АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ SDH

© А. К. Хаджиева, М. А. Сатуева

ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, г. Грозный, Россия

Ввиду быстрого прогресса в современных технологиях и огромной потребности в увеличении пропускной способности для использования современных средств требуется более сложная топология сети для обеспечения лучшего качества обслуживания (QoS). Эти требования, в свою очередь, предполагают высокую точность проектирования и совершенство метода синхронизации. Целью данного исследования является решение способа преодоления вышеуказанной проблемы путем реализации сети синхронной цифровой иерархии (SDH) для обеспечения и измерения QoS. Для каждого поставщика услуг это непростая задача – удовлетворить спрос клиента. Сеть SDH развивалась, поскольку сеть PDH не поддерживает такие функции, как мультиплексирование более высокого порядка, обеспечивая лучшее качество обслуживания (QoS), топологии сети, отличные от линейных, и сложность с добавлением мультиплексирования с отбрасыванием и т. д. SDH может поддерживать QoS лучше, чем PDH. Конфигурация SDH выполняется для реализации, а проблемы проектирования анализируются для будущего решения. Измерение QoS выполняется для измерения производительности сети.

Ключевые слова: технология SDH, транспортные сети, административные сети, цифровая иерархия.

Технология синхронной цифровой иерархии (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) позволяет создавать надежные транспортные сети и гибко формировать цифровые каналы в широком диапазоне скоростей от нескольких мегабит до десятков гигабит в секунду. Основная область ее применения – первичные сети операторов связи. Первичные сети предназначены для создания коммутируемой инфраструктуры, с помощью которой можно достаточно быстро и гибко организовать постоянный канал с двухточечной топологией между двумя пользовательскими устройствами, подключенными к такой сети. В первичных сетях применяется техника коммутации каналов. На основе каналов, образованных первичными сетями, работают наложенные компьютерные или телефонные сети. Каналы, предоставляемые первичными сетями своим пользователям, отличаются высокой пропускной способностью – обычно от 2 Мбит/с до 10 Гбит/с. SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – синхронная цифровая иерархия – технология передачи высокоскоростных данных на большие расстояния с использованием в качестве физической

среды проводных, оптических и радиолонных связи. Данная технология пришла на смену PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), которая обладала существенным недостатком: сложностью выделения из высокоскоростных потоков низкоскоростных трибутарных каналов. Причина заключается в том, что потоки более высокого уровня в PDH получаются путем последовательного мультиплексирования. Соответственно, для выделения потока необходимо развертывать весь поток, т. е. проводить операцию демуплексирования. При этом придется устанавливать дорогостоящее оборудование в каждом пункте, где необходима такая процедура, что значительно увеличивает стоимость строительства и эксплуатации высокоскоростных линий PDH. Технология SDH призвана решить эту проблему. Скорости для SDH уже не ограничиваются 500 Мбит/сек, как это было в PDH [1].

Процедура контейнирования нагрузки

Вся информация в системе SDH передается в контейнерах. Контейнер представляет со-

бой структурированные данные, передаваемые в системе. Если система PDH генерирует трафик, который нужно передать по системе SDH, то данные PDH, так и SDH, сначала структурируются в контейнеры, а затем к контейнеру добавляется заголовок и указатели, в результате образуется синхронный транспортный модуль STM-1. По сети контейнеры STM-1 передаются в системе SDH разных уровней (STM-n), но во всех случаях расформированный STM-1 может только складываться с другим транспортным модулем, то есть имеет место мультиплексирование транспортных модулей.

Понятие виртуального контейнера. Еще одно важное понятие, непосредственно связанное с общим пониманием технологии SDH, – это понятие виртуального контейнера VC. В результате добавления к контейнеру трактовочного (маршрутного) заголовка получается виртуальный контейнер. Виртуальные контейнеры находятся в идеологической и технологической связи с контейнерами, так что контейнеру C-12 соответствует виртуальный контейнер VC-12 (передача потока E1), C-3 – VC-3 (передача потока E3), C-4 – контейнер VC-4 (передача потока STM-1) [4].

Метод мультиплексирования

Поскольку низкоскоростные сигналы PDH мультиплексируются в структуру фрейма высокоскоростных сигналов SDH посредством метода побайтового мультиплексирования, их расположение во фрейме высокоскоростного сигнала фиксировано и определено или, скажем, предсказуемо. Поэтому низкоскоростной сигнал SDH, например 155 Мбит/с (STM-1), может быть напрямую добавлен или выделен из высокоскоростного сигнала, например 2.5 Гбит/с (STM-16). Это упрощает процесс мультиплексирования и демultipлексирования сигнала и делает SDH иерархию особенно подходящей для высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи, обладающих большой производительностью.

Поскольку принят метод синхронного мультиплексирования и гибкого отображения структуры, низкоскоростные сигналы PDH (например 2 Мбит/с) также могут быть мультиплексированы в сигнал SDH (STM-N). Их

расположение во фрейме STM-N также предсказуемо. Поэтому низкоскоростной трибутарный сигнал (вплоть до сигнала DS-0, то есть одного тайм-слота PDH, 64 kbps) может быть напрямую добавлен или извлечен из сигнала STM-N. Заметьте, что это не одно и то же с вышеописанным процессом добавления/выделения низкоскоростного сигнала SDH в/из высокоскоростного сигнала SDH. Здесь это относится к прямому добавлению/выделению низкоскоростного трибутарного сигнала, такого как 2 Мбит/с, 34 Мбит/с и 140 Мбит/с в/из сигнала SDH. Это устраняет необходимость использования большого количества оборудования мультиплексирования / демultipлексирования (взаимосвязанного), повышает надежность и уменьшает вероятность ухудшения качества сигнала, снижает стоимость, потребление мощности и сложность оборудования. Добавление/выделение услуг в дальнейшем упрощается [3].

Анализ сравнения SDH с PDH

Первой цифровой технологией передачи была технология плезиохронной цифровой иерархии (PDH-Plesiochronous Digital Hierarchy). В технологии PDH используется импульсно-кодовая модуляция ИКМ (PCM-Pulse Code Modulation) и временное разделение каналов (TDM-Time Domain Multiplexing). Системы PDH были первоначально разработаны для медных кабелей (витая пара и коаксиальные кабели). Однако для оборудования PDH были разработаны и волоконно-оптические интерфейсы.

Недостатком сетей PDH является невозможность непосредственного выделения данных низкоскоростного канала из данных высокоскоростного сигнала, если каналы работают на несмежных уровнях иерархии скоростей. Например, нельзя выделить данные канала E1 из данных канала E3 – необходимо последовательно демultipлексировать канал E3 на каналы E2, канал E2 на каналы E1, а затем на отдельные телефонные каналы.

В 90-е годы XX века широкое распространение получило новое поколение цифровой иерархии – синхронная цифровая иерархия (SDH-Synchronous Digital Hierarchy). Технологи-

гия SDH является более гибкой по сравнению с PDH. Она изначально разрабатывалась для волоконно-оптической связи. Уровни иерархии SDH приведены в табл. 1.3.

Технология SDH позволяет вводить и выводить сигналы на любом уровне иерархии. Можно даже ввести и вывести сигнал со скоростью 2 Мбит/с. В технологии PDH это невозможно, так как там иерархия выстраивается уровень за уровнем.

Наиболее важными компонентами сети SDH являются:

- Оконечные мультиплексоры (TM-Terminal Multiplexer), которые используются для объединения более низкоскоростных сигналов в высокоскоростные сигналы уровня STM-N ($N = 1, 4, 16$ или 64) или для выделения низкочастотных сигналов.

- Мультиплексоры ввода-вывода (ADM-Add-Drop Multiplexer), которые используются для добавления низкоскоростного сигнала к сигналу уровня STM-N или выделения низкоскоростного сигнала из сигнала уровня STM-N.

- Регенераторы (R-Repeater), которые используются для усиления и восстановления цифрового сигнала с целью увеличения дальности передачи.

- Цифровые кросс-коммутаторы (DXC-Digital Cross Connects), которые используются для создания на цифровом уровне соединений между сигналами STM-N.

Наиболее важные особенности технологии SDH:

- повышение гибкости механизма мультиплексирования, возможность непосредственной вставки низкоскоростных потоков в высокоскоростной поток и выделения низкоскоростных потоков из высокоскоростного потока,

- обеспечение асинхронности низкоскоростного потока относительно высокоскоростного,

- совместимость со всеми уровнями технологии PDH и с технологией ATM,

- высокие скорости передачи до 10 Гбит/с с перспективой увеличения скорости передачи до 40 Гбит/с,

- волоконно-оптические интерфейсы,

- надежное резервирование и эффективное управление сетью.

Технология SDH широко используется в магистральных и зональных сетях. В США технология, основанная на синхронной цифровой иерархии, называется SONET.

Достоинства SDH. Упрощение сети: один мультиплексор ввода/вывода заменяет цепочку мультиплексоров PDH;

Надежность и самовосстанавливаемость сети. Надежность обеспечивается использованием ВОК (волоконно-оптического кабеля);

Самовосстанавливаемость – архитектура и гибкое управление сетями позволяют использовать защищенный режим работы, допускающий 2 альтернативных пути распространения сигнала, а также обход поврежденного узла сети;

Гибкость управления сетью – наличие большого числа широкополосных каналов управления и компьютерная иерархия в системе управления; автоматическое дистанционное управление сетью из одного центра;

Выделение полосы пропускания по требованию (возможно переключение на другой широкополосный канал);

Прозрачность для передачи любого трафика – использование виртуальных контейнеров, инкапсулирующих трафик технологий ATM (асинхронный режим передачи), ISDN и др.;

Универсальность применения – технология может использоваться для создания как глобальных, так и локальных сетей;

Простота наращивания мощностей (используется универсальная стойка, на которой крепятся функциональные блоки (карты), легко заменяемые на большую скорость передачи).

Недостатки SDH. Жесткие требования к идентичности схем мультиплексирования при объединенном STM-N;

При формировании STM-1 из E1 уменьшается информационная емкость, SDH нельзя синхронизировать с АТС.

Технология синхронной цифровой иерархии первоначально была разработана компанией Bellcore под названием «синхронные оптические сети» (Synchronous Optical NETs, SONET) и, по сути, является развитием тех-

нологии PDH. Быстрое развитие телекоммуникационных технологий привело к необходимости расширения иерархии скоростей PDH и максимального использования всех возможностей, которые предоставляла новая среда – волоконно-оптические линии связи. Одновременно с расширением линейки скоростей нужно было освободиться от выявленных за время эксплуатации этих сетей недостатков PDH, прежде всего от принципиальной невозможности выделения отдельного низкоскоростного потока из высокоскоростного без полного демультиплексирования последнего. Сам термин «плезиохронный» говорит о причине такого явления – отсутствии полной синхронности потоков данных при объединении низкоскоростных каналов в более скоростные. Кроме этого, в технологии PDH не были предусмотрены встроенные средства обеспечения отказоустойчивости и управления сетью. Была создана технология, способная передавать трафик всех существующих цифровых каналов уровня PDH по высокоскоростной магистральной сети на базе волоконно-оптических кабелей и обеспечить иерархию скоростей, продолжающую иерархию технологии PDH до скорости в несколько Гб. В результате длительной работы удалось создать стандарт на синхронную цифровую иерархию (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) [3].

Обеспечение безопасности передачи данных в SDH

Любая сеть должна иметь определенные стандарты и правила безопасности для защиты от несанкционированного доступа к конфиденциальным пользовательским данным и обеспечения бесперебойной связи для критически важных служб во время чрезвычайных ситуаций. Это одна из наиболее важных задач, стоящих перед операторами мобильных сетей. Благодаря широкому использованию смартфонов на рынке мобильной связи все больше и больше функций передаются сторонним приложениям, часто предоставляемым независимыми разработчиками. Ошибки и недостатки в коде такой программы могут привести к появлению уязвимостей, которые угрожают не только правильной работе приложений, но и в неко-

торых случаях работе аппаратного обеспечения мобильного устройства. Описанные выше технологии не имеют достаточных средств защиты от атак, направленных на получение конфиденциальной информации. У каждого из них есть ряд недостатков, которые позволяют злоумышленнику, даже если не высококвалифицированному, получить персональные данные владельца мобильного устройства. Технические решения, представленные на рынке в настоящее время, не позволяют гарантировать себя от таких атак.

Решение проблемы может заключаться в разработке дополнительных средств защиты информации, а также в отказе от использования некоторых особо уязвимых технологий. Современные технологии позволяют использовать различные системы для защиты сетей от взлома и других атак. Развитие технологий и человеческих потребностей в сфере услуг связи привело к стандартизации этих средств [5].

Перечисленные здесь один за другим – это элементы стандартизации, связанные с безопасностью в сетях, основанных на технологии SDH: Появление стандартов синхронной цифровой иерархии передачи данных (SDH) в 1988 году ознаменовало собой новый этап развития транспортных сетей. Технология SDH широко используется для организации надежной передачи данных. SDH была разработана для того, чтобы получить стандартный протокол для взаимодействия провайдеров – поставщиков сетевых услуг; унифицировать американские, европейские и японские цифровые системы; обеспечить мультиплексирование цифровых сигналов на гигабитных скоростях; обеспечить поддержку функций эксплуатации и технического обслуживания OA&M (operation, administration and maintenance – функционирование, администрирование и техническое обслуживание).

Системы синхронной передачи не только преодолели ограничения систем-предшественниц (PDH), но и снизили накладные расходы на передачу информации. Ряд уникальных достоинств – доступ к низкоскоростным каналам без полного демультиплексирования всего потока, высокая отказоустойчивость, развитые

средства мониторинга и управления, гибкое управление постоянными абонентскими соединениями, обусловили ее высокий темп развития, ставший основой первичных сетей нового поколения.

Стек протоколов SDH состоит из протоколов трех основных уровней (рис. 5.9):

- уровень соединения контролирует доставку данных между двумя конечными пользователями сети;

- уровень управления передачей данных поддерживает физическую целостность сети, поддерживает операции административного контроля, осуществляет различные операции реконfigurирования в случае отказа какого-либо элемента сети и др.;

- физический уровень, названный в стандарте фотонным (photonic), имеет дело с кодированием бит информации с помощью модуляции света.

На сегодняшний день технология SDH считается не только перспективной, но и достаточно апробированной технологией для создания транспортных сетей. Технология SDH обладает рядом важных достоинств с пользовательской, эксплуатационной и инвестиционной точек зрения:

- умеренная структурная сложность, снижающая затраты на монтаж, эксплуатацию и развитие сети, в том числе подключение новых узлов;

- широкий диапазон возможных скоростей – от 155,520 Мбит/с (STM-1) до 2,488 Гбит/с (STM-16) и выше;

- возможность интеграции с каналами PDH, поскольку цифровые каналы PDH являются входными каналами для сетей SDH;

- высокая надежность системы благодаря централизованному мониторингу и управлению, а также возможности использования резервных каналов;

- высокая степень управляемости системы благодаря полностью программному управлению;

- возможность динамического предоставления услуг – каналы для абонентов могут создаваться и настраиваться динамически, без внесения изменений в инфраструктуру системы;

- высокий уровень стандартизации технологии, что облегчает интеграцию и расширение системы, дает возможность применения оборудования различных производителей;

- высокая степень распространения стандарта в мировой практике.

Стандарт SDH обладает достаточной степенью зрелости, что делает его надежным для инвестиций [6].

В дополнение к перечисленным достоинствам необходимо отметить развитие магистральных телекоммуникаций российских операторов связи на основе SDH, что предоставляет дополнительные возможности для привлекательных интеграционных решений. Перечисленные достоинства делают решения, основанные на технологии SDH, рациональными с точки зрения инвестиций. В настоящее время она может считаться базовой для построения современных транспортных сетей, как для корпоративных сетей различного масштаба, так и для сетей связи общего пользования.

Выводы. Сети SDH заняли прочное положение в телекоммуникационном мире. Сегодня они составляют фундамент практически всех крупных сетей – региональных, национальных и международных. Это положение еще более укрепилось в результате появления технологии спектрального мультиплексирования DWDM, поскольку сети SDH могут легко интегрироваться с этим новым типом оптических магистралей с поддержкой очень высоких скоростей в сотни гигабит в секунду. В магистральных сетях с ядром DWDM сети SDH будут играть роль сети доступа, т.е. выполнять те же функции, которые сети PDH играют по отношению к SDH.

В настоящий момент развитие сетей SDH в практике российской связи переходит от этапа экспериментального внедрения к этапу широкого внедрения и эксплуатации, что повышает интерес к процессам измерения на цифровой сети SDH. До сих пор операторы эксплуатировали такие сети, построенные на базе оборудования одного производителя, и с сравнительно несложной топологией. Однако начинается процесс расширения цифровых сетей SDH, усложнения их топологии и превращения в гетерогенные. В ближайшее время

может возникнуть необходимость в документах по методологии измерений, однако уже сегодня общие положения такой методологии ясны, и они с успехом будут применяться для повышения эффективности и надежности работы сетей SDH.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакланова И. Г. SDH-NGSDH: практический взгляд на развитие транспортных сетей. М.: Метротек, 2006. 736 с. ил. (Системы эксплуатации связи) ISBN 5-902733-02-2 ISBN 5-902733-02-2
2. Бакланов И. Г. Технологии измерений первичной сети. Часть 1. Системы E1, PDH, SDH. М.: Эко-Трендз, 2000. 142 с. ISBN: 5-88405-019-4
3. Гольдштейн Б. С. Сигнализация в сетях связи. М.: Радио и связь, 1997. 423 с.: ил. ISBN 5-256-01381-5
4. Хаджиева Л. К., Маеева А. Н. Эффективность и надежность узла связи // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Молодежь, наука, инновации. 2019. С. 209-216.
5. Слепов Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET и WDM). 2-е изд., исправ. М.: Радио и связь, 2003. 468 с.
6. Хмелев К. Ф. Основы SDH. 2003. 584 с.

ANALYSIS OF THE USE OF TECHNOLOGY SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY SDH

© L. K. Khadzhieva, M. L. Satueva

GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

Due to rapid advances in modern technology and the huge need for increased bandwidth, the use of modern facilities requires a more complex network topology to provide better quality of service (QoS). These requirements, in turn, imply high accuracy of design and perfection of synchronization methods. The aim of this study is to solve a way to overcome the above problem by implementing a synchronous digital hierarchy (SDH) network to provide and measure QoS. For each service provider, it is not an easy task to meet customer demand. The SDH network has evolved because the PDH network does not support features such as higher order multiplexing, providing better quality of service (QoS), network topologies other than linear, and complexity with the addition of drop multiplexing, etc. SDH can support QoS better than PDH. The configuration is performed for the SDH implementation as problems of design analyses for future decisions. The QoS measurement is performed to measure network performance.

Key words: SDH technology, transport networks, administrative networks, digital hierarchy.

REFERENCES

1. Baklanova, I. G. (2006) SDH-NGSDH: prakticheskij vzgljad na razvitie transportnyh setej. [SDH-NGSDH: a practical look at the development of transport networks]. М.: Metrotek, 736 p. il. – (Sistemy jekspluatacii svjazi) ISBN 5-902733-02-2 ISBN 5-902733-02-2

2. Baklanov, I. G. (2000) Tehnologii izmerenij pervichnoj seti. Chast' 1. Sistemy E1, PDH, SDH [Primary Network Measurement Technologies. Part 1. Systems E1, PDH, SDH M]. M.: Eco-Trends. 142 p. ISBN: 5-88405-019-4
3. Goldstein, B. S. (1997) Signalizacija v setjah svjazi [Alarm in communication networks. M.: Radio and communications]. 423 p.: il. ISBN 5-256-01381-5
4. Khadzhieva, L. K. and Maaeva, A. N. (2019) 'Effektivnost' i nadezhnost' uzla svjazi'. *Materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. Molodezh', nauka, innovacii* [Efficiency and reliability of the communication center. Materials of the II All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. Youth, science, innovation], pp. 209-216.
5. Slepov, N. N. (2003) Sovremennye tehnologii cifrovyh optovolokonnyh setej svjazi. (ATM, PDH, SDH, SONET i WDM) 2-e izd., isprav. M.: Radio i svjaz' [Modern technologies of digital fiber-optic communication networks (ATM, PDH, SDH, SONET and WDM). 2nd ed., cor. M.: Radio and communications]. 468 p.
6. Khmelev, K. F. (2003) Osnovy SDH [The basics of SDH]. 584 p.