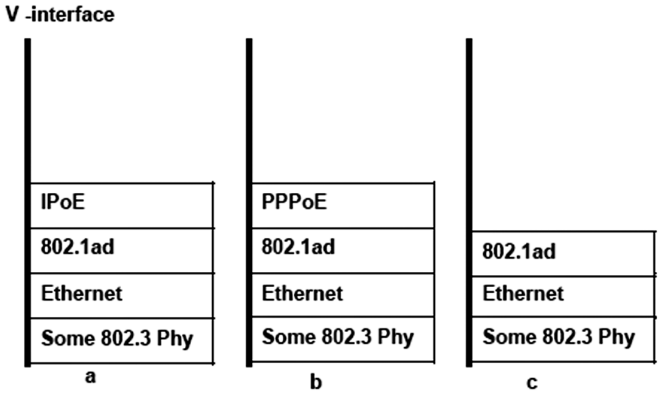

Рис. 14. Стеки протоколов V-интерфейса

большую плотность узлов доступа. Число узлов доступа в сети поставщика услуг увеличится и в случае перемещения узлов доступа поближе к удаленным пользователям.

Архитектура широкополосных DSL сетей, определенная техническим рапортом TR-101 форума DSL, представлена на Рис. 13.

Роль и функциональность узла доступа DSLAM согласно этой архитектуре определена интерфейсами в направлении агрегационной сети (интерфейс V) и в направлении оконечных пользователей (интерфейс U).

4.2 V-интерфейс

V-интерфейс определяет стек протоколов в направлении агрегационной сети. Основные требования к V-интерфейсу определяются тремя сегментами:

- агрегация нагрузки (Traffic Aggregation);
- распознавание класса услуг (Class of Service Distinction);
- изоляция и возможность трассировки оконечного пользователя (User Isolation and Traceability).

Основное назначение V-интерфейса это агрегация нагрузки оконечных пользователей к сети услуг. Так как целевая TR-101 архитектура базируется на технологии Ethernet, агрегационный (V) интерфейс в DSLAM узле доступа также базирован на технологии Ethernet. Стандартным механизмом отделения/изоляции нагрузки в Ethernet сетях является использование VLAN (виртуальная ЛВС) маркировки метками (tag), что определено в стандарте IEEE 802.1Q, а усовершенствовано в стандарте IEEE802.1ad. VLAN маркировка делает возможным группирование нескольких потоков нагрузки (генерированных оконечными пользователями) на агрегационном интерфейсе, и эта группа получает единственный в сетевом домене VLAN идентификатор (например, VLAN ID=100). Какую-то другую группу потоков нагрузки можно агрегировать на том же физическом интерфейсе, только этой группе выделяется новый VLAN идентификатор (например, VLAN ID=200), т.е. идентификаторы служат для распознавания каждой из групп нагрузки в агрегационной сети.

Распознавание класса услуг реализовано с помощью трех битов внутри Ethernet фрейма, а определено согласно стандарту IEEE802.1p. Этот механизм позволяет выделение каждой VLAN группе определенного приоритета в рамках сетевого домена и обеспечивает соответствующее качество услуги.

4.3 U-интерфейс

U-интерфейс определяет стек протоколов в направлении оконечного пользователя. На физическом уровне U-интерфейс поддерживает следующие технологии:

- ADSL1 – ITU-T G.992.1
- ADSL2 – ITU-T G.992.3
- ADSL2+ – ITU-T G.992.5
- VDSL2 – ITU-T G.993.2

- связывание многократных DSL пар (Bonding of multiple DSL pairs) – ITU-T G.Bond [ATM транспорт (G.998.1), Ethernet транспорт (G.998.2)]

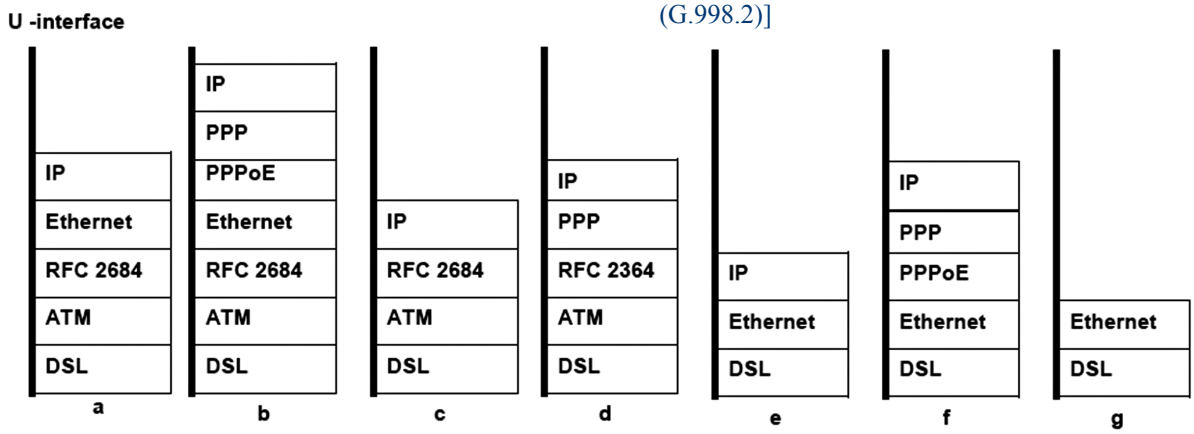

Рис. 15. Стеки протоколов U-интерфейса

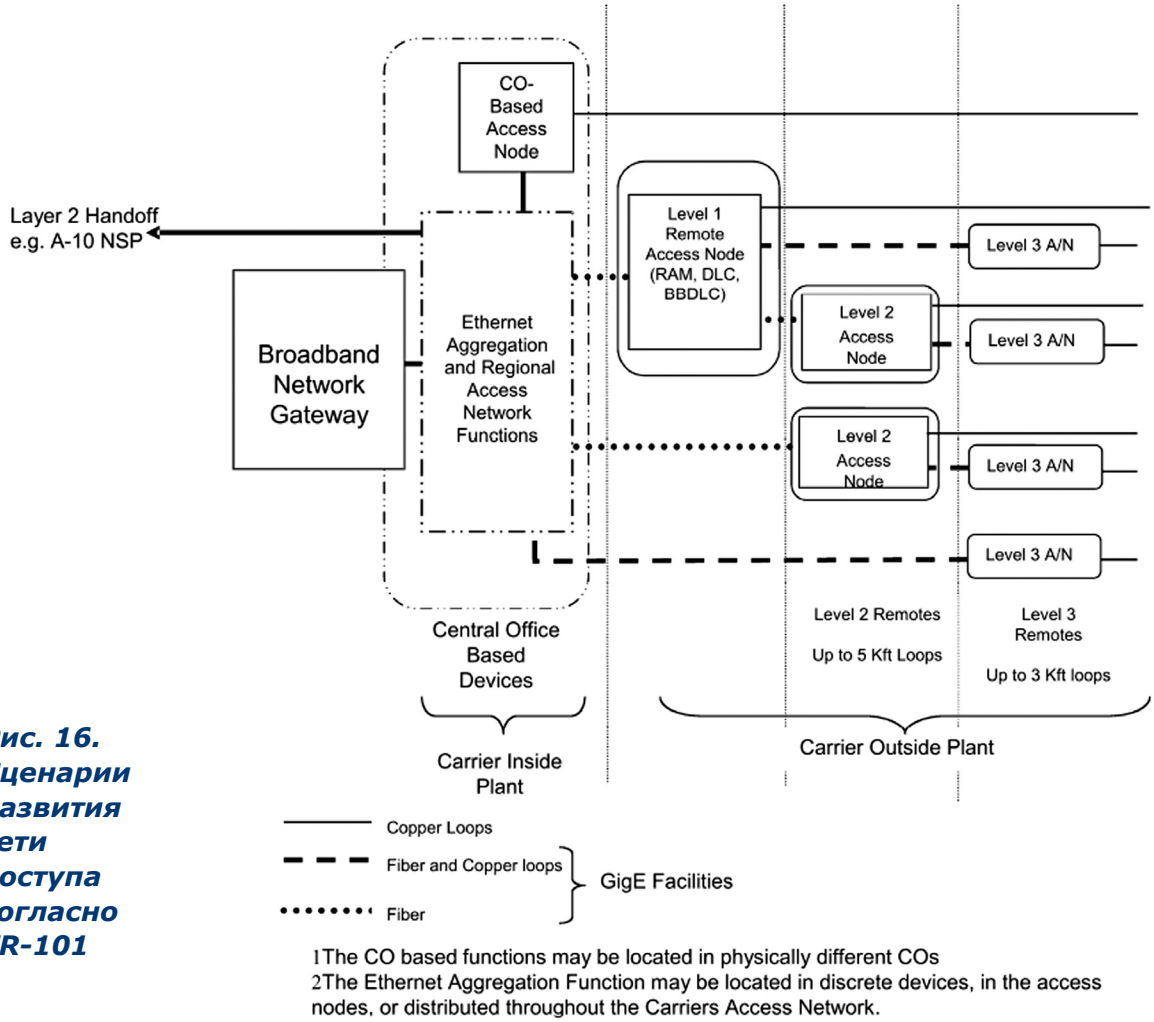

Рис. 16. Сценарии развития сети доступа согласно TR-101

Определено семь стеков протоколов, относящихся на U-интерфейс, которые представлены на рис. 15. Стеки от “a” до “d” определены уже в техническом рапорте TR-43 и используют ATM в качестве транспортной технологии. Стеки протоколов от “e” до “g” представляют собой сценарии, в которых поддерживается непосредственная Ethernet инкапсуляция в шлейфе доступа, например, для VDSL2 используется технология PTM.
Узел доступа DSLAM служит для обеспечения возможности перевода стеков U-интерфейса на стеки протоколов V-интерфейса.

4.4 Топологии сетей доступа с технологией DSL

Как уже было упомянуто во введении, новые услуги (например, IPTV, VoD) увеличивают запросы к скорости передачи данных в сети доступа и до нескольких десятков Мбит/с на оконечного пользователя. Однако из сказанного в предыдущей части статьи видим, что одним из ограничивающих факторов при увеличении скорости передачи в технологии DSL является длина медной пары проводов. Поэтому потребности в больших скоростях передачи непосредственно повлияют на топологию сети. На рис. 16. представлены четыре возможных сценария развития сети доступа, определенные в техническом рапорте TR-101:

- Уровень центрального офиса (CO level)
- Уровень N1 (Level 1)
- Уровень N2 (Level 2)
- Уровень N3 (Level 3).

Эти четыре сценария отличаются друг от друга по нескольким критериям:

- длина абонентского шлейфа (удаленность оконечного пользователя от узла доступа);
- число оконечных пользователей, которым может быть предоставлена услуга;
- возможности многоадресной передачи (multicast);
- избыточность;
- потребление электроэнергии.

В таблице 3. дан суммарный обзор сценариев по отдельным критериям:

Уровень узла согласно TR-101	CO	N1	N2	N3
Максимальная длина шлейфа	до 5,5 км	до 3,8 км	до 1,5 км	до 900 м
Число абонентов	до нескольких тысяч	от нескольких сотен до нескольких тысяч	нескольких десятков до нескольких сотен	несколько десятков
Запросы к пропускной способности многоадресной нагрузки (multicast)	очень большие	очень большие	средние	средние
Избыточность	большая	большая	средняя	малая
Эффективность потребления электроэнергии	малая	большая	большая	большая (возможностьд истанционного электропитания

Таблица 3. Сценарий развития сети доступа по отдельным критериям

Узлы доступа ADSL/2/2+ чаще всего используются при развитии сети на уровне CO, а узлы доступа VDSL2 используются на остальных трех уровнях. Однако, в случае большой плотности абонентов, не исключена возможность использования и узла доступа ADSL2+ на остальных трех уровнях.

4.5 Архитектура широкополосных сетей, основанных на технологии VDSL2

В предыдущей главе представлены сценарии развития сети согласно TR-101. В данной главе дается краткий обзор сценариев, пригодных для развития сетей доступа, базирующихся на технологии VDSL2.

Технология VDSL2 вносит два значительных преимущества в развитие широкополосных сетей доступа:

- в технологическом смысле: сдвиг в направлении архитектуры, которая полностью базируется на технологии Ethernet (технология ADSL использует ATM на участке DSLAM – CPE модем);
- в смысле топологии: узел DSLAM размещен ближе к оконечному пользователю.

Стандарт VDSL2 определяет несколько различных профилей, описанных в главе 2., при чем каждый профиль соответствует определенному сценарию развития услуг, базирующихся на технологии VDSL2. Из аспекта топологии сети можем определить следующие VDSL2 сценарии топологии:

- оптоволокно до удаленного узла (FTTrn - Fiber to the remote node): узел VDSL2 DSLAM находится в удаленном узле, чаще всего, наряду с существующим телекоммуникационным оборудованием для предоставления POTS или ISDN услуг;
- оптоволокно до кабинета (FTTCab - Fiber to the cabinet): узел VDSL2 DSLAM находится в размещенном на открытой местности кабинете и оптоволокном соединен с Ethernet/IP агрегационной сетью;
- оптоволокно до здания (FTTB - Fiber to the building): узел VDSL2 DSLAM находится на локации оконечного пользователя, например, в подвале здания.

VDSL2 профили 8a-8b и 12a-12b используются в топологии FTTrn. Профиль 17a, чаще всего, используется в топологии FTTCab, а профиль 30a применяется в топологии FTTB. При этом важно подчеркнуть, что каждый из профилей обеспечивает возможность предоставления услуг POTS и ISDN, т.е. не использует частотный спектр этих классических услуг.

В таблице 4. представлены основные характеристики профилей 8b, 17a и 30a.

На рис. 17. представлена измеренная скорость передачи для системы Эрикссон EDA1200 VDSL2, профили 8a, 12a и 17a, при чем в течение процесса измерения на наблюдаемой паре проводов имитирован типичный шум перекрестных помех 20 VDSL2 системы.
Очевидно, для реализации больших скоростей передачи требуется более короткий абонентский шлейф. Это подразумевает размещение узлов DSLAM поближе к оконечным пользователям, а также

VDSL2 профиль	8b	17a	30a
Максимальная мощность передачи нисходящего потока (dBm)	+20.5	+14.5	+14.5
Максимальная мощность передачи восходящего потока (dBm)	+14.5	+14.5	+14.5
Разнос поднесущих (кГц)	4.3125	4.3125	8.625
Минимальная действительная скорость потока данных (Мбит/с)	50	100	200
TR-101 уровень	2	3	3
Типичное применение	*Удаленный узел*	FTTN	FTTB

Таблица 4. Профили VDSL2

использование оптоволоконной инфраструктуры для передачи данных к агрегационной сети.

5. Вывод

Технология ADSL2+ развивается как широкополосная основа для частных и деловых пользователей. Одновременно промышленность подготавливается и к следующему шагу на пути развития технологии DSL – технологии VDSL2. Большая ширина полосы, обеспечиваемая технологией VDSL2, позволяет операторам телекоммуникационных систем возможность предоставления передовых услуг (например, несколько IPTV каналов) по существующей инфраструктуре медных пар проводов.
Стандарт VDSL2 может получить очень широкое применение, особенно в случае осуществления лучших характеристик передачи по длинным абонентским шлейфам (более длинным, чем использованные для технологии VDSL1) вследствие развития технологии ADSL2+, а также по коротким абонентским шлейфам вследствие развития технологии VDSL1. Может быть самым важным аспектом стандарта VDSL2 является использование Ethernet в качестве технологии для мультиплексирования (64/65 инкапсуляция) на линии пользователя. Элиминация ATM в этой фазе значит, что архитектура доступа упрощена, и что устанавливается целостная Ethernet инфраструктура из конца в конец сети, которая использует VLAN в качестве механизма для поставки услуг в целой сети. Непосредственная постигаемая при этом выгода это сниженные затраты обслуживания сети и управления сетью.

Так как технология VDSL2 основывается на рекомендациях, действительных и для технологии VDSL1-DMT, и для технологии ADSL, она спектрально совместима с существующими услугами, а также с услугами, базирующимися на технологии ADSL/2/2+.

В течение последних нескольких лет компания Эрикссон большое внимание посвящала развитию изделий и решений в сегменте широкополосных

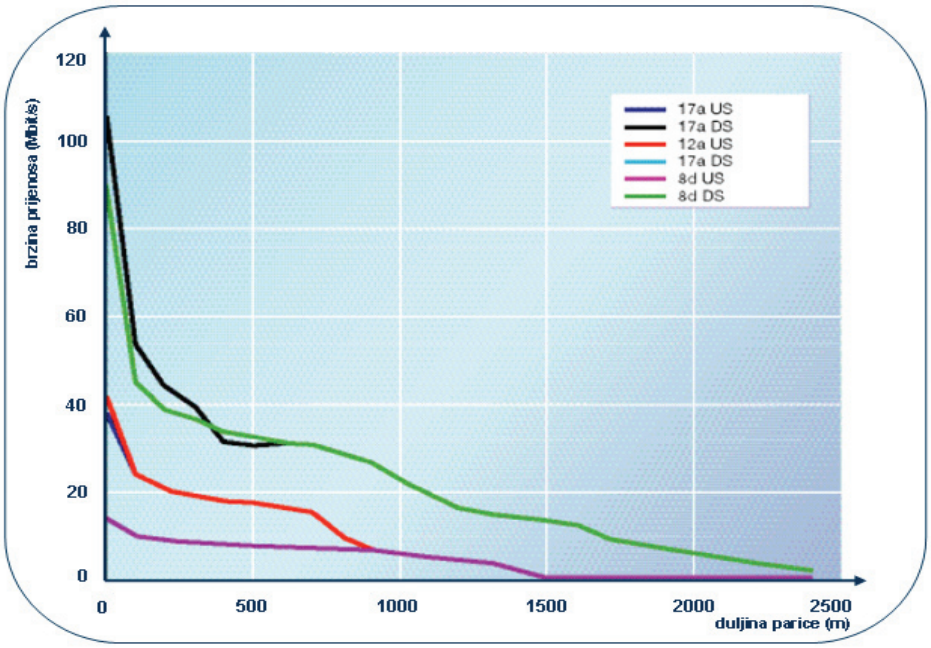

Рис. 17. Скорости передачи VDSL2 в зависимости от профиля

сетей, с целью создания мощной позиции на рынке. Реализацией новых технологий в своих изделиях, таких как ADSL2+ и VDSL2, а также применением новых архитектур в таких решениях, как IMS или FTTx, портфель компании Эрикссон расширен и в сегменте, обеспечивающем возможность введения широкополосных технологий в существующие телекоммуникационные сети и предоставления новых мультимедийных услуг оконечным пользователям, а доступ к этим услугам возможен в любое время, на любом месте и с любого терминала.

6. Список сокращений

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line
Асимметричная цифровая абонентская линия
ATM Asynchronous Transfer Mode
Асинхронный режим передачи
BRAS Broadband Remote Access Server
Сервер широкополосного удаленного доступа
CO Central Office
Центральный офис
CPE Customer Premises Equipment, CPE
Устройство пользователя
DS Downstream
Нисходящая линия связи
DSL Digital Subscriber Line
Цифровая абонентская линия
DSLAM DSL Access Multiplexer
Мультиплексор доступа DSL, узел доступа DSLAM
IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
Институт инженеров по электротехнике и электронике
IP Internet Protocol
Протокол сети Интернет
IPTV IP TeleVision
IP телевидение
ISDN Integrated Services Digital Network
Цифровая сеть интегрированных услуг
POTS Plain Ordinary Telephone Service
Обычная телефонная сеть
PPPoE Point to Point Protocol over Ethernet
Протокол для подключения к Интернету поверх Ethernet
PTM Packet Transfer Mode
Режим пакетной передачи
PVC Permanent Virtual Circuit
Постоянный виртуальный канал
QoS Quality of Service
Качество услуги
TCP Transmission Control Protocol
Протокол управления передачей
UDP User Datagram Protocol
Пользовательский протокол данных
VLAN Virtual Local Area Network
Виртуальная ЛВС
VDSL2 Very high speed DSL 2
Высокоскоростная цифровая абонентская линия
VoD Video on Demand
Видео на запрос
VoIP Voice over IP
Передача речи по IP-сетям

7. Литература

[1] Документация компании Эрикссон для внутреннего использования.
[2] William Stallings : „Data and computer communications“, 6. издание, Pertince-Hall Inc., New Jersey.
[3] Alen Bažant i drugi: „Osnovne Arhitekture Mreža“, 1. издание, Element, Загреб, Хорватия.
[4] Технический рапорт TR-101 DSL форум
[5] DSL Forum

Адрес автора:

Тихомир Фабета
e-mail: tihomir.fabeta@ericsson.com

Ericsson Nikola Tesla d.d.
Krapinska 45
p.p. 93
HR-10002 Zagreb
Хорватия

Редакция приняла рукопись 20 июля 2007 года.
Перевод: Надежда Племенчич

Рис. 1:

Annex A, B, M	Дополнение A, B, M
range	диапазон
Variable frequency spectrum	Изменяющийся частотный спектр

Рис. 2:

Annex L	Дополнение L
Brzina prijenosa Mbit/s	Скорость передачи Мбит/с
duljina, Km	длина, км

Рис. 3:

4312,5 Hz per tone	4312,5 Гц по тону
8625 Hz per tone	8625 Гц по тону
dBm	дБм
MHz	МГц
Not supported	Не поддерживается
Number of Tones	Число тонов
Transmit Power	Мощность передачи

Рис. 4:

Frekvencija (MHz)	Частота (МГц)
Profile 12a, 12b (US0 opcijski)	Профиль 12a, 12b (US0 опционный)
Profile 17a	Профиль 17a
Profile 30a	Профиль 30a
US=upstream DS=downstream	US=восходящая связь DS=нисходящая связь

Рис. 5:

(broj bitova po tonu)	(число битов по тону)
nivo šuma	уровень шума
prijemni signal	приемный сигнал

Рис. 6:

linija	линия

Рис. 7:

Bakrena parica	Медная пара
CPE modem	CPE модем
Ethernet agregacija	Ethernet агрегация
Protokolarni složaj	Стек протоколов
xDSL linijska kartica	xDSL линейная плата

Рис. 8:

Bakrena parica	Медная пара
CPE modem	CPE модем
Ethernet agregacija	Ethernet агрегация
Protokolarni složaj	Стек протоколов
xDSL linijska kartica	xDSL линейная плата

Рис. 9:

Data	Данные
Interleaving	Интерливинг
Latency	Запаздывание
Latency path multiplexor	Мультиплексор запаздывания
Phisical media	Физическая среда
Scrambler	Скремблер
Selection of latency path	Выбор запаздывания

Рис. 10:

crosstalk	перекрестные помехи

Рис. 12:

ADSL modem	ADSL модем
bakrena parica	Медная пара
Broadband Network	Широкополосная сеть
Downstream	Нисходящая линия

Local Exchange	Местная станция
Splitter	Сплиттер
Upstream	Восходящая линия
Voice	Речь

Рис. 13:

Access Loop	Шлейф доступа
Access Network	Сеть доступа
Access Node (DSLAM)	Узел доступа (DSLAM)
Aggregation Network	Сеть агрегации
BB Network Gateway	BB сетевой шлюз
Customer Prem. Net	Сеть в помещении пользователя
Ethernet Aggregation	Ethernet агрегация
NSP/BB Network Gateway	NSP/BB сетевой шлюз
Regional Broadband Network	Региональная широкополосная сеть
User 1, User 2	Пользователь 1, Пользователь 2

Рис. 14:

V-interface	V-интерфейс

Рис. 15:

U-interface	U-интерфейс

Рис. 16:

1The CO based functions may be located in physically different COs	1 На CO базированные функции могут быть размещены в физически различных CO
2The Ethernet Aggregation Function may be located in discrete devices, in the access nodes, or distributed throughout the Carriers Access Network.	2 Ethernet функция агрегации может быть размещена в дискретных элементах, в узлах доступа, или распределены вдоль сети доступа.
Broadband Network Gateway	Шлюз широкополосной сети
Carrier Inside Plant	Оборудование внутри станции
Carrier Outside Plant	Оборудование вне станции

Central Office Based Devices	Устройства, базированные на центральном офисе
CO Based Access Node	Базированный на CO узел доступа
Copper Loops	Медные шлейфы
Ethernet Aggregation and Regional Access Network Functions	Ethernet функции агрегации и региональной сети доступа
Fiber	Оптоволокно
Fiber and Copper Loops	Медные и оптоволоконные шлейфы
GigE Facilities	GigE оборудование
Layer 2 Handoff e.g. A-10 NSP	Уровень 2 Переадресация напр., A-10 NSP
Level 1 Remote Access Node	Уровень 1 Удаленный узел доступа
Level 2 Access Node	Уровень 2 Узел доступа
Level 2 Access Node	Уровень 2 Узел доступа
Level 2 Remotes Up to 5 Kft Loops	Уровень 2 Удаленные шлейфы до 1500m
Level 3 A/N, Level 3 A/N	Уровень 3 A/N, Уровень 3 A/N
Level 3 A/N, Level 3 A/N	Уровень 3 A/N, Уровень 3 A/N
Level 3 Remotes Up to 3 Kft Loops	Уровень 3 Удаленные шлейфы до 1000m

Рис. 17:

brzina prijenosa Mbit/s	Скорость передачи Мбит/с
duljina parice (m)	Длина пары (м)
Mbit/s	Мбит/с