

ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ в линиях VDSL2 методом векторизации

П.Спрайт, С.Ванхастел, компания Alcatel-Lucent

Благодаря новейшим методам шумоподавления векторизация позволяет в реальных условиях приблизить скорость передачи данных по медножильным линиям с использованием технологии VDSL2 к теоретически возможному максимуму, экономично обеспечивая высокоскоростную передачу и быстрое начало предоставления высококачественных услуг ШПД.

Повсеместная прокладка оптического кабеля (ОК) на сетях доступа — процесс длительный и требующий очень больших инвестиций, поэтому на ближайшие 5-10 лет операторам связи нужен альтернативный технологический вариант обеспечения высоких скоростей доступа. Технология векторизации линий VDSL2 (Very high data rate Digital Subscriber Line 2) представляет собой мощный и экономически эффективный способ удовлетворения потребностей индивидуальных абонентов в высокоскоростной передаче данных и способствует решению целевых правительственных программ по предоставлению населению универсального широкополосного доступа.

Рассматриваемая технология позволяет в полной мере использовать ресурсы существующих медножильных распределительных линий, максимально приближая реальные условия к идеальным с тем, чтобы каждая линия VDSL2 могла функционировать наилучшим образом и поддерживать более высокие скорости. На расстояниях до 400 м она обеспечивает скорость передачи в нисходящем направлении (downstream) до 100 Мбит/с, а на участках протяженностью до 1 км поддерживает скорость 40 Мбит/с.

В процессе проводившихся с 2010 года полевых испытаний, в которых принимали участие такие операторы, как Belgacom, A1/Telekom Austria, Swisscom, Orange, P&T Luxemburg и Türk Telekom, использование технологии векторизации позволило увеличить скорость передачи на абонентских линиях на 90-150%.

Таких результатов векторизация позволяет достичь за счет подавления в медных парах перекрестных помех — одного из самых значительных факторов ограничения скорости передачи в многопарных линиях. Векторизация представляет собой процесс постоянного динамического измерения и подавления взаимных влияний между цепями медножильного многопарного кабеля, в результате чего пропускная способность всех линий значительно увеличивается.

Поскольку сложная система шумоподавления требует значительных процессорных ресурсов для измерения всех медных пар в кабеле, то векторизацию целесообразно использовать в кабелях с небольшим числом пар (несколько сотен), что характерно при развертывании сетей по архитектуре FTTx (Fiber To The x). Для оптимального эффекта от векторизации все медные

пары в кабеле должны находиться под полным контролем одного провайдера. В этом случае применение векторизации позволяет оператору связи существенно повысить скорости, при этом сократить сроки организации высокоскоростных услуг и ускорить окупаемость инвестиций.

КАК РАБОТАЕТ ВЕКТОРИЗАЦИЯ

Необходимо подчеркнуть, что векторизация – это не метод повышения теоретической скорости передачи по линии xDSL, в частности, VDSL2, а технология шумоподавления, направленная на уменьшение разницы между максимальной теоретической скоростью и той скоростью, которую оператор способен обеспечить в реальных условиях эксплуатации кабельных линий связи.

В большинстве случаев медные пары, по которым передается сигнал VDSL2, – элементы одного телефонного кабеля, иногда разветвляемого на кабели меньшей емкости. Сердечник телефонного кабеля может содержать от десяти до нескольких сотен пар, расположенных очень близко друг к другу. Такое тесное соседство приводит к перекрестным помехам, и чем больше число пар в кабеле, тем больше уровень взаимных электромагнитных влияний, главной причиной того, что скорость в реальных линиях связи значительно меньше теоретического максимума. Векторизация позволяет каждой паре передавать сигнал как бы в отсутствие остальных, изолированно, то есть без перекрестных помех.

Устранение помех в паре достигается путем измерения перекрестных наводок от всех остальных пар и генерации противофазного сигнала, что в результате дает практически нулевой уровень помех.

Теоретически это выглядит просто, но реализация в зависимости от конкретных условий может оказаться весьма сложной. При векторизации необходимо учитывать перекрестные помехи от нескольких сотен линий VDSL2 и сигналов, которые занимают широкую полосу частот (например, 17,6 МГц для VDSL2 17a).

В ОСНОВЕ – КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Векторизация требует огромной вычислительной мощности, так как динамические измерения и подавление помех выполняются для сотен линий VDSL2 во всем частотном диапазоне, используемом для передачи данных. В процессе компьютерной обработки весь спектр делится на узкие диапазоны (до 4096), называемые

"тонами" или "несущими", и каждая несущая обрабатывается отдельно. Несущие представляются в виде комплексных чисел с действительной и мнимой частью. Вычисления выполняются для каждого символа VDSL2, продолжительность которого составляет 250 мкс (т.е. 4000 символов в секунду).

Обработка всех линий VDSL2 выполняется одновременно, и результаты вычислений используются в реальном времени для формирования противофазного компенсационного сигнала по каждой линии с учетом реальных сигналов, передаваемых по другим линиям. Частотно-зависимые перекрестные наводки между каждой линией VDSL2 измеряются автоматически и динамически обновляются. Например, чтобы подавить помехи в кабеле, содержащем 200 активных линий VDSL2, необходимая вычислительная мощность составит: 200 (линий VDSL2, подвергающихся помехам) x 200 (линий VDSL2, генерирующих помехи) x 4096 (несущих) x 4 (операции умножения с накоплением для 2 комплексных чисел) x 4000 (символов VDSL2 в секунду) = 2621 млрд. операций умножения с накоплением в секунду.

Масштаб, скорость и динамика этого процесса производят впечатление, и неудивительно, что векторизация VDSL2 стала реальностью для провайдеров только тогда, когда новейшие достижения микроэлектроники сделали возможными столь сложные вычисления. Это же причина того, что векторизация лучше всего подходит для небольших узлов, где число линий не превышает 400, то есть для типичных вариантов развертывания FTTx.

ВОПРОСЫ МИГРАЦИИ

Хотя большая часть обработки выполняется в мультиплексорах DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), где и находятся соответствующие средства, для эффективной оценки величины перекрестных искажений, наводимых линией в соседние линии и наоборот, необходима некоторая минимальная поддержка со стороны абонентского оборудования (CPE). Дополнительный функционал такого оборудования определен в стандарте Международного союза электросвязи (МСЭ) G.993.5 (G.vector) [1].

Для получения максимального эффекта перекрестные наводки должны измеряться во всех парах кабеля, иначе останутся помехи, наводимые отдельными линиями VDSL2, и скорость передачи в линиях, где применяется технология

векторизации, уменьшится. Идеальной представляется ситуация, когда все линии VDSL2 функционируют в режиме G.vector. Но такое требование может стать проблемой при переходе к векторизации тех операторов, кто уже имеет свою абонентскую базу с установленным абонентским оборудованием VDSL2. Дело в том, что миграция на новую технологию обычно происходит постепенно. Часть абонентов может быть довольна имеющимся уровнем производительности линий VDSL2 и предпочтет оставить старое оборудование, не тратясь на покупку и установку нового, другая часть захочет использовать преимущества высоких скоростей и будет готова купить новое оборудование с поддержкой векторизации.

Провайдеры должны быть готовы к такому разнообразию уровней обслуживания и абонентского оборудования, ведь абоненты из обеих групп могут оказаться подключенными к одному и тому же кабелю. При этом если часть клиентского оборудования не будет поддерживать векторизацию, скорость передачи у абонентов, заплативших за услугу по новой технологии, будет ниже из-за того, что соседние линии все еще подключены к устаревшему оборудованию. К счастью, большая часть действующего абонентского оборудования VDSL2 может быть программно обновлена для полной или частичной поддержки векторизации. Последний вариант (т.н. "vectoring-friendly") приводится в приложениях к стандарту МСЭ G.993.2 [2], которые определяют методику измерения перекрестных искажений на "унаследованных" линиях. Приложение Annex X определяет требования к частичной совместимости в нисходящем направлении, то есть перекрестные искажения в "унаследованной" линии измеряются и подавляются только в этом направлении. Приложение Annex Y определяет требования к частичной совместимости в обоих направлениях. Суть в том, что абоненты унаследованных линий не получают преимуществ от векторизации, но их оборудование больше не ухудшает параметры линий других абонентов, заплативших за услуги на базе новой технологии.

ВЕКТОРИЗАЦИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ

Выше речь шла о внедрении векторизации на линиях VDSL2 от одного провайдера, который полностью контролирует все пары в кабеле. Но что произойдет в случае разгруппирования, когда оператор в соответствии с требованиями

регулятора вынужден предоставлять доступ к парам своего кабеля другим операторам? Если широко используемое сегодня в ряде стран разгруппирование линий ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) в абонентском шлейфе от АТС (станционное разгруппирование, LLU) оказывает лишь незначительное влияние на эффект от векторизации, то этого нельзя сказать о разгруппировании линий VDSL2, используемых в вариантах архитектуры FTТх (промежуточное разгруппирование, SLU).

В последнем случае скорость передачи может уменьшаться из-за невозможности полной координации систем векторизации, когда конкурирующий оператор подключает линии VDSL2 к другому мультиплексу DSLAM. Практика показывает, что всего одной линии VDSL2, подключенной к "чужому" DSLAM, может быть достаточно для существенного ухудшения параметров векторизации.

Надо признать, что второй вариант для большинства стран неактуален из-за сложностей технико-экономического и практического характера, возникающих при размещении DSLAM разных операторов в одном уличном шкафу или в соседних шкафах. Однако его влияние может проявиться уже в ближайшие годы, так как технология векторизации весьма привлекательна для повсеместного внедрения высокоскоростного ШПД на существующей медножильной инфраструктуре. С технологической точки зрения для решения проблемы наилучшим представляется вариант позволить первому оператору, установившему оборудование FTТх, задействовать все линии VDSL2 в кабеле, а затем предлагать высокоскоростные каналы доступа конкурентам. В этом случае все сервис-провайдеры, имеющие доступ в здание, смогут предоставлять высокоскоростные услуги. Но это, конечно, тема для обсуждения на уровне регуляторов конкретных стран.

ИТОГИ

Развертывание полностью оптических сетей доступа идет полным ходом, но на его повсеместное завершение понадобятся годы, тогда как существующая медножильная инфраструктура остается в распоряжении операторов. Постепенно переходя на доступ по ОК, операторы могут воспользоваться надежными и недорогими вариантами быстрого предоставления больших скоростей передачи. Такие технологии следующего поколения xDSL, как VDSL2, объединение в один канал нескольких пар (bonding) и векторизация

предлагают экономичные решения для удовлетворения потребностей абонентов в ШПД на ближайшее будущее с использованием имеющихся медножильных линий. С учетом того, что к таким абонентским линиям подключено более 1,2 млрд. домохозяйств, данные технологии могут также помочь государствам решить проблему повсеместного широкополосного доступа, необходимого для телемедицины, дистанционного обучения и ускорения социально-экономического развития.

Развитие xDSL следующего поколения началось в 2007 году, когда внедрение архитектур FTTx, сочетавших глубокое проникновение оптики с применением на абонентской проводке VDSL2, позволило достичь скоростей до 40 Мбит/с на расстояниях до 400 м. В 2010 году объединение (bonding) в один канал двух медных пар VDSL2 позволило удвоить скорость до 80 Мбит/с на расстоянии 400 м или увеличить расстояние (40 Мбит/с на расстоянии 1000 м). Векторизация позволила еще больше увеличить скорость – до 100 Мбит/с на расстоянии 400 м.

Недавние исследования показали возможность дальнейшего роста: в Лабораториях Белла достигнута скорость 300 Мбит/с на дистанции

400 м с использованием двух пар и применением технологий bonding, векторизации и фантомного режима. Совсем недавно компания Alcatel-Lucent сообщила о новом рекорде, установленном в Лабораториях: данные передавались со скоростью 10 Гбит/с по обычным медным телефонным парам с применением разрабатываемой там технологии XG-FAST. С помощью этой технологии была также продемонстрирована возможность использования имеющихся медных сетей доступа для предоставления сверхширокополосных симметричных сервисов со скоростью 1 Гбит/с.

Эти имеющиеся ресурсы могут быть задействованы во многих странах для реализации повсеместного широкополосного доступа, при этом операторы могут воспользоваться медными линиями для предоставления более высоких скоростей доступа в значительно более сжатые сроки и с ускоренной окупаемостью инвестиций.

ЛИТЕРАТУРА

1. ITU-T standard G.993.5 (04/2010) Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers.
2. ITU-T standard G.993.5 (09/2011) Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2).