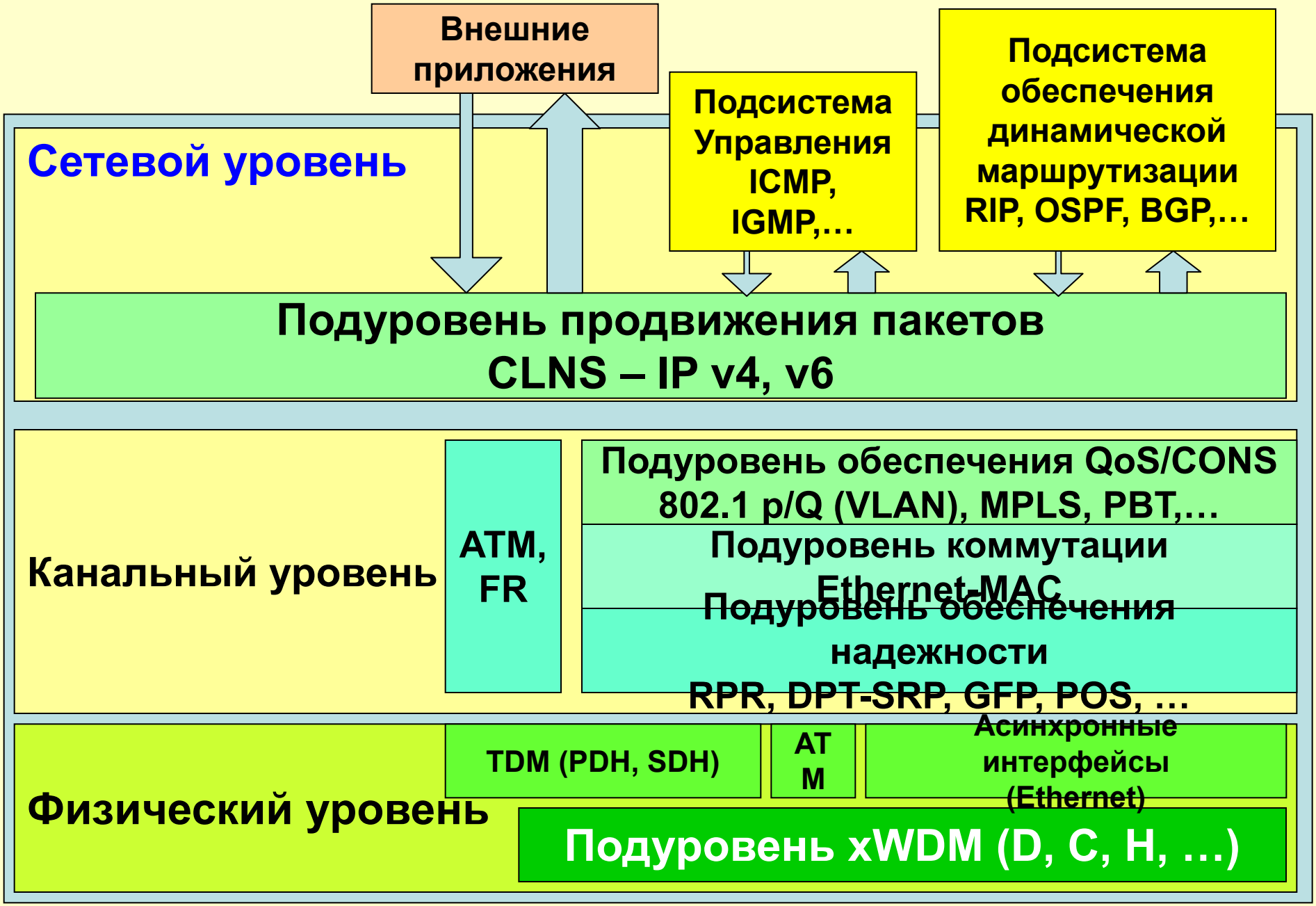
Технологии физического уровня (L1)

Костюкович А.Е.
Каф.АЭС, СибГУТИ
www.aek-54.ru

Архитектура протоколов ядра транспортной сети:



ПЛАН Темы 4

1. Синхронные технологии уровня L1
   1. Технологии TDM
      1. Плезиохронная иерархия – PDH
      2. Синхронная иерархия
   2. Технология ATM
   3. Синхронный Ethernet
2. Асинхронные технологии
   1. Ethernet
3. Технологии FDM
4. Технологии WDM

Синхронные технологии уровня L1

1. Технологии TDM
   1. Плезиохронная иерархия – PDH
   2. Синхронная иерархия
2. Технология ATM
3. Синхронный Ethernet

Технологии TDM.

Плезиохронная иерархия – PDH

Технологии TDM. Плезиохронная иерархия – PDH

Специфицирована ITU-T в рек. G.703, G.704.

Уровни иерархии, скорость передачи - V и количество ОЦК (64-х кбит/с каналов) – N:

Уровень цифровой иерархии	Европейский стандарт (E*x*)			Американский стандарт (T*x*)		
	обозначение	V кбит/с	N	обозначение	V кбит/с	N
1, первичный	E1	2048	32	T1	1544	24
2, вторичный	E2	8448	120	T2	6312	96
3, третичный	E3	34368	480	T3	44736	672
4, четвертичный	E4	139264	1920	T4	274176	4032

В качестве физической среды может использоваться:

- **Симметричная витая пара (обычно КСПП-1*4)**
- **Коаксиальный кабель**
- **Радиосреда (РРЛС)**
- **Оптический кабель**

Технологии TDM. Плезиохронная иерархия – PDH

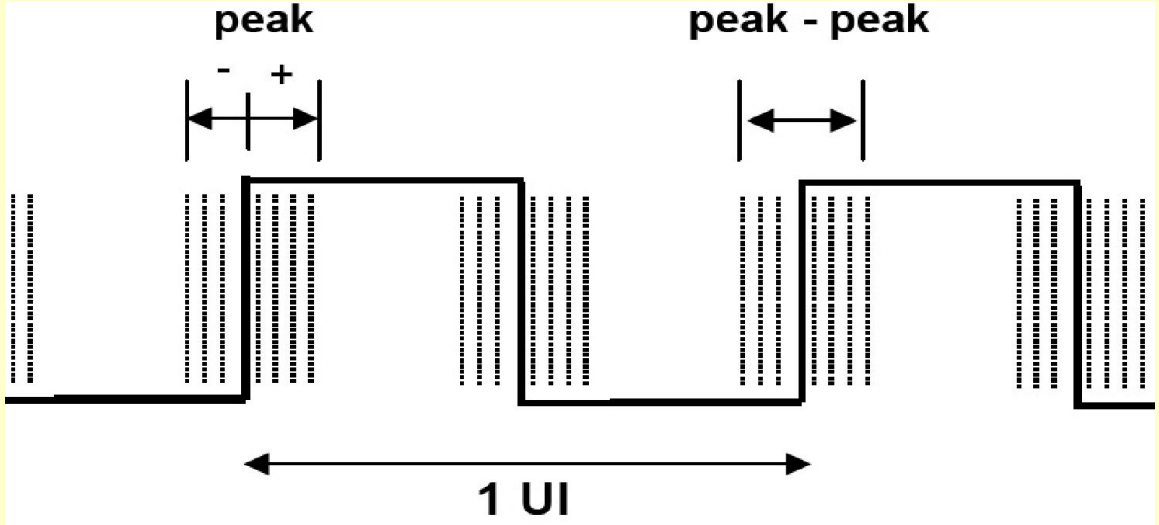
Электрические характеристики интерфейса E1 (G.703).

Характеристика	Значения	
Среда передачи	Симметричная пара	Коаксиал
Импеданс	120 Ом	75 Ом
Уровень логич. «1»	3 В	2.37 В
Уровень логич. «0»	0 ± 0.3 В	0 ± 0.237 В
Ширина импульса (код HDB3)	244 нс	
Ширина бита (UI – Unit Inteval)	488 нс	
Джиттер (G.823)	0.2 UI 20% от длины бита или 97,6 нс	

Технологии TDM. Плезиохронная иерархия – PDH

Электрические характеристики интерфейсов PDH (G.703). Джиттер (G.823)

Интерфейс	Скорость кбит/с	UI	Джиттер Доля UI / нс
ОЦК	64	15.6 мс	0.25 / 3,9 мс
E1	2 048	448 нс	0.2 / 97,6 нс
E2	8 448	118 нс	0.2 / 23,6 нс
E3	34 368	29.1 нс	0.15 / 4,365 нс
E4	139 264	7.18 нс	0.075 / 0,3135 нс



Технологии TDM. Плезиохронная иерархия – PDH

Недостатки PDH:

- Сложный и негибкий ввод/вывод цифровых потоков, что затрудняет ввод / вывод (Add/Drop) потоков на транзитных узлах
- Отсутствие средств автоматического сетевого контроля и управления (TMN), что удорожает эксплуатацию PDH
- Наличие трех различных иерархий (Европа, США, Япония)
- Интерфейсы E4 практически не используются из-за высоких требований к стабильности задающего генератора
- Для ядра МСС у PDH недостаточна скорость передачи
- PDH не поддерживает кольцевых топологий, что не позволяет использовать PDH в ядре сети (недостаточна надежность)

Технологии TDM.

Синхронная иерархия – SDH

Технологии TDM. Синхронная иерархия – SDH

Специфицирована ITU-T в рек. G.707…G.709.

Уровни иерархии, скорость передачи - V и количество E1 (2048 кбит/с потоков) – N_{E1}:

Уровень цифровой иерархии SDH (SONET)	V Мбит/с	N_{E1}	UI / Джиттер
STM-0 (OC-1)	51,840	21	19.29 нс / 0,1 UI
STM-1 (OC-3)	155,520	63	6.43 нс / 0,1 UI
STM-4 (OC-12)	622,080	252	1.61 нс / 0,1 UI
STM-16 (OC-48)	2448,320	1 008	401.9 пс / 0,1 UI
STM-64 (OC-192)	9953,280	4 032	100.5 пс / 0,1 UI
STM-256 (OC-768)	39813,120	16 128	25 пс / 0,1 UI

В качестве физической среды может использоваться:

- **Радиосреда (РРЛС)**
- **Оптический кабель**

Технологии TDM. Синхронная иерархия – SDH

Достоинства SDH

.Высокие скорости передачи

.Большая емкость информационных каналов (Payload)

.Наличие многих служебных каналов

.Поддержка современных интерфейсов – NG SDH (E1/E3, ATM, Ethernet,…)

.Поддержка стандартов централизованного управления TMN, что снижает затраты на эксплуатацию

.Синхронная передача и мультиплексирование (до 10^{-12})

.Высокий уровень стандартизации

.Применяемый в SDH принцип формирования цифровых потоков позволяет осуществлять их ввод/вывод в любом необходимом пункте без преобразований всего массива передаваемой полезной информации (гибкие мультиплексоры)

.Надежная защита трафика (кольцевые топологии, 1:1, 1 + 1)

.Современная компонентная база

Характеристики Протоколов/Интерфейсов уровня L1

Для систем **с коммутацией пакетов** обычно определяется так называемая **аппаратная пропускная способность** сетевых интерфейсов, которая может быть определена:

- На уровне L1 – в Мбит/с. Стандартными интерфейсами физического уровня, используемыми в сетях с КП являются:
  - **E1/T1** – интерфейс (TDM) – 2048/1536 кбит/с
  - **STM-N** – интерфейс (TDM) – от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с
  - **100-BT** (FE), **GE** (1Гбит/с), **10 GE** – асинхронные интерфейсы
- На уровне L2 – в количестве кадров, ячеек, или сигнальных единиц в секунду.

При этом **аппаратная пропускная способность** сетевых интерфейсов в сети с КП за счет использования **статистического мультиплексирования** может быть **гибко распределена между различными приложениями**, а пропускная способность для отдельного приложения может изменяться в течение сеанса.

Интерфейсы и протоколы L1

Низкая эффективность использования пропускной способности TDM интерфейсов системами с КК (Кэфф<=25%) заставила искать способы повышения этой эффективности.

Особенно остро низкий Кэфф стал проявляться для высокоскоростных интерфейсов SDH.

В качестве компромиссных решений стали предлагаться варианты совместного использования дорогой пропускной способности в синхронных системах SDH системами КК и КП.

Другими характеристиками протоколов и интерфейсов физического уровня являются:

- **BER** (Р ош, бит)
- **Т зад** (мс, мкс, …), **Т распространения**

Интерфейсы и протоколы L1

Первым решением (1999г.), направленным на использование качественных, но дорогих интерфейсов SDH в пакетных сетях был стандарт **IETF RFC 2615** PPP over SONET/SDH (POS), но его применение было ограничено использованием соединений – точка-точка. Дальнейшим развитием стали стандарты ITU-T 2001г. **X.85/Y.1321**(IP over SDH using LAPS) и **X.86/Y.1323** (Ethernet over LAPS).

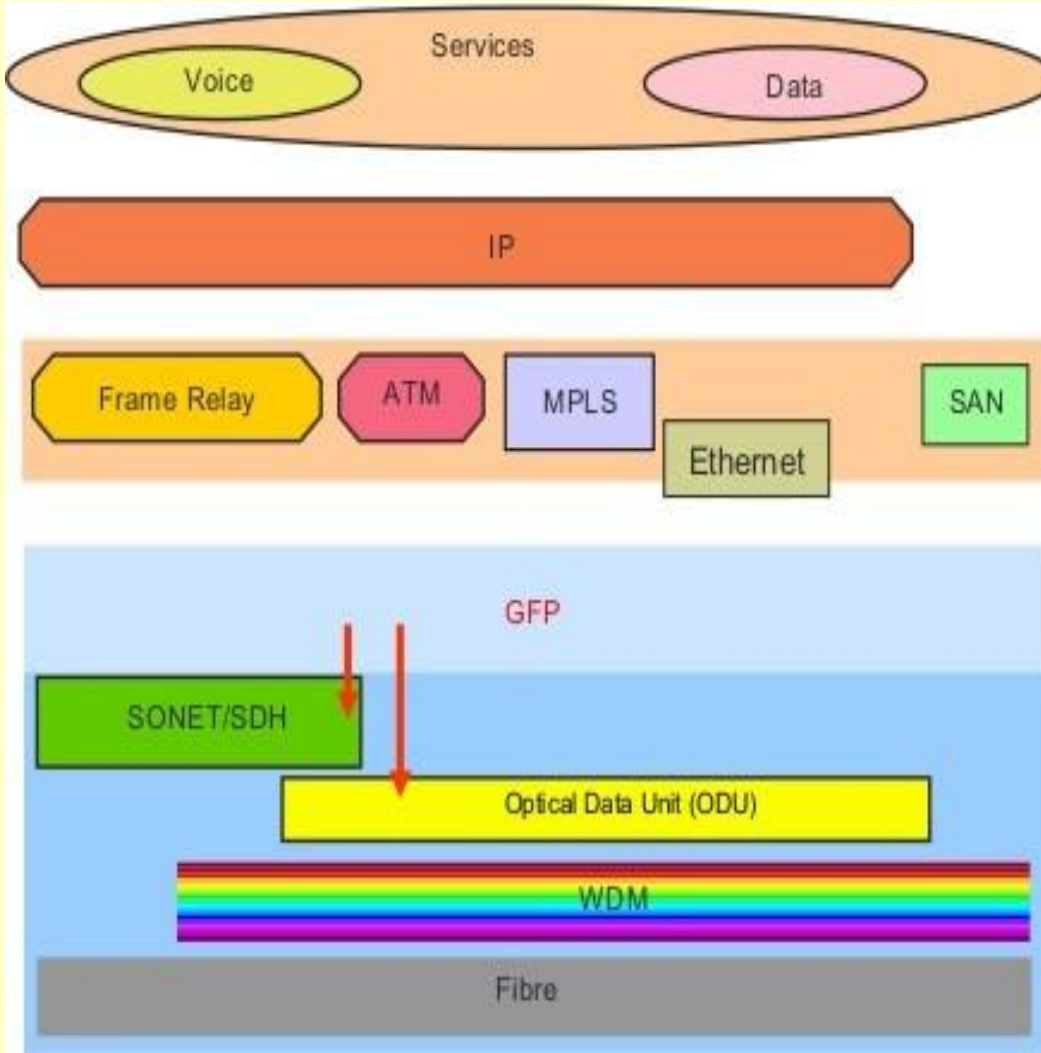
Обобщением этих вариантов стал стандарт ITU-T **G.7041/Y.1303** (2003г, последние версии – 2011г.) **GFP** (Generic framing procedure), допускающий использование IP/MPLS, Ethernet, PPP и др. поверх кольцевых топологий SDH-сетей.

Достоинством GFP является не только возможность использования большинства современных пакетных протоколов поверх SDH (см. биты PTI), но и наличие собственной системы управления сетью NG SDH (GFP), предполагающей использование служебных пакетов для обнаружения отказов в кольцевых топологиях, сбоев синхронизации, переключения на резервные пути.

Интерфейсы и протоколы NG SDH

Основное применение SDH с момента ее появления — построение транспортных **первичных сетей** для передачи потоков E1 между коммутаторами ТфОП (АТС).

С развитием компьютерных сетей, Интернета, технологий передачи данных (FR, ATM и т.д.) инфраструктуру транспортных сетей на основе SDH все чаще применяют для организации цифровых каналов сетей передачи данных (т.е. строят наложенные вторичные сети ПД поверх SDH).



Интерфейсы и протоколы NG SDH

Недостатки использования «классического» SDH для передачи данных наиболее остро стали проявляться при необходимости предоставления широкополосных услуг связи (локальных сети, сети ТВ):

- Во-первых, это необходимость в преобразовании интерфейсов LAN (Ethernet) к интерфейсам SDH (E1, E3, STM-1, STM-4 и т.д.), используя промежуточные устройства, такие, как FRAD, ATM IAD, IP маршрутизаторы и т.д.
- Во-вторых, небольшой ряд возможных скоростей передачи данных (который к тому же слабо коррелируется с рядом скоростей LAN: 10, 100, 1000 Мбит/с), значительно ограничивает возможности эффективного предоставления услуг, либо требует применения в подключаемом оборудовании дополнительных схем (например, инверсное мультиплексирование).

Т.о. типичный результат при добавлении служб данных к традиционным SDH сетям — увеличение сложности оборудования и повышение стоимости.

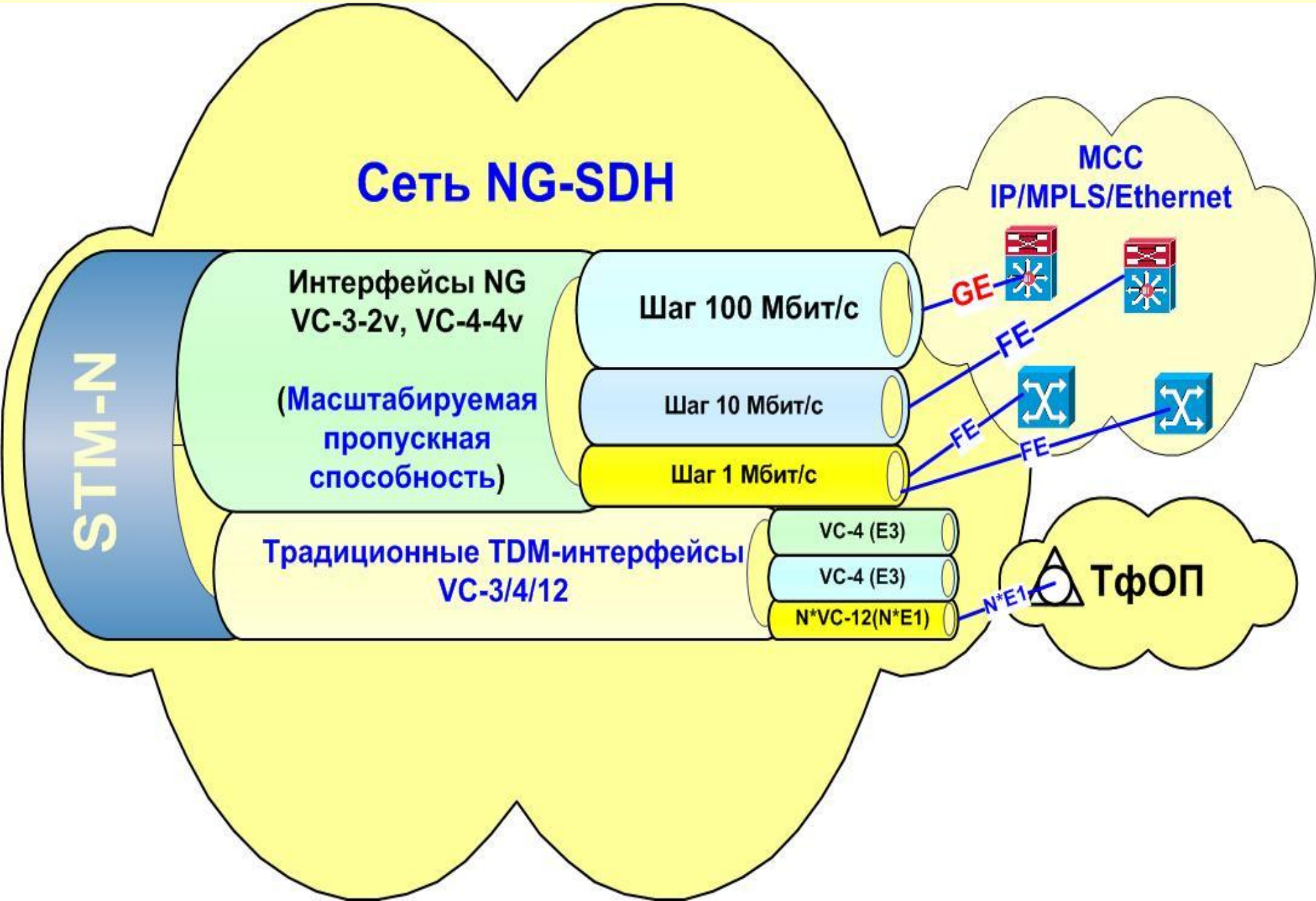
Интерфейсы и протоколы NG SDH

Для преодоления этих ограничений, производители SDH оборудования пошли по пути создания систем SDH следующего поколения (**Next Generation SDH, NG SDH**).

Оборудование **NG SDH** имеет интегрированные интерфейсы передачи данных (в частности, Ethernet), а также использует новые технологии, которые позволяют более эффективно выделять требуемую полосу для служб данных и обеспечивать низкую стоимость внедрения этих технологий в уже существующие сети, так как поддержка дополнительной функциональности требуется только на граничных узлах сети.

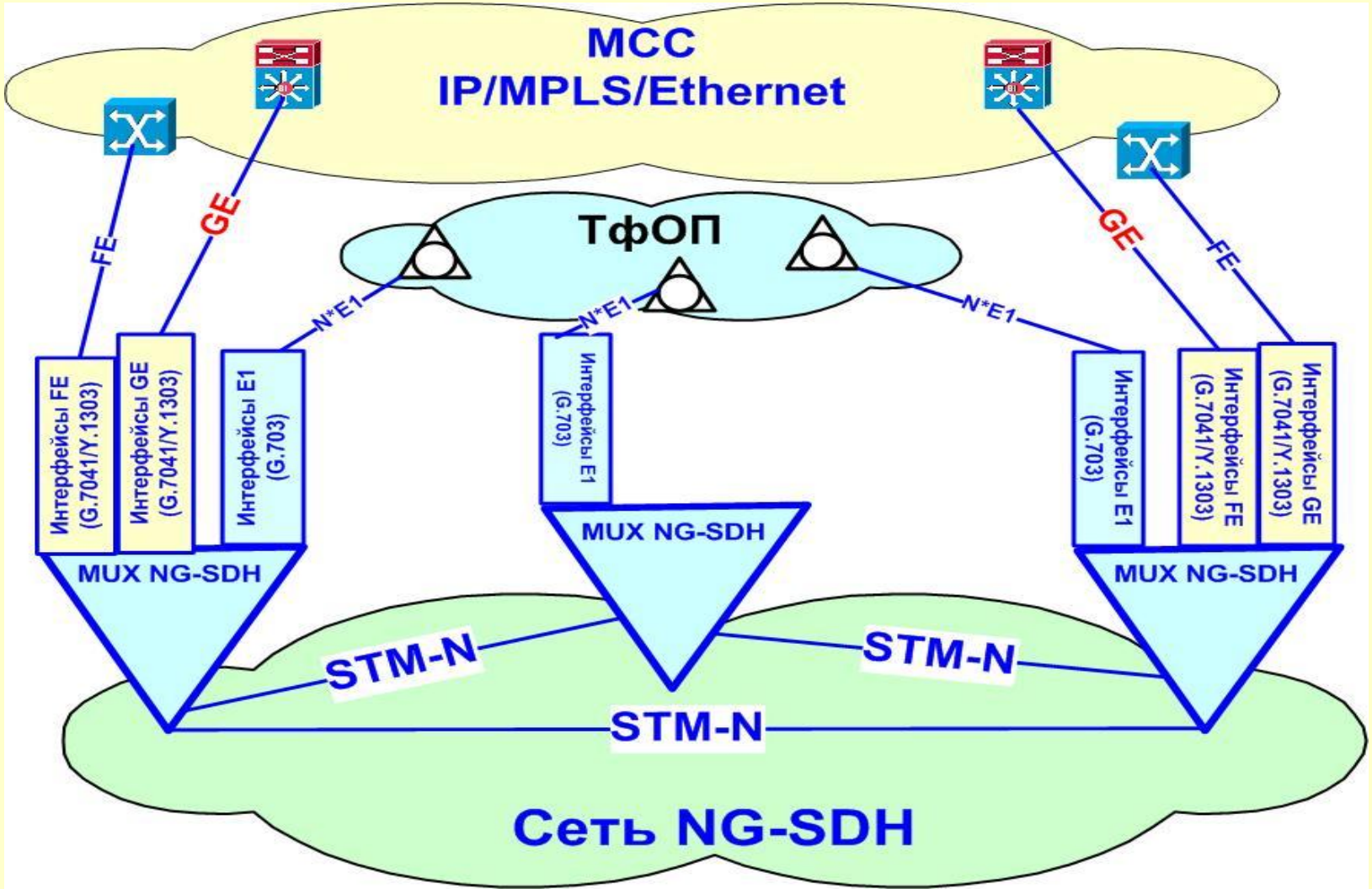
Системы **NG SDH** – это многофункцональные мультисервисные платформы, предоставляющие множество услуг без дороговизны и сложности наложенных сетей.

Интерфейсы и протоколы NG SDH



Интерфейсы и протоколы NG SDH – GFP

Динамическое использование полосы пропускания систем передачи SDH, позволяет значительно повысить эффективность использования ресурсов NG SDH



Компоненты NG SDH

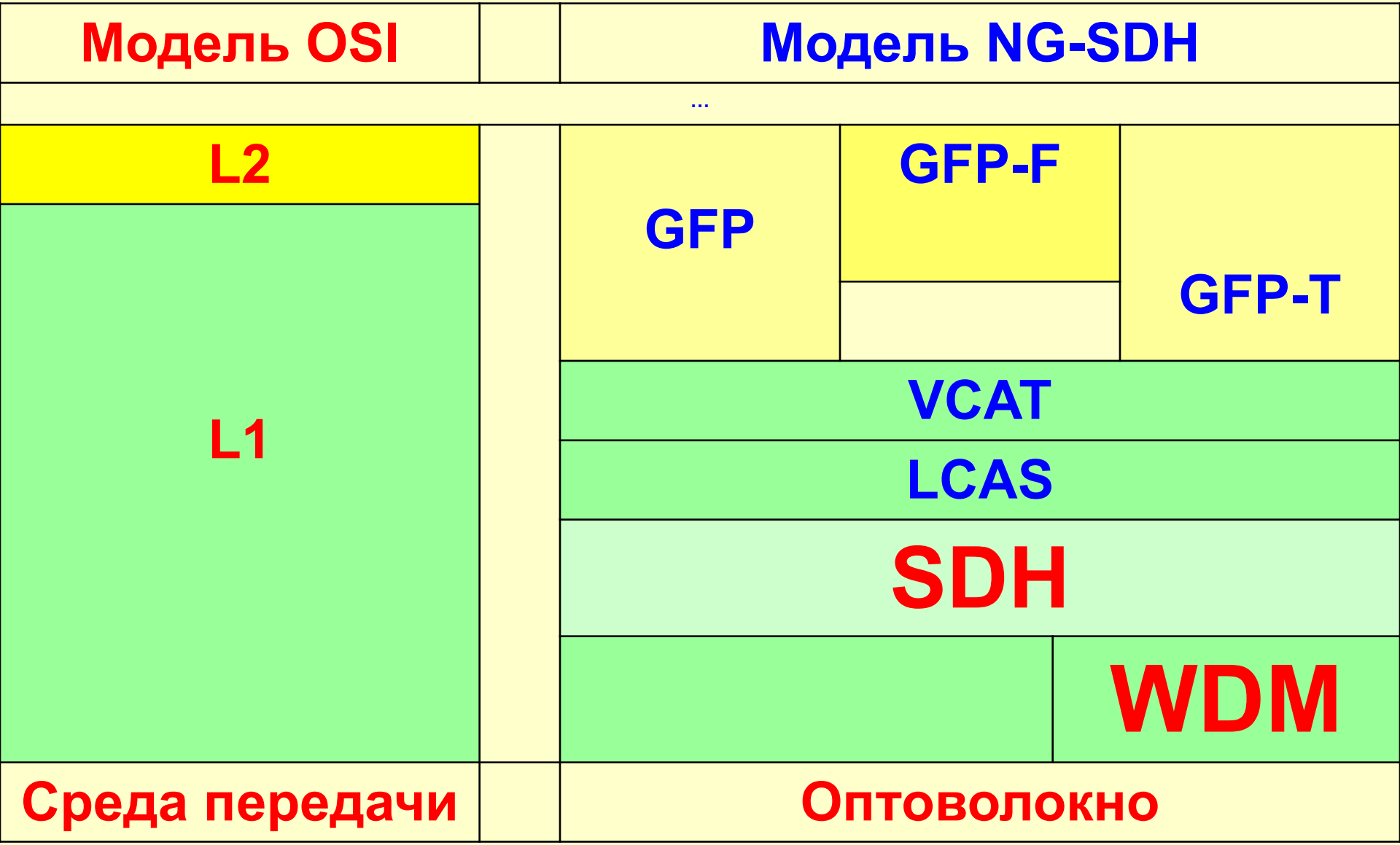
Принято считать, что система SDH относится к новому поколению **NG**, если она включает поддержку **<u>следующих компонент</u>**: **NG SDH = GFP + VCAT + LCAS**

- **GFP** (General Framing Procedure) – Общая процедура разбиения на кадры, обеспечивает адаптацию асинхронного трафика данных на основе кадров переменной длины к байт ориентированному трафику SDH с минимальными задержками и избыточностью заголовков (ITU-T G.7041)
- **VCAT** (Virtual Concatenation) – Виртуальная конкатенация, обеспечивает возможность объединения на логическом уровне нескольких контейнеров VC-12, VC-3 или VC-4 в один канал передачи данных (ITU-T G.707, G.783)
- **LCAS** (Link Capacity Adjustment Scheme) - Схема регулировки емкости канала – позволяет реализовать любые изменения пропускной способности без прекращения передачи данных (ITU-T G.7042)

Рассмотрим их более подробно.

Архитектура протоколов NG-SDH

NG SDH = GFP + VCAT + LCAS + SDH



Компоненты NG SDH. GFP

GFP был создан для замены HDLC подобных методов инкапсуляции данных поверх SDH (PoS, LAPS, EoS,…) и одновременно уменьшения стоимости и сложности реализации метода в оборудовании.

Метод GFP поддерживает инкапсуляцию таких служб как 10/100/1000 Мбит/с Ethernet, IP, PPP, протоколы сетей хранения данных FiberChannel (FC), …, а в будущем предполагается поддержка цифровых широковещательных видеосигналов DVB.

GFP адаптирует поток данных на основе кадров переменой длины к байт-ориентированному потоку данных сети SDH, отображая различные службы в кадр общего назначения, который затем отображается в кадры SDH. Эта кадровая структура лучше определяет и исправляет ошибки и обеспечивает большую эффективность использования полосы, чем традиционные методы инкапсуляции.

Компоненты NG SDH. Формат кадра GFP

GFP кадр содержит следующие составляющие:

- основной (корневой) заголовок (**GFP Header**),
- заголовок полезной нагрузки (**Payload Header**),
- область полезной нагрузки (**Payload Area**),
- необязательное поле контроля ошибок полезной нагрузки **FCS**.

Корневой заголовок		Область полезной нагрузки			
GFP Header		PayLoad Area			
		PayLoad Header			
PLI	cHEC	Payload Type	Extension	PayLoad	FCS
16 бит	16 бит	32 бит	0…60 байт	4…65 535 байт	32 бит

PLI – Payload Length identifier (длина кадра GFP)
cHEC – Core Header Error Check field

Компоненты NG SDH. Формат кадра GFP

Основной заголовок содержит поле длины GFP кадра (PLI) и поле cHEC (core Header Error Control) для определения и коррекции **ошибок в заголовке**.

cHEC используется также совместно с PLI для нахождения начала кадров (**кадровая снхронизация**).

Эта процедура использует те же принципы, что и в технологии ATM для синхронизации к потоку ячеек.

На данный момент применяются два типа адаптации клиентского сигнала к кадрам GFP_SDH:

- **GFP-Framed (GFP-F)**
- **GFP-Transparent (GFP-T)**.

Компоненты NG SDH. Формат кадра GFP

Метод **GFP-F** ориентирован на инкапсуляцию в один кадр GFP одного кадра клиентского сигнала (PDU) и имеет следующие особенности:

- PDU буферизуется перед инкапсуляцией (т.к. имеет переменную длину);
- PDU могут отображаться к различным скоростям передачи (в т.ч. и переменным при использовании VCAT/LCAS);
- Работает на уровне 2 (Layer 2), т.е. использует байтовую последовательность PDU, извлеченную из физического уровня;
- Заголовок полезной нагрузки (Payload Header) содержит информацию об инкапсулируемом протоколе;
- Хорошо подходит **для трафика данных (Ethernet, IP),** однако задержки могут быть неприемлемы для протоколов сетей хранения данных (SAN).

Компоненты NG SDH. Формат кадра GFP

Метод **GFP-T** ориентирован на сигналы, использующие кодирование 8B/10B (Gigabit Ethernet, протоколы SAN).

- Схема кодирования 8B/10B отображает 256 возможных значений байт данных в 1024 возможных значений 10 битовых кодовых символов таким образом, что обеспечивается сбалансированность в линии последовательностей нулей и единиц, необходимая для корректной синхронизации и приема данных.
- Код 8B/10B имеет 25% избыточность.

Основные особенности GFP-T:

- Работает на уровне L1, т.е. использует кодовые символы линейного кода исходного сигнала;
- Кадр GFP не содержит информации об инкапсулируемом протоколе;
- Скорости передачи фиксированы и определены клиентским протоколом.

Компоненты NG SDH. Формат кадра GFP

Сравнение GFP-F и GFP-T

Режим	Описание	Применение
GFP-F	Инкапсуляция кадров данных в GFP кадр (L2). Переменная длина кадра. Минимальная избыточность заголовков.	E/FE/GE, IP, PPP
GFP-T	Инкапсуляция кодовых символов в GFP кадр (L1). Постоянная длина кадра. Минимальные задержки.	GE, Fiber Cannel (SAN), FICON, ESCON, DVB

Компоненты NG SDH. Формат кадра GFP

Формат поля заголовка полезной нагрузки (Payload Header):

GFP Header		PayLoad Area			
		PayLoad Headers			
PLI	cHEC	Payload Type	Extension	PayLoad	FCS
16 бит	16 бит	32 бит	0…60 байт	4…65535 байт	32 бит

Type (2 байта)						
PTI	PFI	EXI	UPI	tHEC	Extension Header	eHEC
3 бит	1 бит	4 бит	8 бит	16 бит	0…60 байт	16 бит

PTI – Payload type identifier
PFI – Payload FCS indicator
EXI – Extension header identifier
UPI – User payload identifier

tHEC – Type HEC

Формат кадра GFP

Поле PTI - Идентификатор Типа нагрузки – старшие 3 бита поля Type

- 000 User data
- 100 Client management
- 101 Management communications
- Others Reserved

Поле PFI - Идентификатор FCS – часть поля Type

0 – поля FCS нет

1 – поле FCS есть

Поле EXI - Идентификатор заголовка расширения

- 0000 Null extension header
- 0001 Linear frame
- 0010 Ring frame
- Others Reserved

Формат кадра GFP

Поле UPI - младшие 8 бит поля Type (PTI=000 и 101)

- 0000 0001 Ethernet
- 0000 0010 PPP
- 0000 0011 Transparent fibre channel
- 0000 0100 Transparent FICON
- 0000 0101 Transparent ESCON
- 0000 0110 Transparent Gbit Ethernet (GE)
- 0000 0111 Reserved for future use
- 0000 1001 Transparent DVB
- 0000 1010 IEEE 802.17 resilient packet ring (RPR)
- 0000 1101 MPLS
- 0000 1111 OSI network layer protocols (IS-IS, ES-IS, CLNP)
- 0001 0000 IPv4
- 0001 0001 IPv6
- 0001 0010 DVB

Основные преимущества GFP

- **Стандартизация**. Обеспечивает глобальную совместимость и приводит к низкой стоимости компонент.
- **Масштабируемость**. GFP на сегодняшний день поддерживает службы данных на скоростях от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с.
- **Широкая применимость**. GFP может быть использован для передачи широкого спектра сигналов поверх SDH, получил одобрение рабочей группы IEEE 802.17 RPR и IETF, также подходит для применения в будущих сетях, основанных на OTN архитектуре
- **Простота**. GFP имеет более простую технику инкапсуляции чем HDLC с механизмом разграничения кадров, проверенном на ATM и не требующем интенсивной обработки, что в результате делает программно-аппаратную реализацию GFP проще и дешевле.
- **QoS**. Невысокий уровень задержек для GFP-F и минимальный для GFP-T позволяет поддерживать приложения, требовательные к качеству обслуживания.

Хотя GFP имеет множество присущих ему преимуществ, тем не менее для поддержки передачи служб данных по сети SDH из конца в конец нужны технологии которые выделяют в сети необходимую полосу и обеспечивают возможность ее динамической настройки.

Этим требованиям удовлетворяют **VCAT и LCAS**.

Компоненты NG SDH. VCAT

Традиционный метод конкатенции определен для VC-4 в стандарте ITU-T G.707 термином «смежная».

Это означает, что соседние контейнеры комбинируются и транспортируются через SDH сеть как один контейнер.

Ограничения смежной конкатенции включают:

- необходимость того, чтобы все сетевые узлы через которые проходит тракт передачи были способны распознать и обработать связанные (объединенные) контейнеры;
- недостаточная степень детализации (гранулированности) полосы, которое делает транспортировку многих типов данных неэффективной.

Компоненты NG SDH. VCAT

Виртуальная конкатенация (объединение) VCAT, определенная ITU-T, устраняет ограничения смежного метода.

Виртуальная конкатенация логически связывает индивидуальные контейнеры в одно соединение. Любое количество контейнеров любого типа (VC-12 , VC-3 или VC-4) может быть сгруппировано вместе, образуя логический канал.

Это обеспечивает лучшую степень детализации полосы, чем достигается использованием традиционной техники и дает возможность гибкого выделения полосы для трафика данных с высокой степенью гранулированности, позволяя эффективно использовать пропускную способность SDH.

Компоненты NG SDH. VCAT

В традиционной сети SDH степень детализации полосы определяется транспортной емкостью контейнеров VC-12, VC-3, VC-4 и смежных групп, например, VC-4-4c — четыре смежных VC-4.

Так, например, транспортировка 1 Gigabit Ethernet в традиционной сети требует выделения VC-4-16c (шестнадцать смежных VC-4), эффективность использования канала в этом случае составляет **42%**.

С другой стороны группа логически объединенных контейнеров VCG (Virtual Concatenated Group) VC-4-7v, где VC-4 обозначает тип контейнера на основе которого создается группа, а 7v — количество членов в группе, обеспечивает приблизительно **85%** эффективность (см. Таблицу).

Компоненты NG SDH. VCAT

Сравнение NG-SDH без VCAT и с VCAT

Служба	Эффективность использования канала без VCAT	Эффективность использования канала с VCAT
Ethernet 10 Мбит/с	VC-3 — 20%	VC-12-5v — 92%
Fast Ethernet 100 Мбит/с	VC-4 — 67%	VC-12-47v — 100%
Gigabit Ethernet 1000 Мбит/с	VC-4-16c — 42%	VC-4-7v — 85%

Компоненты NG SDH. LCAS

Один из последних разработанных стандартов для NG SDH- протокол LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme - Схема регулировки емкости канала), который выполняется между двумя сетевыми элементами (NE), соединяющими пользовательские интерфейсы в сети SDH.

Каждый байт H4/K4 заголовка POH/STM передает управляющий пакет, состоящий из информации об виртуальной конкатенации и протоколе LCAS.

На основании данных управляющего пакета, протокол LCAS определяет какой из членов VCG активизирован и как они используются и позволяет исходящему оборудованию **динамически изменять** количество контейнеров в группе конкатенации в ответ на производимые в реальном времени запросы по изменению полосы.

Компоненты NG SDH. LCAS

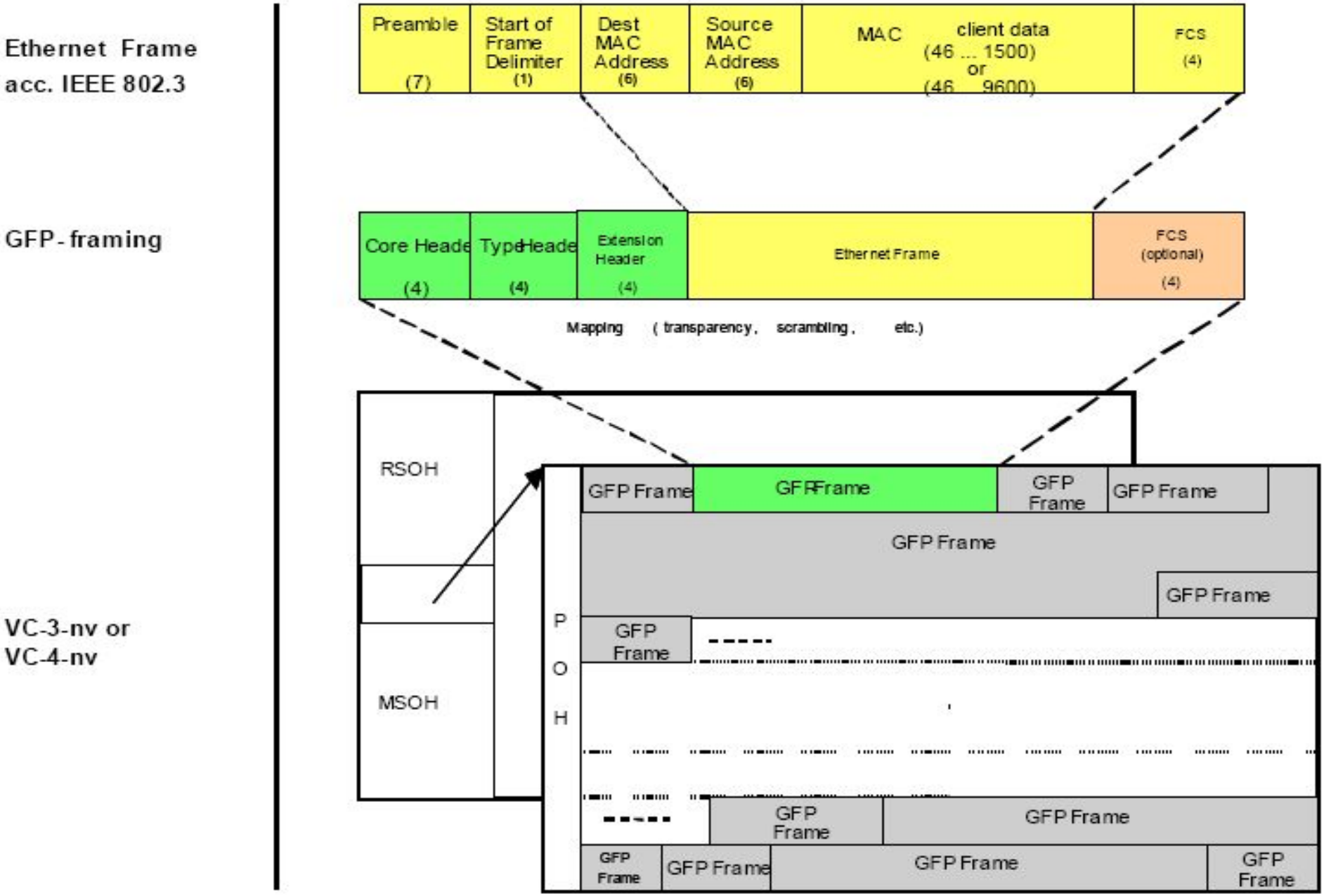
Эти увеличения или уменьшения полосы выполняются без какого-либо негативного воздействия на услуги.

Например, компания, которая использует канал 50 Мбит/с между подразделениями в течение рабочего дня может нуждаться в большей полосе для выполнения операций резервного копирования во внерабочее время.

LCAS позволяет автоматически добавить необходимую полосу без прерывания связи.

Данный метод позволяет обеспечить альтернативную схему защиты в сети SDH: связанные VCAT контейнеры проходят разными сетевыми маршрутами и в случае отказа на одном из маршрутов механизмы LCAS оставляют в соединении незатронутые отказом виртуальные контейнеры, тем самым сохраняя работоспособность соединения, хотя и с меньшей пропускной способностью. После устранения отказа соединение восстанавливается к исходному состоянию.

NG SDH – Размещение Ethernet/GFP/ в STM-1

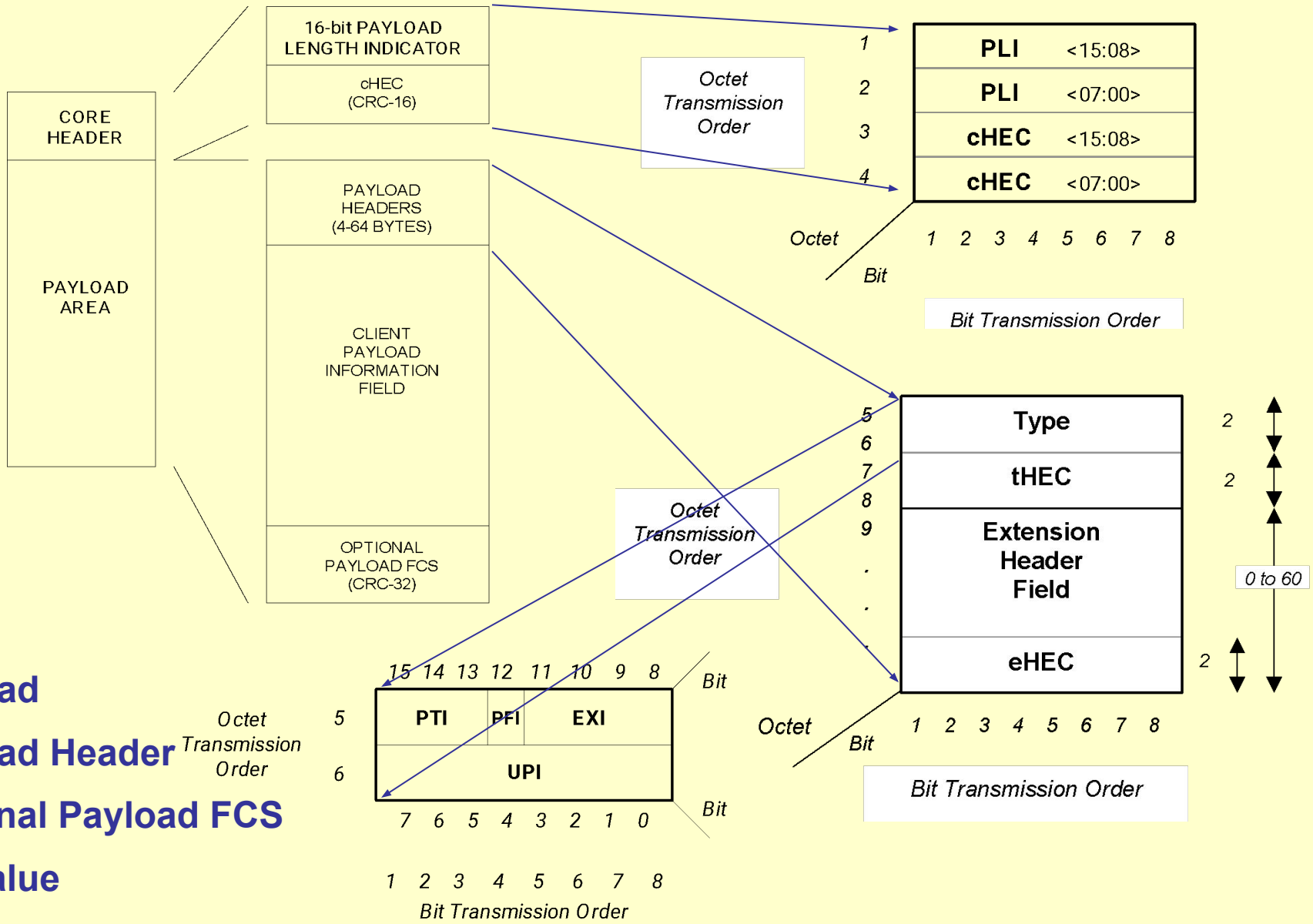


Выбор топологии физического уровня в ядре сети (CN)

1. Для сетей ОП важно обеспечить надежность на уровне:
   1. Кгот>=99,999 (около 5 минут простоя в год)
   2. Время восстановления после отказа =< 50мс
2. На данном этапе такую надежность обеспечивают кольцевые (Ring) и ячеистые (Mesh) топологии физического уровня или подуровня RPR/DPT/GFP
3. Для ядра корпоративных сетей подходят топологии физического уровня:
   1. Кольцо
   2. Звезда
   3. Дерево (иерархическая топология)
4. Необходимо предпринимать меры, предотвращающие образование петель на физическом или логическом уровнях (TTL, STP,…)

СПАСИБО за ВНИМАНИЕ

Формат кадров GFP



(1)Payload

(2)Payload Header

(3)Optional Payload FCS

(4)PLI value

(5)cHEC computation

Заголовок RPR

2	6	6	2	2	2	n байт	2
RC	DA	SA	ERC	HEC	PT	Pay Load	FCS

Биты

TTL Base	EF	FF	PS	SO	R
8	1	2	1	1	3

Биты

TTL	RI	FE	FT	SC	WE	P
8	1	1	2	2	1	1

RC – Ring Control, «Контроль кольца». Это поле разбито на семь подполей:

- TTL (Time To Live, «Время жизни кадра»),
- RI (Ring ID, «Идентификатор кольца»),
- FE (Fairness Eligible, «Разрешение сброса кадра в режиме «справедливой» передачи»),
- FT (Frame Type, «Тип кадра»),
- SC (Service Class, «Класс обслуживания»),
- WE (Wrap Eligible, «Разрешение свертывания колец»),
- P (Parity, «Четность»),

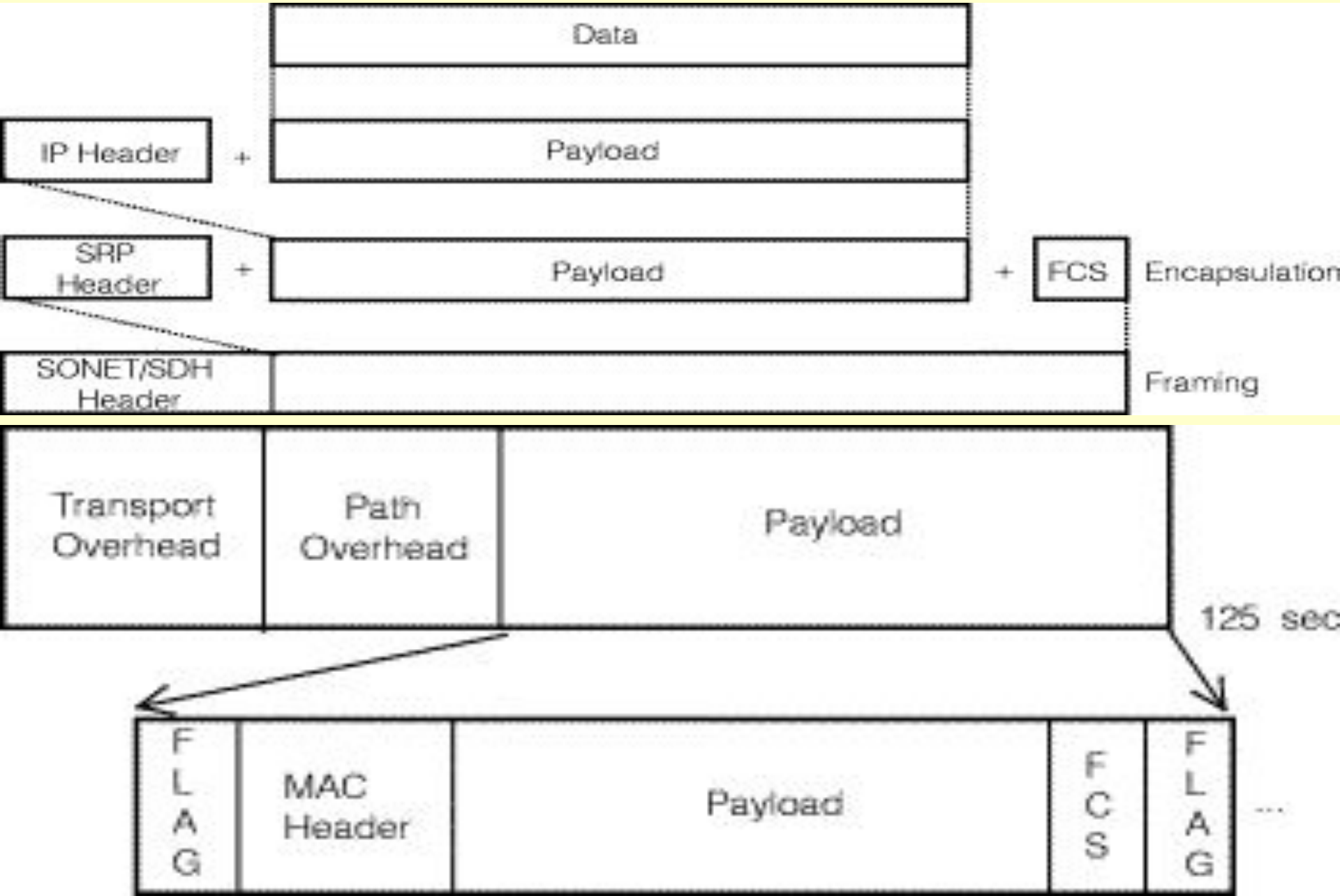
«**ERC** – Extended Ring Control — «Расширенный контроль кольца».

- TTL Base – базовое, т. е. исходное время жизни, не подлежащее декрементированию
- EF (Extended Frame, или «Расширенный кадр»),
- FF (Flooding Form, или «Вид потока данных»),
- PS (Past Source, или «Мимо источника»),
- SO (Strict Order, или «Строгий порядок следования кадров»)
- три зарезервированных бита в конце заполняются нулями.

«Класс обслуживания» определяет приоритет обслуживания пакетов в сети
«Тип кадров» указывает на то, содержатся ли в кадре пользовательские данные, запросы на «справедливое» обслуживание или служебные сведения для других узлов.

Поле EF информирует о том, каким является кадр — базовым (Base Data Frame) или расширенным (Extended Data Frame). Базовые кадры данных используются любым трафиком, проходящим от исходной до конечной точки своего пути по одному и тому же кольцу. Если для того, чтобы попасть в узел назначения, трафику необходимо «перейти» из одного кольца в другое, то используется расширенный кадр данных, включающий исходный адрес источника и конечный адрес приемника, которые размещаются сразу же за полем HEC (Header Error Check, «Проверка заголовка на ошибки»).
Биты FF показывают, передаются ли данные по кольцу в одном направлении или в двух направлениях.
Бит PS используется при работе в режиме сворачивания колец, указывая на то, что данный кадр на обратном пути к приемнику проходил мимо своего источника.
Поле SO задействуется, когда необходимо сохранить исходный порядок следования кадров.

HEC, позволяет контролировать целостность заголовка с использованием циклического избыточного кода (Cyclical Redundancy Check — CRC).

PT – Protocol Type, «Тип протокола». Если его значение меньше 1535, то оно соответствует длине данного кадра. Если его значение равно или превышает 1536, то оно указывает тип клиентского протокола. Величина этого числа определена в регистре IEEE Type Field Register.

Технология отказоустойчивых колец Cisco – DPT-SRP/L2