

# СЕТИ SDH НОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ТРАФИКА ETHERNET

Сетевые технологии, как известно, постоянно совершенствуются не только в направлении увеличения скорости передачи и емкости предоставляемого канала связи. Их еще стремятся сделать максимально универсальными, пригодными для предоставления мультисервисного обслуживания в рамках одной сети и однотипного оборудования. Технологии, претендовавшие на это, всем известны. Сначала это была ISDN, затем ATM, но они не оправдали возложенных на них надежд. Предлагались и другие решения, связанные с использованием комплексных подходов: WDM с широким набором интерфейсов и IP/MPLS. Но и эти подходы по разным причинам широкого распространения пока не получили.

Однако и старые технологии, такие как SDH (известная с 1988 г.), не стояли на месте и совершенствовались не только технологически (доведя скорость передачи в одном канале до 40 Гбит/с), но и функционально, благодаря разработке новых интерфейсных карт и схем инкапсуляции различного типа трафика, генерируемого такими широко используемыми технологиями, как ATM, Ethernet и IP. Последние разработки в этом направлении, сделавшие возможным виртуальную конкатенацию (VCAT) и динамическое изменение емкости звена связи (LCAS), а также разработка общей процедуры фреймирования (GFP), позволили существенно упростить передачу пакетного трафика (в первую очередь сетей Ethernet), превратив сети SDH в гигантский разветвленный мост между ЛВС. Оборудование и сети SDH, поддерживающие эти новые возможности, знаменовали собой появление новой генерации старой технологии SDH.

Об этих новых возможностях и оборудовании, которое их поддерживает, и пойдет речь в первой статье нашего цикла о сетях SDH новой генерации.



Н.Слепов  
nslepov@online.ru

## ТРАДИЦИОННЫЕ СЕТИ SDH

Технология SDH, разработанная в 1988 г. как оптическая технология, — преемница цифровой технологии PDH и является синхронной технологией с коммутацией цепей и временным разделением каналов [1]. Она поддерживает традиционные интерфейсы PDH: E1, E3, E4 (2, 34, 140 Мбит/с), упаковывая указанные потоки в виртуальные контейнеры VC-1, 3 и 4, соответственно, которые затем загружаются в синхронный транспортный модуль STM-1 (155 Мбит/с) и передаются по оптоволоконной сети SDH. Эта технология предложила новую иерархию скоростей и модулей STM-n, которые соответствовали базовой скорости STM-1, умноженной на коэффициент из ряда: 1, 4, 16, 64, 256. Максимальная достигнутая скорость соответствует последнему коэффициенту и равна 40 Гбит/с.

Кроме указанных трех стандартных PDH-интерфейсов, предлагавших каналы соответствующей емкости, а также SDH-интерфейсов STM-n, позволяющих организовать более емкие каналы типа nE1, nE3 и nE4 (n зависит от уровня модуля STM-n), технология допускала процедуру логической конкатенации (бесшовной стыковки) нескольких виртуальных контейнеров в один большой мультиконтейнер, например VC-4-Xc (где X — коэффициент кратности), для размещения в нем нагрузки, не помещающейся ни в один из стандартных VC-n [1]. Это было сделано для того, чтобы иметь возможность в будущем передавать по сети трафик, генерируемый другими технологиями, и в первую очередь технологией ATM. Так, в рекомендации [2] предусматривались конкатенации с X=4 и 16 для размещения ATM-трафика в мультиконтейнерах типа VC-4-Xc емкостью 2340X байт, позволяющих формировать каналы порядка 600 Мбит/с (X=4) и 2,4 Гбит/с (X=16). При этом сама процедура упаковки ячеек ATM (длиной 53 байта) позволяла полностью использовать емкость полезной нагрузки контейнеров и допускала (учитывая, что 53 не кратно 2340) дробление ячеек, указывая длины последней загруженной и переносимой в другой контейнер дробных частей.

Однако оптимизированная под трафик nE1, nE3, nE4 и ATM сеть SDH была в то время крайне неэкономна при передаче трафика других технологий локальных сетей, и в первую очередь Ethernet.

## СЕТИ ETHERNET

Технология Ethernet (E) была разработана компанией Xerox в 1976 году и стандартизована институтом IEEE как технология IEEE 802.3. Уже в 80-х годах она достигла лидирующего положения среди других технологий ЛВС стандартов IEEE 802.n (ArcNet, Token Ring и FDDI).

Как и все технологии ЛВС этого стандарта, она является асинхронной и дейтаграммой (не рассчитанной на предварительное установление соединения), использующей метод CSMA/CD — множественного доступа (к среде передачи, сформированной как про-



водная локальная сеть) с контролем несущей и обнаружением коллизий/столкновений. Номинально скорость передачи по сети составляла 10 Мбит/с, а фактически меньше, учитывая коллизии, заставляющие повторять передачу.

Данные по сети передаются последовательно кадрами в режиме пакетной передачи. Кадр в общем случае имеет переменную длину (максимально 1526 байт) и состоит из заголовка (22 байта), поля данных переменной длины (до 1500 байт) и концевик (4 байта). Не вдаваясь в описание различных версий Ethernet (а мы будем рассматривать только версию IEEE 802.3) и используемых типов сред передачи (коаксиал, витая пара, оптоволокно), которое можно найти во многих источниках, укажем, что эта технология быстро стала применять коммутаторы, которые формально могли обеспечить на сегменте сети скорость 10 Мбит/с, но требовали организации магистралей с более высокой скоростью передачи. В поддержку этого в 1992 году была разработана версия *100-мегабитного (быстрого) Ethernet*, или Fast Ethernet (FE), стандартизованная в 1995 году (ITU-T 802.3u).

Стремление еще больше увеличить скорость магистральной передачи привело к разработке *гигабитного Ethernet* (GE), стандартизованного в 1998 году (ITU-T 802.3z), который позволил внедрить на сети Ethernet некую иерархию скоростей: 1000 (магистральные коммутаторы), 100 (коммутаторы рабочих групп) и 10 Мбит/с (ПК как терминалы виртуальной ЛВС данной рабочей группы). Это упорядочение скоростей и топологии привело к дополнительному росту популярности технологии Ethernet, усилило ее претензии (наряду с ATM) на роль магистральной технологии корпоративных сетей и поставило вопрос о необходимости использовать какую-то транспортную технологию для связи островов Ethernet-ЛВС в единую корпоративную или глобальную сеть Ethernet.

Успехи гигабитного Ethernet привели, наконец, к разработке и стандартизации в 2002 году 10-мегабитного Ethernet (ITU-T 802.3ae), который в настоящее время находится в стадии внедрения не только в ЛВС, но и в магистральных сетях SDH/WDM.

В принципе для передачи трафика Ethernet (10/100/1000 Мбит/с) можно было использовать и старые сети SDH путем инкапсуляции трафика в контейнеры VC-3 (E), VC-4 или VC-4-4с (FE), VC-4-16с (GE), однако такая инкапсуляция была неэффективной ввиду пропадания большой неиспользуемой емкости каналов SDH, особенно для гигабитного Ethernet. Эта ситуация способствовала разработке новых процедур конкатенации VC в SDH и механизмов инкапсуляции трафика Ethernet в мультиконтейнеры.

## МЕТОДЫ КОНКАТЕНАЦИИ В SDH

В 2000 году появилась новая редакция стандарта ITU-T G.707 [3], в которой возможности конкатенации виртуальных контейнеров SDH были существенно расширены. Для традиционного варианта конкатенации, названного позднее *смежной конкатенацией* (contiguous concatenation), был расширен набор коэффициентов X: 4, 16, 64 и 256 с учетом появления новых модулей STM-64 (10 Гбит/с) и STM-256 (40 Гбит/с). Кроме этого был предложен новый вариант конкатенации, названный *виртуальной конкатенацией* (virtual concatenation – VCAT), позволяющий использовать для конкатенации не один, а все типы виртуальных контейнеров и значительно расширить диапазон использования возможных коэффициентов X. Более того, в поддержку новых возможностей в новой редакции стандарта ITU-T G.783 описывался механизм конвертирования между виртуальной и смежной конкатенацией на базе контейнеров VC-4.

Рассмотрим новые возможности конкатенации. Теперь для конкатенации можно использовать контейнеры:

- VC-3/VC-4, если полезная нагрузка требует большей емкости, чем может дать один VC-3/VC-4;
- VC-2, если полезная нагрузка требует большей емкости, чем обеспечивает VC-2 (вариант годится только для технологии SONET/SDH, учитывая, что VC-2 отсутствует в схеме мультиплексирования SDH);
- VC-11/VC-12, если полезная нагрузка требует емкости, превышающей возможности VC-11/VC-12 (вариант VC-11 годится только для технологии SONET/SDH).

Оба метода конкатенации обеспечивают пропускную способность, в X раз большую, чем исходная емкость контейнеров VC-п. Различие между ними заключается в том, что смежная конкатенация поддерживает требуемую емкость смежных контейнеров на всем пути их транспортировки, тогда как виртуальная конкатенация оперирует емкостями отдельных VC-п, транспортирует их отдельно и собирает вместе до требуемой смежной емкости только в конечной точке передачи. Таким образом, виртуальная конкатенация требует функциональности мультиконтейнера только в рамках оборудования в точке терминирования маршрута (path), тогда как смежная конкатенация требует этого от каждого сетевого элемента. Как указывалось, можно конвертировать типы конкатенации, но пока только на уровне контейнеров VC-4.

## Смежная конкатенация

Структура мультиконтейнера VC-4-Xс при смежной конкатенации показана на рис.1. Она состоит из составного *маршрутного заго-*

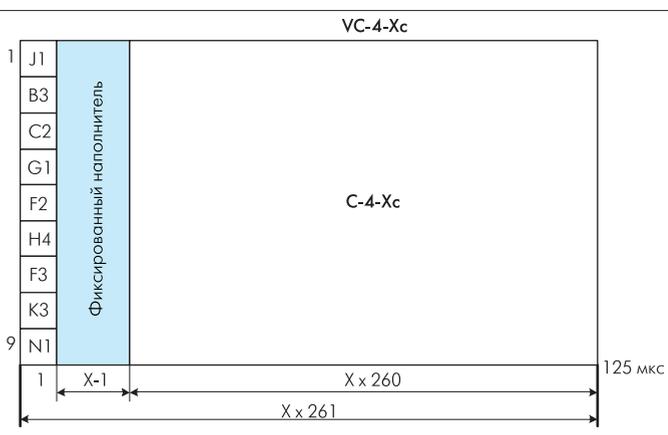


Рис. 1. Структура смежного мультиконтейнера верхнего уровня VC-4-Xс

ловка POH (9-X), в котором используется только POH первого VC-4 (9-1), а остальные составляют фиксированное заполнение размера 9-(X-1). Формируемое поле *полезной нагрузки* равно X-260 и состоит из смежных полей *административных блоков* AU-4 модуля STM-N. Так как структура смежных полей рассматривается как целое, то для определения ее местоположения достаточно одного POH первого VC-4, всегда расположенного в первом AU-4 [1]. Указатель этого AU-4 определяет позицию байта J1 первого VC-4 в мультиконтейнере VC-4-Xс. Указатели остальных смежных блоков AU-4 установлены в положение "конкатенированный" с использованием байтов заполнения. Полученные емкости (скорости) мультиконтейнеров приведены в табл.1.

Указанные емкости могут использоваться без ограничений при схеме передачи точка-точка. Если же используется кольцевая схе-

Таблица 1. Скорости мультиконтейнеров при смежной конкатенации

Уровень STM-N	STM-4	STM-16	STM-64	STM-256
Коэффициент X	4	16	64	256
Скорость VC-4-Xс, Мбит/с	599,040	2396,160	9584,640	38338,560

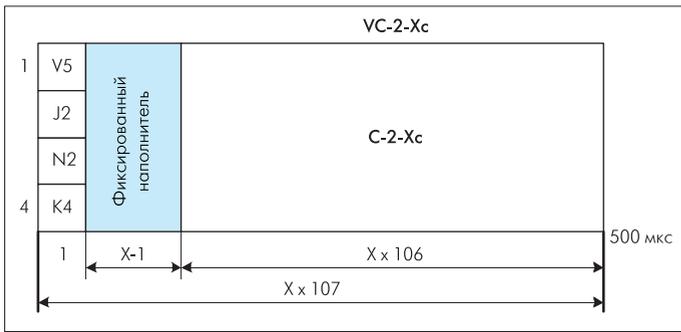


Рис.2. Структура смежного мультиконтейнера нижнего уровня VC-2-Xc

ма защиты MSSP Ring [1], то скорости VC-4-Xc могут быть ограничены (например,  $X \in 64$ ), если возникнет необходимость резервирования 50% полосы STM-N для схемы защиты.

Для сетей SONET и SONET/SDH, поддерживающих формат контейнера VC-2, допустимо объединение X смежных контейнеров VC-2. При этом формируется мультиконтейнер нижнего уровня VC-2-Xc (рис.2) с емкостью полезной нагрузки  $(X \cdot 4 \cdot 106) = X \cdot 424$  байта и структурой фрейма, повторяемого с частотой 2000 Гц (1/500 мкс). В результате формируется поток со скоростью X 6784 кбит/с. Учитывая, что коэффициент X может изменяться от 1 до 7 (в соответствии со схемой мультиплексирования SONET [1]), окончательно получаем, что допустимая емкость мультиконтейнера может изменяться от 6,784 до 47,488 Мбит/с с шагом 6,784 Мбит/с. Этот мультиконтейнер располагается в X смежных трибных блоках TU-2 контейнера VC-3 так, что 1-й столбец VC-2-Xc располагается в первом TU-2, а его начало (байт V5) определяется указателем этого TU-2 (указатели остальных смежных TU-2 фиксируют факт использования конкатенации).

**Виртуальная конкатенация**

Рассмотрим особенности виртуальной конкатенации с использованием контейнеров верхнего уровня: VC-3 и VC-4. Используя их виртуальные мультиконтейнеры обозначаются как VC-3/4-Xv (т.е. VC-3-Xv или VC-4-Xv). Эти контейнеры сформированы путем последовательного логического (виртуального) объединения (конкатенации) X отдельных контейнеров VC-3/4, как показано на рис.3. Факт объединения и номер в последовательности контейнеров указаны в байте H4 заголовка POH каждого контейнера VC-3/4.

В соответствии с рис.3 и учитывая, что фреймы контейнеров VC-3/4 (9·84 и 9·260 байт) повторяются с частотой 8 кГц, форми-

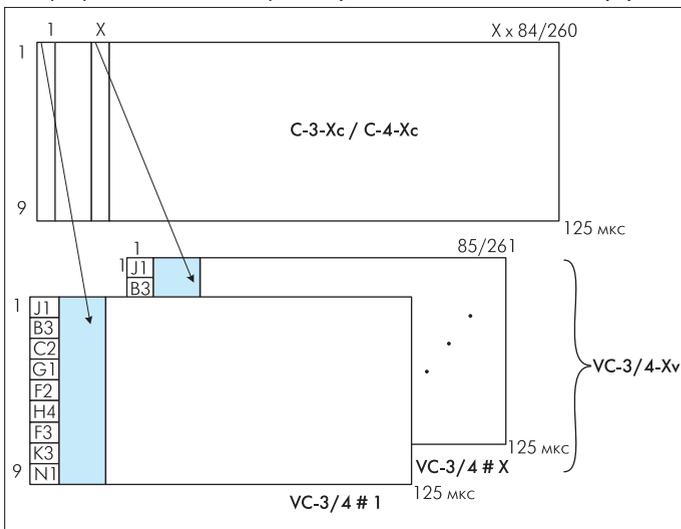


Рис.3. Структура виртуальных мультиконтейнеров верхнего уровня VC-3/4-Xv

Таблица 2. Скорости мультиконтейнеров VC-3-Xv при виртуальной конкатенации

Тип контейнера	Упакован в модуль STM-N	X	Скорость, Мбит/с	Шаг, Мбит/с
VC-3-Xv	STM-4	1-4	48,384-193,536	48,384
VC-3-Xv	STM-16	1-16	48,384-774,144	48,384
VC-3-Xv	STM-64	1-64	48,384-3096,576	48,384
VC-3-Xv	STM-256	1-256	48,384-12386,304	48,384
VC-4-Xv	STM-4	1-4	149,76-599,04	149,76
VC-4-Xv	STM-16	1-16	149,76-2396,16	149,76
VC-4-Xv	STM-64	1-64	149,76-9584,64	149,76
VC-4-Xv	STM-256	1-256	149,76-38338,56	149,76

руются мультиконтейнеры верхнего уровня VC-3/4-Xv с полезной нагрузкой емкостью 48,384X (VC-3-Xv) и 149,760 (VC-4-Xv) Мбит/с. Множитель X при этом может меняться от 1 до 4/16/64/256 в зависимости от максимального уровня иерархии используемого оборудования SDH. Формируемые при этом емкости полезных нагрузок мультиконтейнеров VC-3/4-Xv приведены в табл.2 (максимальная емкость VC-4-Xv такая же, как и VC-4-Xc, см. табл.1).

Как отмечалось выше, каждый из контейнеров VC-3/4 виртуального мультиконтейнера транспортируется по сети отдельно, что приводит к различным задержкам при их распространении, которые должны быть скомпенсированы в точке терминирования для формирования единого поля полезной нагрузки мультиконтейнера. Компенсируемая разница в задержках должна быть, по крайней мере, не меньше 125 мкс. Детальная структура байтов H4, схема формирования 4-битных индикаторов мультифреймов (MF1, MF2) и указателей номеров в последовательности (SQ) приведены в разделе 11.2 стандарта [3].

Рассмотрим особенности виртуальной конкатенации с использованием контейнеров нижнего уровня: VC-2, VC-12 и VC-11. Используя их виртуальные мультиконтейнеры обозначаются как VC-2/1-Xv (т.е. VC-2-Xv, VC-12-Xv или VC-11-Xv). Эти контейнеры сформированы путем последовательного логического объединения X отдельных контейнеров VC-2/12/11, как показано на рис.4 (он совмещен для всех трех типов контейнеров, параметры которых указаны через разделительную черту). Факт объединения и номер в последовательности контейнеров указаны в байтах V5 и K4 заголовка POH каждого контейнера VC-2/1.

Как и в отношении VC-3/4, каждый из контейнеров VC-2/12/11 виртуального мультиконтейнера также транспортируется по сети отдельно, и это приводит к различным задержкам при их распространении. Эти задержки должны быть скомпенсированы в точке терминирования для формирования единого поля полезной нагрузки мультиконтейнера. Компенсируемая разница в задержках должна

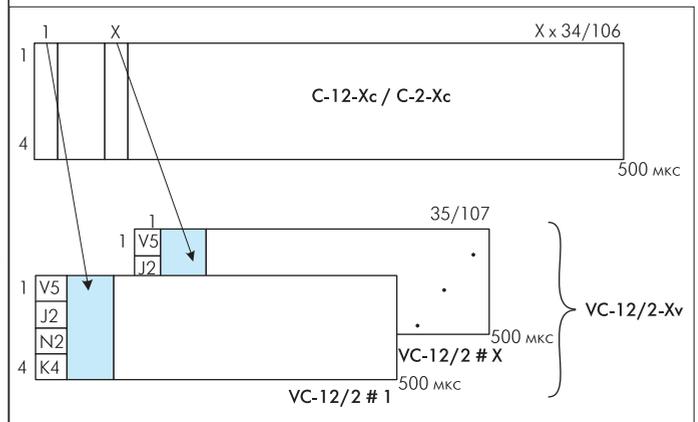


Рис.4. Структура виртуальных мультиконтейнеров нижнего уровня VC-2/1-Xv



**Таблица 3. Скорости мультиконтейнеров нижнего уровня при виртуальной конкатенации**

Тип контейнера	Упакован в контейнер	X	Скорость, Мбит/с	Шаг, Мбит/с
VC-11-Xv	VC-3*	1–28	1,600–44,800	1,600
VC-11-Xv	VC-4	1–64**	1,600–102,400	1,600
VC-11-Xv	Не определено	1–64	1,600–102,400	1,600
VC-12-Xv	VC-3	1–21	2,176–45,696	2,176
VC-12-Xv	VC-4	1–63	2,176–137,088	2,176
VC-12-Xv	Не определено	1–64	2,176–139,264	2,176
VC-2-Xv	VC-3	1–7	6,784–47,448	6,784
VC-2-Xv	VC-4	1–21	6,784–142,464	6,784
VC-2-Xv	Не определено	1–64	6,784–434,176	6,784

\* Эта опция используется только для сетей SONET/SDH, допускающих мультиплексирование по схеме C-1 15 VC-1 15 TU-1 15 TUG2 5 VC-3 5 AU-3 5 STM-0.  
 \*\* Ограничено 64, учитывая неэффективность и малую вероятность упаковки в VC-4 более 63 VC-11, а также ограничения на использование бит байта K4 для указания 6-битного номера SQ. В последнем случае может быть использован только бит 2 байта K4, что приводит к необходимости формировать последовательную строку из 32 бит, используя 4-фреймовые мульти-фреймы (подробнее см. [3]).

быть также не меньше 125 мкс. Формируемые при этом емкости полезной нагрузки мультиконтейнеров приведены в табл.3.

Для сетей SDH из табл.3 можно воспользоваться только опциями мультиконтейнеров VC-12-Xv, объединяющих контейнеры VC-12. При этом формируется полезная нагрузка  $(X \cdot 4 \cdot 34) = X \cdot 136$  байт со структурой фрейма, повторяемого с частотой 2000 Гц (1/500 мкс). В результате формируется поток со скоростью X·2,176 Мбит/с.

Для сетей SONET и SONET/SDH, поддерживающих форматы контейнеров VC-11 и VC-2, допустимо объединение X смежных контейнеров VC-11 и VC-2. При этом для VC-11 формируется мультиконтейнер VC-11-Xv с полезной нагрузкой  $(X \cdot 4 \cdot 25) = X \cdot 100$  байт и структурой фрейма, частота повторения которого 2000 Гц (1/500 мкс). Сформированный в результате этого поток имеет скорость X·1,600 Мбит/с. При использовании VC-2 получаем мультиконтейнер VC-2-Xv с аналогичной мультиконтейнеру VC-2-Xc емкостью полезной нагрузки, формирующей поток со скоростью X·6784 кбит/с.

### ИНКАПСУЛЯЦИЯ ТРАФИКА ETHERNET В КОНТЕЙНЕРЫ SDH

Как уже отмечалось, трафик Ethernet может быть инкапсулирован в контейнеры и мультиконтейнеры SDH путем использования и традиционной (смежной) инкапсуляции, однако это приводит к большим потерям емкости контейнеров. Эти потери вызваны несовпадением формируемых ими потоков 34-150-600-2400-9600-38400 Мбит/с (имеющих кратность 4) с потоками, формируемыми технологиями Ethernet: 10-100-1000-10000 Мбит/с (имеющих кратность 10). Более подробно и эмоционально указанные потери охарактеризованы в [4].

### Типы мультиконтейнеров, требуемых для передачи трафика Ethernet

Выход из создавшейся ситуации – в использовании возможностей виртуальной конкатенации. С помощью данных, приведенных в табл.1, 2 и 3, можно определить коэффициенты X и типы виртуальных контейнеров, которые наилучшим образом (с максимальным коэффициентом заполнения) инкапсулируют трафик различных тех-

нологий Ethernet. В результате получаем табл. 4, в которой указаны типы возможных мультиконтейнеров для соответствующих технологий, их емкости (скорости) в Мбит/с и процент заполнения их полезной нагрузки (PL) трафиком Ethernet.

Из табл. 4 видно, что процент использования полезной нагрузки исключительно высок: от 91,91 до 99,90 для контейнеров VC-12 (2 Мбит/с) при инкапсуляции E и FE; от 95,39 до 98,42 для контейнеров VC-3 и VC-4 (34/140 Мбит/с) при инкапсуляции GE; от 99,37 до 99,66 для контейнеров VC-3 и VC-4 (34/140 Мбит/с). Очевидно также, что для инкапсуляции низкоскоростного трафика (10/100 Мбит/с) оптимальным является использование мультиконтейнеров нижнего уровня с большей гранулярностью, тогда как для инкапсуляции высокоскоростного трафика (1/10 Гбит/с) оптимальным является использование мультиконтейнеров верхнего уровня с меньшей гранулярностью.

Что касается заголовков (SOH и POH) и пустых столбцов фиксированных наполнителей (стаффинга), которые используются при сборке фреймов SDH, то их легко учесть, принимая во внимания схему сборки конкретного мультиконтейнера [1]. Например, для мультиконтейнера VC-4-7v можно оценить, что эффективность использования полезной нагрузки для передачи GE составляет с учетом SOH 96,66% и POH VC-4 99,62%. Это дает конечную эффективность виртуальной конкатенации (95,39%) порядка 91,85%. Если же использовать для той же цели мультиконтейнер VC-3-21v, то мы получим практически тот же процент использования (даже при условии, что за счет POH VC-3 эффективность снижается до 96,55%). Говорить о том, что еще 50% может быть снято в результате резервирования, не совсем корректно, потому что можно и не резервировать трафик Ethernet или резервировать его за счет использования пары дополнительных волокон.

Вместе с тем нужно иметь в виду, что на практике могут применяться и другие схемы виртуальной конкатенации. Например, для передачи FE в большинстве случаев используется более простая схема конкатенации VC-3-2v, несмотря на то, что емкость мультиконтейнера при этом составляет 96,768 Мбит/с, т.е. формально меньше требуемой, что напоминает, например, ситуацию с "овербукингом" (когда суммарные обязательства провайдера услуг превышают возможности сети) в сетях Frame Relay. Однако снижение полезной пропускной способности при этом будет незначительным и может наблюдаться только для кадров максимальной длины (1500 байт).

Существуют и другие ситуации, когда требуется корректировка размера мультиконтейнера. Например, если используется помехоустойчивое кодирование с помощью кодеров Рида-Соломона, то вместо мультиконтейнера VC-4-67v для передачи 10GE применяют мультиконтейнер VC-4-68v емкостью 10183,680 Мбит/с, что приводит к уменьшению процента использования полезной нагрузки с 99,66% до 98,2%. На это идут сознательно для улучшения надежности, т.е. для уменьшения уровня BER.

Есть и еще одна возможность использования существенно меньшей емкости мультиконтейнера, например так, как это делает Lucent в системах SDH уровня STM-4 [5], а именно: использовать мультиконтейнеры VC-4-4v емкостью примерно 600 Мбит/с для пе-

**Таблица 4. Типы и емкости виртуальных мультиконтейнеров для передачи трафика Ethernet**

Уровень STM-N	STM-4	STM-4	STM-4	STM-4	STM-4	STM-16	STM-64	STM-64	STM-64	STM-256
Ethernet	VC-11-7v	VC-12-5v	VC-11-63-v	VC-12-46v	VC-2-15v	VC-3-2v	VC-3-21v	VC-4-7v	VC-3-208v	VC-4-67v
10 Мбит/с	11,200	10,880	–	–	–	–	–	–	–	–
100 Мбит/с	–	–	100,800	100,096	101,760	96,768	–	–	–	–
1 Гбит/с	–	–	–	–	–	–	1016,064	1048,320	–	–
10 Гбит/с	–	–	–	–	–	–	–	–	10063,872	10033,920
% от PL	89,29	91,91	99,21	99,90	98,27	103,34	98,42	95,39	99,37	99,66

редачи трафика GE, с возможностью применять механизм инверсного статистического мультиплексирования при условии наличия нескольких входных портов карты Ethernet и гибкого использования набора мультиконтейнеров VC-3-Xv (X=1,2) и VC-4-Xv (X=1-4) емкостью в диапазоне от 50 до 600 Мбит/с.

**Возможность динамического изменения емкости звена связи**

Известно, что в процессе передачи могут возникнуть различные ситуации, приводящие к изменению емкости звена связи и требующие не только общих управляющих воздействий (что является прерогативой системы управления TMN), но и специального менеджмента на уровне поддержания трафика, использующего виртуальную конкатенацию. С учетом этого для систем SDH нового поколения была разработана схема (процедура) динамического изменения пропускной способности звена связи (Link Capacity Adjustment Scheme – LCAS). Эта схема является, по сути, расширением виртуальной конкатенации и позволяет динамически изменять число контейнеров в связке, называемой группой виртуальной конкатенации (Virtual Concatenation Group – VCG).

С помощью LCAS каналы (поток контейнеров с установленными точками формирования/сборки и расформирования/разборки) могут быть добавлены в VCG и удалены из нее без потери трафика пользователей. LCAS допускает регулировку полосы пропускания (масштабирование производительности) в нормальном режиме. Даже если произойдет авария и часть соединений невозможно будет установить, оставшиеся каналы будут продолжать передачу трафика в режиме с уменьшенной полосой пропускания. Полоса автоматически восстановится, как только авария будет ликвидирована или произойдет защитное резервное переключение.

Синхронизация изменений емкости каналов осуществляется для передающей (So) и приемной (Sk) сторон с помощью управляющего пакета. Каждый такой пакет описывает состояние звена передачи. Все изменения посылаются заранее, так чтобы приемная сторона могла переключиться на новую конфигурацию в момент прихода вновь сконфигурированного потока данных.

Пакет управления от So к Sk содержит указатель мультифрейма (MFI), указатель последовательности (SQ), поле управления (CTRL) и идентификатор группы (Gid), а пакет управления от Sk к So содержит поле статуса члена VCG (контейнера), т.е. (MST), и подтверждение присвоения новых номеров контейнеров – членов группы RS-Ack, см. подробно в работе [6].

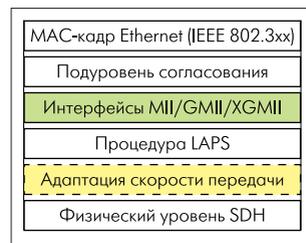
Указатель мультифрейма MFI на стороне So одинаков для всех членов группы VCG и увеличивается с каждым фреймом. На стороне Sk он позволяет определить дифференциальную задержку между членами той же группы VCG и используется для выравнивания полезной нагрузки всех членов этой группы. Указатель последовательности SQ содержит последовательный номер, присвоенный конкретному члену группы VCG.

При добавлении новых членов группы, а также при их временном или окончательном удалении, нумерация контейнеров мультиконтейнера меняется в соответствии с протоколом LCAS, описанным в работе [6]. Разработчики [6] также предусмотрели возможность нормального взаимодействия SDH-оборудования различных поколений, одни из которых поддерживают VCAT и LCAS, а другие нет.

**МЕТОДЫ ПАКЕТИЗАЦИИ ТРАФИКА ETHERNET ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ПО СЕТИ SDH**

Для передачи трафика по сети SDH традиционно использовались несколько методов упаковки трафика (кадров) Ethernet во фреймы SDH:

- процедура доступа к звену передачи для SDH, или упаковка с помощью процедуры LAPS;
- передача Ethernet поверх SDH, или упаковка с помощью процедуры EOS;
- обобщенная процедура фреймирования – упаковка с помощью процедуры GFP.



**Рис.5. Место процедуры LAPS в схеме упаковки кадра Ethernet для передачи по сети SDH**

**Процедура (протокол) LAPS**

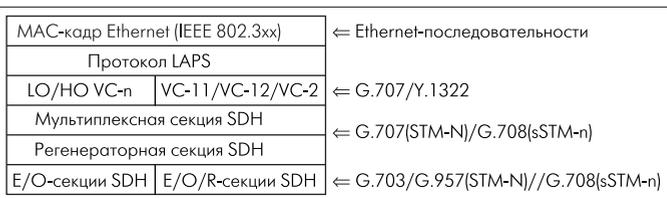
LAPS (Link Access Procedure – SDH) – процедура доступа к звену передачи для SDH – протокол уровня 2 семиуровневой модели OSI, разработанный для технологии SDH сначала для передачи пакетного трафика IP (ITU-T X.85, [7]), а затем Ethernet (ITU-T X.86, [8]) и других пакетных технологий. Этот протокол, как и другие процедуры типа LAPx, основанные на протоколе HDLC, использует поле данных для инкапсуляции MAC-кадра Ethernet (IEEE 802.3), как показано на рис.5, для последующей дуплексной передачи в сети SDH с топологией точка-точка.

Здесь MAC-кадр Ethernet соответствует кадрам различных вариантов Ethernet: IEEE 802.3 (E), 802.3u (FE), 802.3ab (GE) или 802.3ae (10GE). MII/GMII/XGMII – Media/Gigabit Media/10 Gigabit Media Independent Interface – интерфейс/гигабитный интерфейс/10-гигабитный интерфейс, независимый от среды передачи – спецификация подуровня физического уровня для высокоскоростных (100 Мбит/с и выше), гигабитных (1 Гбит/с) и 10-гигабитных (10 Гбит/с) технологий Ethernet (на момент публикации версия LAPS, обслуживающая 10GE, отсутствовала). Адаптация скорости – механизм, приводящий в соответствие скорость Ethernet MAC MII/GMII и скорость виртуальных контейнеров VC SDH, учитывая различный характер функционирования Ethernet и SDH.

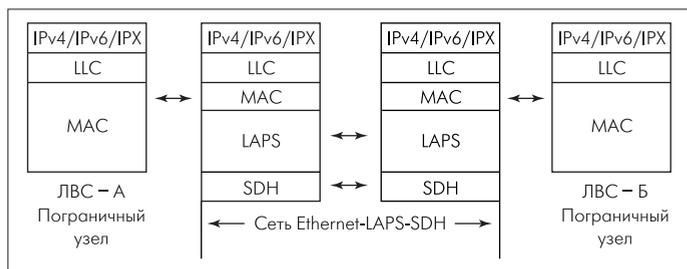
Общий стек протоколов/уровней модели взаимодействия Ethernet-LAPS-SDH показан на рис.6. В этой модели со стороны SDH могут быть использованы как виртуальные контейнеры верхнего уровня VC-3/VC-4, так и нижнего уровня VC-11, VC-12 и VC-2, причем в последнем случае они могут быть ориентированы не только на стандартные скорости модулей STM-N в соответствии с рекомендацией ITU-T G.707 [3], но и на скорости submodule sSTM-n в соответствии с рекомендацией ITU-T G.708 [9] (см. также [8]). Этот факт позволяет использовать на физическом уровне не только электрические и оптические секции (E/O), но и радиорелейные (E/O/R).

Указанный стек протоколов соответствует трехуровневой модели OSI и может быть представлен развернутой моделью взаимодействия сетей ЛВС Ethernet (пограничный узел А с пограничным узлом Б) через сеть SDH, представленную двумя узлами (рис. 7).

Сопоставление рис.6 и 7 показывает, что физический уровень, представленный SDH, фактически состоит из четырех подуровневой модели SDH: подуровня виртуальных контейнеров VC-n, подуровней мультиплексной и регенераторной секций и секции конверта-



**Рис.6. Стек протоколов/уровней модели взаимодействия Ethernet-LAPS-SDH**



**Рис.7. Конфигурация протоколов сети Ethernet-LAPS-SDH**

ции фреймовой SDH-последовательности в электрический, оптический или радиосигнал, подаваемый в линию связи.

Скорость передачи в линии связи определяется несколькими факторами: типом используемого стандарта Ethernet; скоростью синхронного модуля STM-N [3] или submodule sSTM-n [9]; выбранной схемой конкатенации контейнеров, описанной выше; коэффициентом избыточности схемы шифрования/дешифрации, используемой при вводе/выводе информации в поле/из поля полезной нагрузки.

Протокол LAPS фактически функционирует как подуровень физического кодирования, обеспечивающего передачу в режиме "точка-точка" виртуальных контейнеров через сеть SDH и требуемые интерфейсные скорости. Как и другие протоколы типа LAPx (например, LAPD), он поддерживает сервис передачи информации без подтверждения приема (Unacknowledged Information Transfer Service – UITS), характерный для дейтаграммных сетей (ЛВС), и использует адаптацию по скорости между LAPS и SDH, а именно: согласование скорости на интерфейсе Ethernet MAC MII (см. рис.5) и скорости контейнеров SDH VC. Такое согласование нужно, чтобы предотвратить возможность записи MAC-кадра в заголовок модуля

Флаг (7e: 01111110)	1 байт
Адрес HDLC (04: 00000100)	1 байт
Управление HDLC (03: 00000011)	1 байт
SAPI LAPS	2 байта
MAC-кадр: адрес назначения (DA)	6 байт
MAC-кадр: адрес источника (SA)	6 байт
MAC-кадр: длина поля данных	2 байта
MAC-кадр: поле данных	46–1500 байтов
MAC-кадр: байты дополнения (PAD)	
MAC-кадр: поле FCS	4 байта
Поле FCS LAPS	4 байта
Адаптация скорости (стаффинг) (7d,dd)	переменной длины
Флаг (7e: 01111110)	1 байт
Межкадровый зазор	1 байт

**Рис.8. Формат кадра LAPS с упакованным Ethernet MAC-кадром**

SDH, учитывая различный характер функционирования SDH (синхронизируемая периодическая последовательность модулей) и Ethernet MAC-уровня (монопольная пакетная передача).

Всякое согласование скоростей требует, как известно, использования процедур стаффинга (в PDH/SDH это добавление битов/байтов наполнителей [1], а здесь кадров паузы – PF), что вызывает негативную реакцию у специалистов [4], записывающих штрафные очки данному методу/протоколу упаковки трафика Ethernet при его передаче по сети SDH. Этот метод, однако, широко используется и в оборудовании SDH новой генерации (см., например, карты X8PL мультиплексора SDH новой генерации компании Lucent [5]) наряду с протоколом GFP.

*Формат кадра протокола LAPS.* Кадр Ethernet стандарта IEEE 802.3 имеет переменную длину поля данных и состоит из 8 полей [10], из которых первые два: *преамбула* – 7 байт и *ограничитель начала кадра (SFD)* – 1 байт, отбрасываются при инкапсуляции в поле протокола LAPS. Максимальная длина остальных (инкапсулируемых) шести полей равна 1518 байтам: по 6 байт – *адрес назначения (DA)* и *адрес источника (SA)*, 2 байта – *длина поля данных (L)*, 46-1500 – *поле данных (Data)* с фиксированным наполнителем поля данных до минимальной длины: 46 байт (PAD), если требуется, и 4 байта *последовательности контроля кадра (FCS)*.

Кадр протокола LAPS (рис.8) имеет переменную длину и состоит из 7 полей [8]: первое и последнее поля – флаги (по 1 байту), второе поле – *адрес* (1 байт), третье – *управление* (1 байт), четвертое – *идентификатор точки доступа к сервису – SAPI* (2 байта), пятое – *поле данных*, куда и упаковывается кадр Ethernet (после отбрасывания преамбулы и SFD) максимальной длины 1518 байт, шестое – поле FCS, используемое для контроля LAPS (4 байта). Максимальная длина кадра LAPS при этом 1528 (1518+10) байт.

Можно констатировать, что при отсутствии адаптации скорости кадр протокола LAPS отличается от кадра Ethernet всего на 2 байта (1528 против 1526). Однако при необходимости выравнивания (адаптации) скоростей процедура LAPS вставляет последовательности (7d,dd), или (01111101, 11011101), перед конечным флагом, прежде чем отправить кадр LAPS в сеть SDH. Эти вставки и есть тот стаффинг, так и не показанный в [4].

### Процедура EOS

EOS (Ethernet Over SONET/SDH – Ethernet поверх SONET/SDH) была разработана в компании Lucent в рамках корпоративной техно-

логии TransLAN. Учитывая, что эта технология не стандартизована, она не рассматривается в рамках данной статьи.

### Процедура GFP

GFP [11] и ее сравнение с процедурой LAPS будут рассмотрены во второй части статьи в следующем номере журнала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Слепов Н.Н.** Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – 2-е изд. исправл. – М.: Радио и связь, 2003.
2. ITU-T G.709/Y.1331. Synchronous Multiplexing Structure (88, 91, 3.93).
3. ITU-T G.707/Y.1322. Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (96; 10.00; 11.01; 8.03; 12.03); Corr. 1, 2, 3 (3.01, 11.01, 3.03); Erratum 1 (9.02); Amendment 1, 2 – Internet protocol Aspects – Transport (11.01; 8.02).
4. **Бакланов И.** NGSDH: успех неизбежен. Ч.1. Новые принципы изменений в современных системах передачи данных. – Connect! Мир связи, 2004, №11, с. 164–167.
5. Metropolis AMU. Release 1.0. User Operations Guide. – 365-312-787, Issue 1, June 2004.
6. ITU-T G.7042/Y.1305. Link capacity adjustment scheme (LCAS) for virtual concatenated signals (11.01); Corr. 1, 2 (6.02, 3.03).
7. ITU-T X.85/Y.1321. IP over SDH using LAPS (3.00, 3.01).
8. ITU-T X.86/Y.1323. Ethernet over LAPS (2.01); Amendment 1: Using Ethernet flow control as rate limiting (4.02).
9. ITU-T G.708. Sub STM-0 network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH) (7.99).
10. IEEE 802.3-2002 – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications. (То же, что ANSI/IEEE 802.3 и ISO/IEC 8802.3).
11. ITU-T G.7041/Y.1303. Generic Framing Procedure (GFP) (12.01, 3.03); Corr. 1 (12.03); Amendment 1, 2 (6.02, 3.03).