

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

---

# Сетевые технологии высокоскоростной передачи данных

Гайсин Артур Камилевич

+79274383540

[akgaisin@gmail.com](mailto:akgaisin@gmail.com)

Каф. РТС, ауд. 501

---

# Характеристика физических каналов

---

- Предложенная нагрузка;
  - Скорость передачи данных;
  - Ёмкость канала связи;
  - Полоса пропускания;
  - Пропускная способность;
-

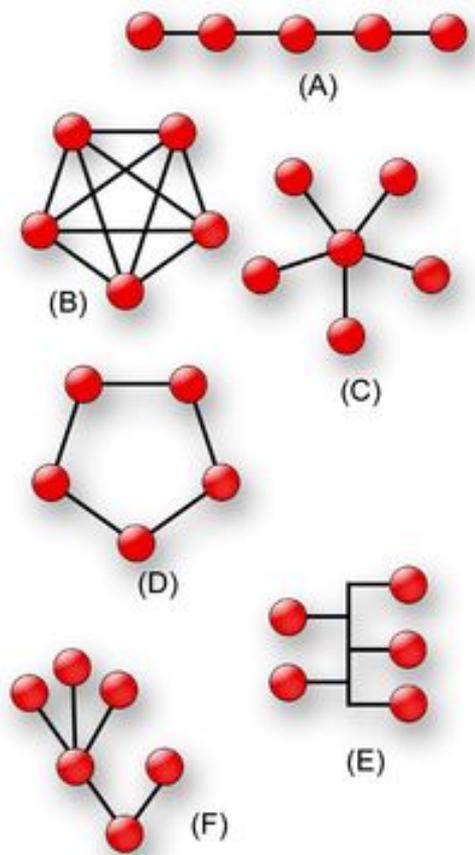
# Характеристика физических каналов

---

- Дуплексный канал;
  - Полудуплексный канал;
  - Симплексный канал.
-

# Сетевая топология

---



А — линия; В — полносвязная;  
С — звезда; D — кольцо; E —  
шина; F — дерево.

---

# Адресация узлов сети

---

- Уникальный адрес;
  - Групповой адрес;
  - Широковещательный;
  - адрес произвольной рассылки
-

# Адресация узлов сети

---

Множество всех адресов, которые являются допустимыми в рамках некоторой схемы адресации, называется адресным пространством.

Плоская адресация:

-MAC-адрес 00:81:00:5e:24:a8

6байт -  $2^{48}$  адресов;

Иерархическая адресация:

-420111, г. Казань,  
ул. К. Маркса, д. 10;  
+79274383540;

-IP-адрес v4 192.168.55.100  
32 бита;

-IP-адрес v6 fe80:0:0:0:200:f8ff:  
fe21:67cf  
128 бита;

---

# Протоколы разрешения адресов:

---

- Централизованный подход;
  - Распределенный подход Протокол разрешения адресов – ARP Address Resolution Protocol;
-

# Коммутация и Маршрутизация:

---

- Коммутация;
  - Маршрутизация;
  - Мультиплексирование;
  - Демультиплексирование;
  - Коммутация каналов vs пакетов;
-

# Сравнение сетей с коммутацией пакетов и каналов



Таблица сравнения сетей.

Коммутация каналов	Коммутация пакетов
Необходимо предварительно устанавливать соединение	Отсутствует этап установления соединения (дейтаграммный способ)
Адрес требуется только на этапе установления соединения	Адрес и другая служебная информация передаются с каждым пакетом
Сеть может отказать абоненту в установлении соединения	Сеть всегда готова принять данные от абонента
Гарантированная пропускная способность (полоса пропускания) для взаимодействующих абонентов	Пропускная способность сети для абонентов неизвестна, задержки передачи носят случайный характер
Трафик реального времени передается без задержек	Ресурсы сети используются эффективно при передаче пульсирующего трафика
Высокая надежность передачи	Возможны потери данных из-за переполнения буферов
Нерациональное использование пропускной способности каналов, снижающее общую эффективность сети	Автоматическое динамическое распределение пропускной способности физического канала между абонентами

# Коммутация каналов:

---

**Элементарный канал** – это базовая техническая характеристика сети с коммутацией каналов, представляющая собой некоторое фиксированное в пределах данного типа сетей значение пропускной способности.

**Пропускная способность каждой линии связи должна быть кратна целому числу элементарных каналов;**

**Канал линия связи – Канал единица пропускной способности**

---

# Коммутация пакетов:

---

**Коммутация пакетов** — способ доступа нескольких абонентов к общей сети— способ доступа нескольких абонентов к общей сети, при котором информация— способ доступа нескольких абонентов к общей сети, при котором информация разделяется на части небольшого размера (так называемые пакеты), которые передаются в сети независимо друг от друга. Узел-приёмник собирает сообщение из пакетов. В таких сетях по одной физической линии связи могут обмениваться данными много узлов.

**Дейтаграммный режим** – режим индивидуальной коммутации пакетв.

---

---

**Основной Цифровой канал**

**E1**

---

# Основной Цифровой канал

---

**Основной цифровой канал телефонной сети телефонной сети — 64000 бит/с телефонной сети — 64000 бит/с.** Образуется из следующих соображений. Диапазон частот, в который помещается голос человека, составляет 300—3400 Гц. Для дискретизации по теореме Котельникова необходимо удвоить частоту 3400 Гц, получаем 6800 Гц. Из-за неидеальности фильтров, имеющих полосу расфильтровки, отличную от нуля, частоту дискретизации увеличили до 8000 Гц.

---

# Импульсно-кодовая модуляция

---

В канал передаётся не сам отсчёт (величина напряжения), а двоичная кодовая комбинация, обозначающая его номер. Способ получил название ИКМВ канал передаётся не сам отсчёт (величина напряжения), а двоичная кодовая комбинация, обозначающая его номер. Способ получил название ИКМ. При линейном квантованииВ канал передаётся не сам отсчёт (величина напряжения), а двоичная кодовая комбинация, обозначающая его номер. Способ получил название ИКМ. При линейном квантовании выбирается 2048 разрешённых значений сигнала (без учёта знака). С учётом знака имеем 4096 разрешённых значения, при этом кодовая комбинация состоит из 12 разрядов. Это число можно сократить, проведя операцию командирования сигнала. После неё у сигнала остаётся 128 разрешённых значений (без учёта знака), а с учётом знака — 256 .

---

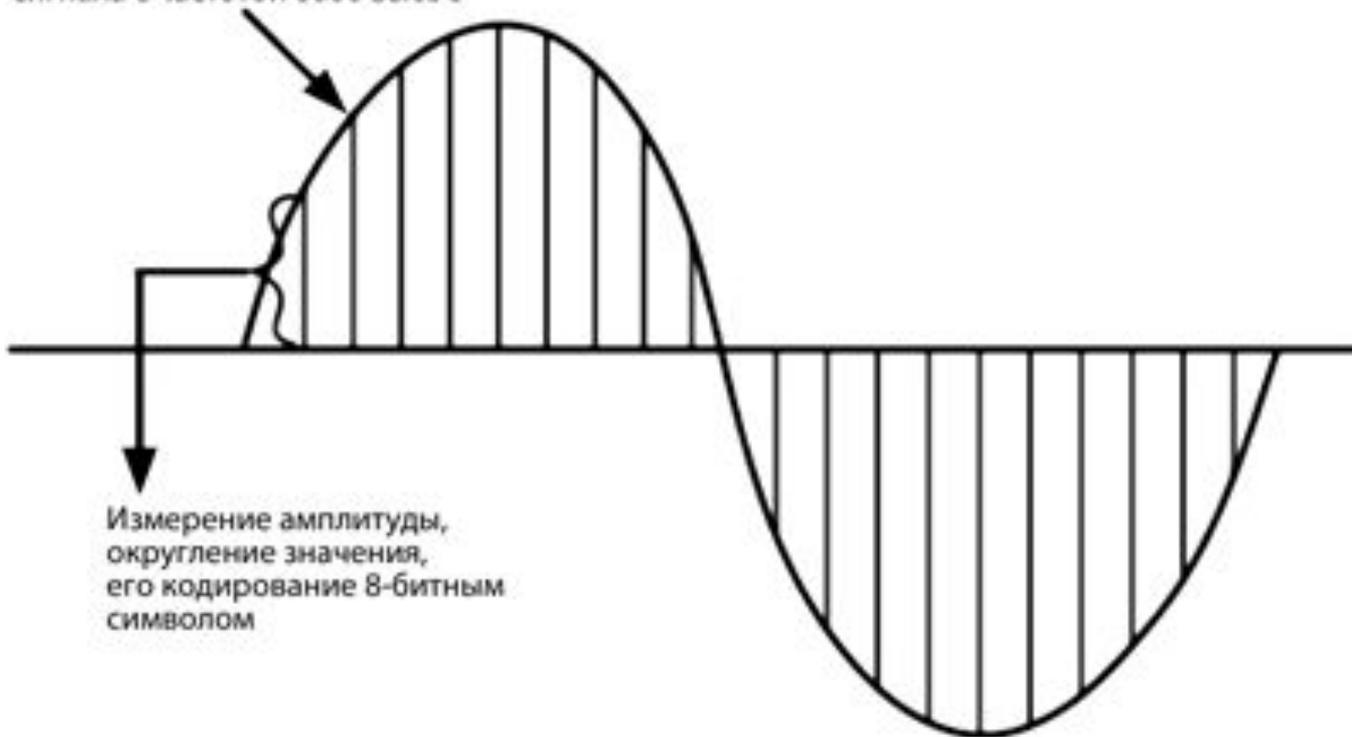
Тогда кодовая комбинация будет состоять из 8 разрядов, и заметного снижения качества речи не произойдёт в силу особенностей

# ИКМ

## Импульсно- кодовая модуляция

---

Дискретизация аналогового  
сигнала с частотой 8000 выб./с



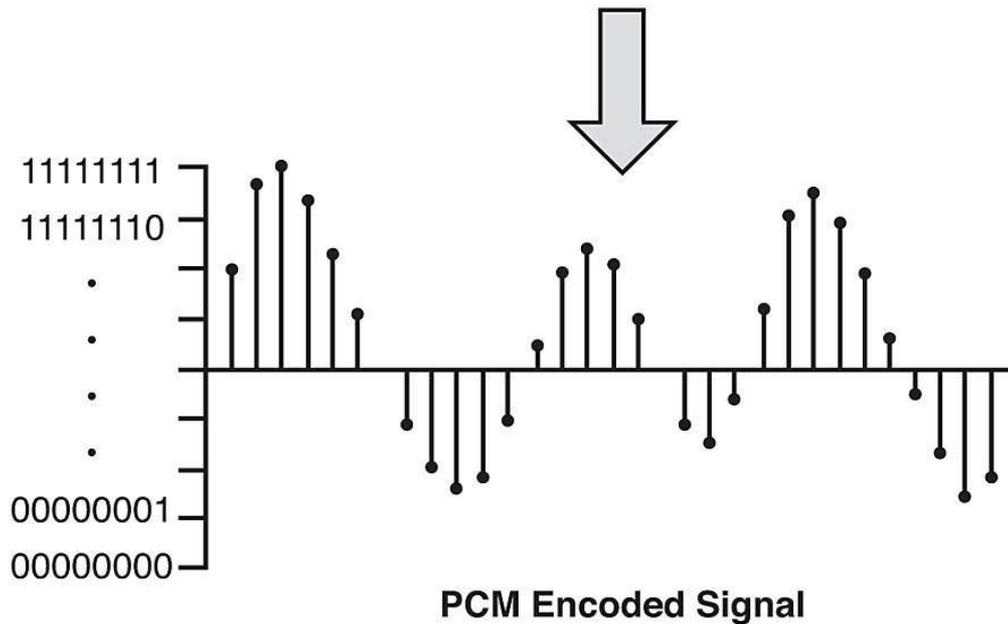
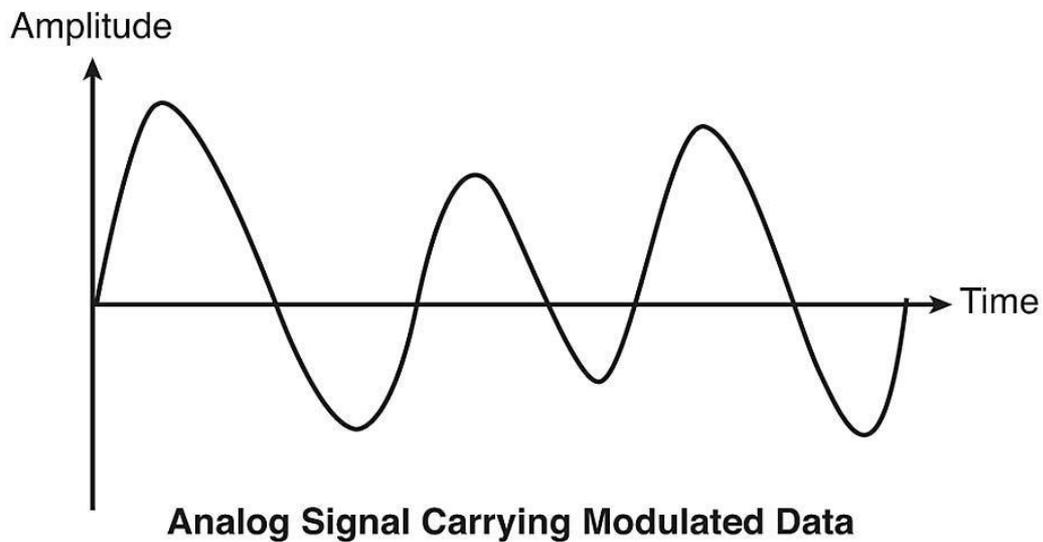
Измерение амплитуды,  
округление значения,  
его кодирование 8-битным  
символом

---

# ИКМ

## Импульсно- кодовая модуляция

1 sample -> 1 byte -> 8 bit



# Импульсно-кодовая модуляция

---

**Дифференциальная (или дельта) импульсно-кодовая модуляция (ДИКМ, DPCM)** — кодирует сигнал в виде разности между текущим и предыдущим значением. Для звуковых данных такой тип модуляции уменьшает требуемое количество бит на отсчёт примерно на 25 %.

**Адаптивная ДИКМ (АДИКМ, ADPCM)** — разновидность ДИКМ, в которой изменяется величина шага квантования, что позволяет ещё больше уменьшить требования к полосе пропускания при заданном соотношении сигнала и шума.

---

# Импульсно-кодовая модуляция

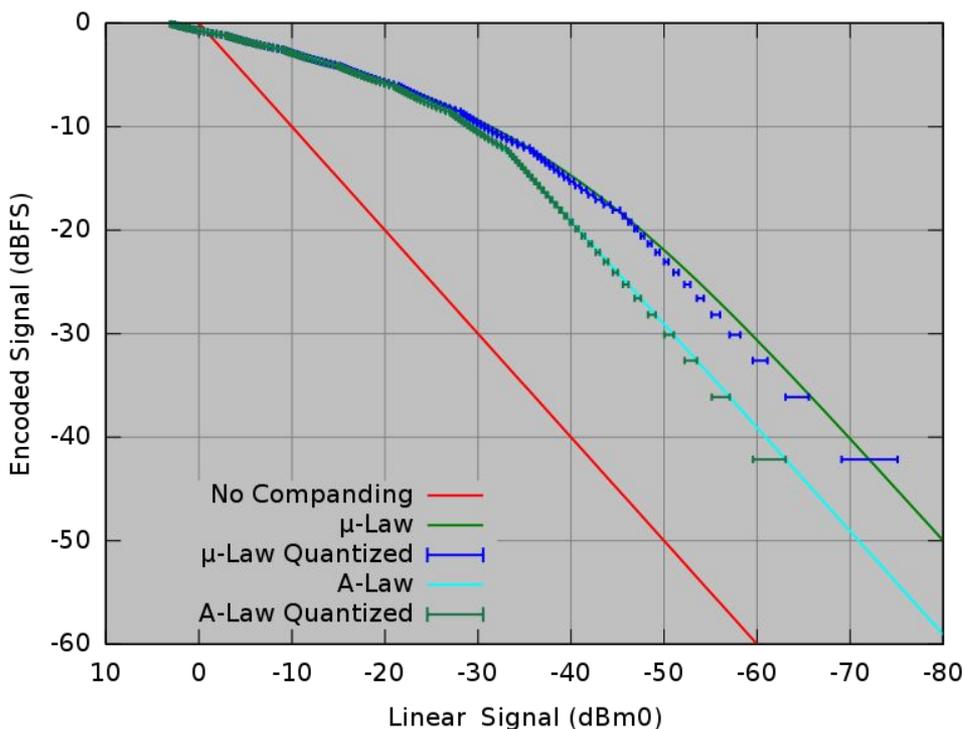
---

**G.711** — это [ITU-T](#) — это ITU-T стандарт для аудио [командирования](#) — это ITU-T стандарт для аудио командирования. В основном используется в телефонии. Впервые был представлен в [1972 году](#)

G.711 — стандарт для представления 8-ми битной компрессии ИКМ [голоса](#) G.711 — стандарт для представления 8-ми битной компрессии ИКМ голоса с частотой дискретизации 8000 кадров/секунду и 8 bit/кадр. Таким образом, G.711 [кодек](#) G.711 — стандарт для представления 8-ми битной компрессии ИКМ голоса с частотой дискретизации 8000 кадров/секунду и 8 bit/кадр. Таким образом, G.711 кодек создаёт [поток](#) G.711 — стандарт для представления 8-ми битной компрессии ИКМ голоса с частотой дискретизации 8000 кадров/секунду и 8 bit/кадр. Таким образом, G.711 кодек создаёт поток 64 kbit/s — ОЦК ([Основной цифровой канал](#)).

~~Существуют два основных алгоритма, представленных в стандарте,~~  
[μ-law](#) Существуют два основных алгоритма, представленных в стандарте, μ-law (используется в [Северной Америке](#) Существуют два

# A-law алгоритм



**A-law алгоритм:**

$$F(x) = \text{sgn}(x) \begin{cases} \frac{A|x|}{1+\ln(A)}, & |x| < \frac{1}{A} \\ \frac{1+\ln(A|x|)}{1+\ln(A)}, & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1, \end{cases}$$

In Europe,  $A=87,7$

**μ-law алгоритм:**

$$F(x) = \text{sgn}(x) \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)} \quad -1 \leq x \leq 1$$

где  $\mu = 255$  (8 бит) для стран Северной Америки и Японии.

The  $\mu$ -law algorithm provides a slightly larger dynamic range than the A-law at the cost of worse proportional distortion for small signals. By convention, A-law is used for an international connection if at least one country uses it.

# Импульсно-кодовая модуляция

## G.711, A-law, $\mu$ -law

---

Оба алгоритма являются логарифмическими, но более поздний A-law был изначально предназначен для компьютерной обработки процессов. Стандарт также определяет последовательность кодов, соответствующих уровню сигнала 0 [dB](#).

Оба алгоритма являются логарифмическими, но более поздний A-law был изначально предназначен для компьютерной обработки процессов. Стандарт также определяет последовательность кодов, соответствующих уровню сигнала 0 [dB](#).

---

# A-law алгоритм G.711

---

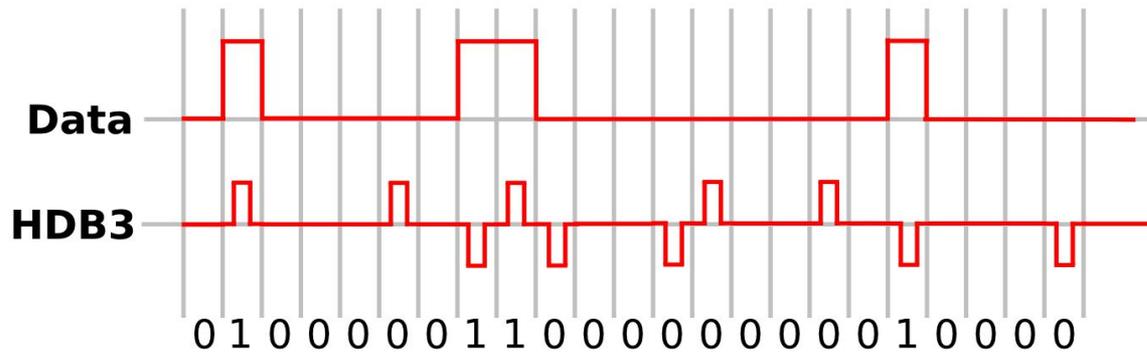
Принцип кодирования схож с кодированием чисел с плавающей запятой. Каждый семпл кодируется в 8-битное поле. Старший бит — бит знака, следующие 3 бита — беззнаковая экспонента. Таким образом из используемых 16 бит, только 12 бит содержат значащую информацию, а 4 бита из 16 иногда отбрасываются.

---

На выходе получаем 8 битную последовательность, кодирующую один голосовой отсчёт.

# HDB3 код

## двуполярная высокоплотная схема

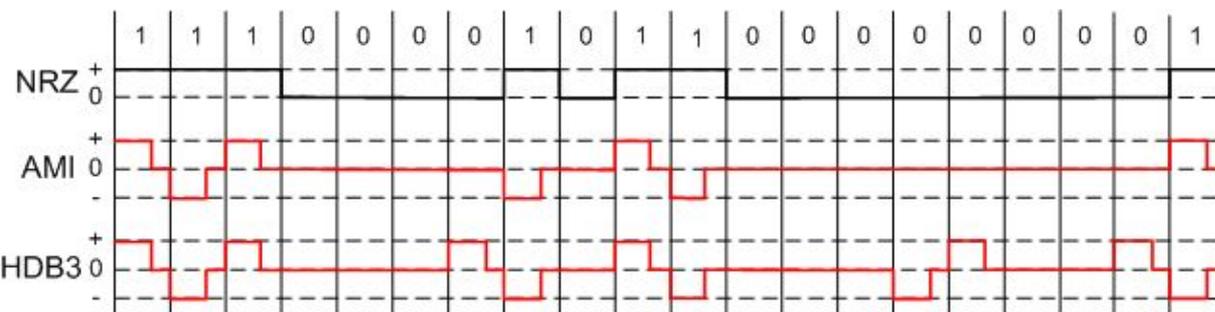


Тоже что и AMI, только кодирование последовательностей из четырех нулей заменяется на код

$-V, 0, 0, -V$  или

$+V, 0, 0, +V$

В зависимости от предыдущей фазы сигнала.



Alternate Mark Inversion - инверсия чередованием знака

---

**Основной Цифровой канал**

**цифровой поток E1**

---

# Цифровой поток E1

---

**E1** — это цифровой поток передачи данных, соответствующий первичному уровню европейского стандарта иерархии PDH — это цифровой поток передачи данных, соответствующий первичному уровню европейского стандарта иерархии PDH. В отличие от американской T1, E1 имеет 30 В-каналов каждый по 64 кбит/сек для голоса или данных и 2 канала для сигнализации (30В+D+Н) — один для синхронизации оконечного оборудования — содержит кодовые синхрослова и биты сигнализации, другой для передачи данных об устанавливаемых соединениях. Общая пропускная способность E1 = 2048 кбит/с (2 Мбит/с).

---

# Основной Цифровой канал E1

---

Основные рабочие характеристики интерфейса ITU-T [G.703](#). :

- Номинальная битовая скорость 2048 кбит/с
  - Схема кодирования HDB3 (двуполярная высокоплотная схема)
  - Отдельные линии приема и передачи:
    - По одному коаксиальному кабелю на прием и передачу (сопротивление = 75 Ом)
    - По одной симметричной витой паре на прием и передачу (сопротивление = 120 Ом)
-

# Формат кадров E1

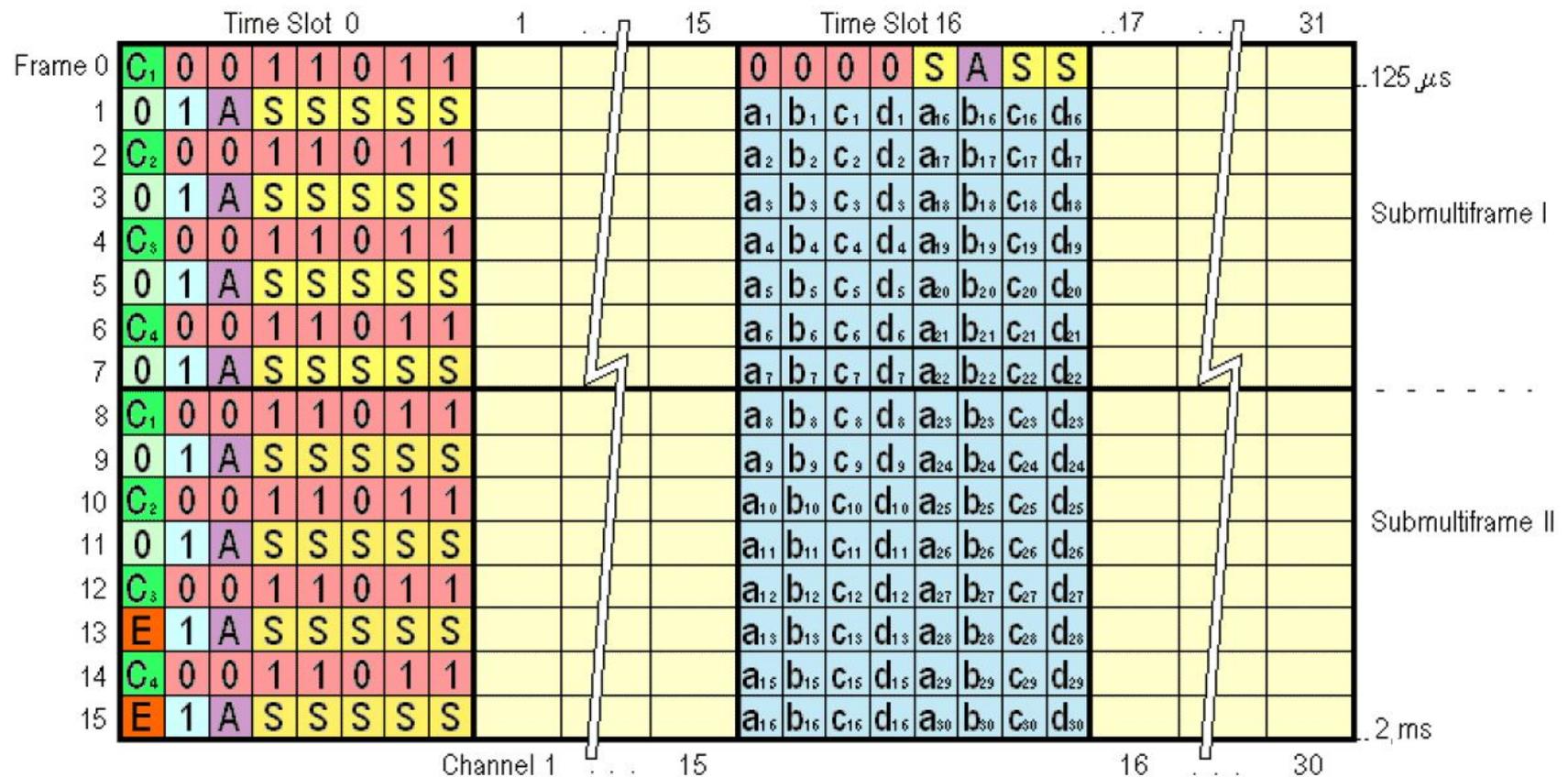
---

Каждый кадр E1 содержит 256 бит, разделенных на 32 временных интервала (тайм-слота) по восемь бит в каждом и содержащих передаваемые данные. Скорость передачи составляет 8 000 кадров в секунду и, следовательно, для каждого канала данных (тайм-слота) обеспечивается полоса 64 кбит/с. Число доступных пользователю тайм-слотов составляет от 0 до 31, в зависимости от сигнализации, чаще всего 30 (временной интервал 0 зарезервирован для служебной информации, временной интервал 16 рекомендован, но не обязателен для служебной информации). Соответственно для передачи данных, голоса, могут использоваться слоты с 1 по 31.

---



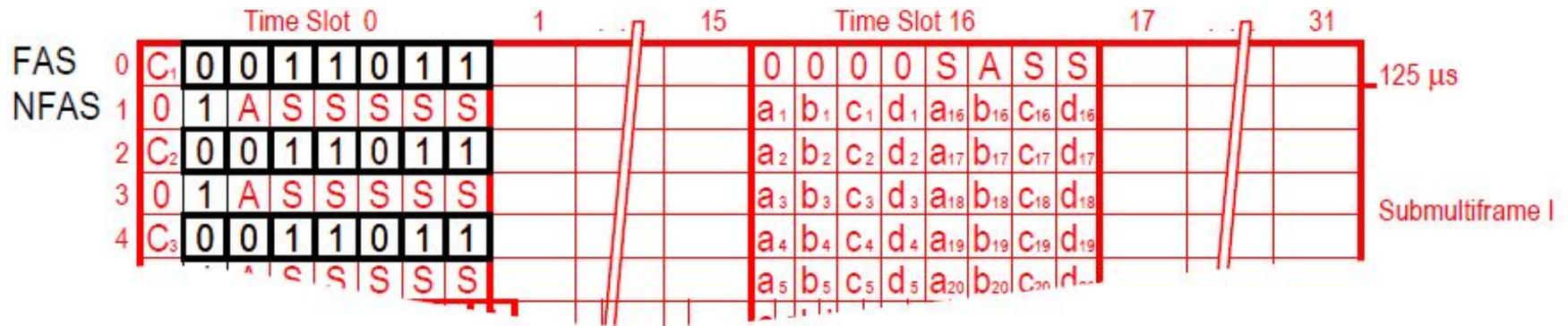
# E-carrier



1 1 ... 0 Alignment Bits  
A Remote Alarm Indicator  
E CRC-4 Error Signaling Bits  
C<sub>1</sub> C<sub>2</sub> C<sub>3</sub> C<sub>4</sub> CRC-4 Bits

a<sub>17</sub> b<sub>17</sub> c<sub>17</sub> d<sub>17</sub> Channel CAS Bits  
    Channel Bytes  
S Spare Bits

# Формат кадра E1 (30B+D+H)



В мультикадре E1 используется Цикловой синхросигнал - передается только в четных кадрах.

В нечетных кадрах второй бит имеет значение «1».

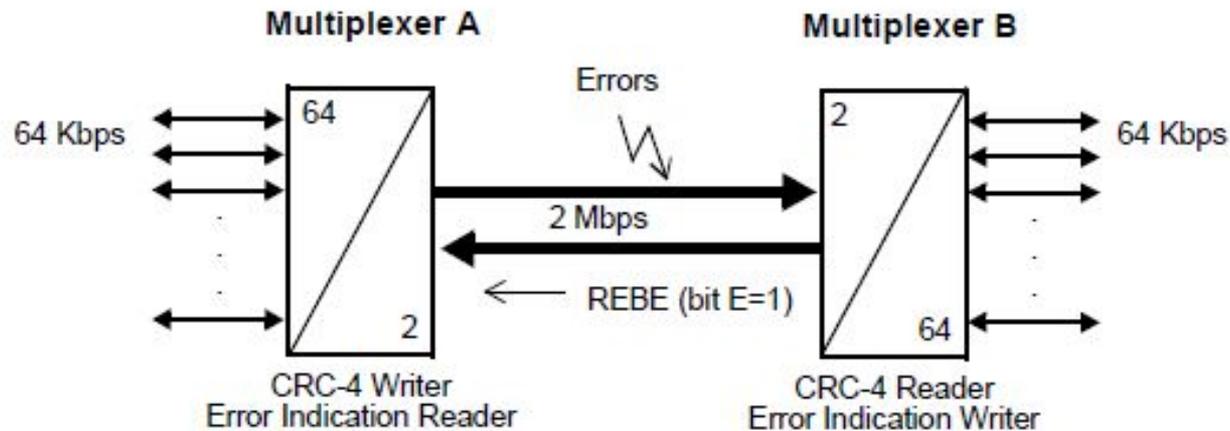
	0	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
Submultiframe I	1	0	1	A	S	S	S	S	S	
	2	C <sub>2</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	3	0	1	A	S	S	S	S	S	
	4	C <sub>3</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	5	0	1	A	S	S	S	S	S	
	6	C <sub>4</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	7	0	1	A	S	S	S	S	S	
	8	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
Submultiframe II	9	0	1	A	S	S	S	S	S	
	10	C <sub>2</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	11	0	1	A	S	S	S	S	S	
	12	C <sub>3</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	13	E	1	A	S	S	S	S	S	
	14	C <sub>4</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	15	E	1	A	S	S	S	S	S	

	0	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
Submultiframe I	1	0	1	A	S	S	S	S	S	
	2	C <sub>2</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	3	0	1	A	S	S	S	S	S	
	4	C <sub>3</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	5	1	1	A	S	S	S	S	S	
	6	C <sub>4</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	7	0	1	A	S	S	S	S	S	
	8	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
Submultiframe II	9	1	1	A	S	S	S	S	S	
	10	C <sub>2</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	11	1	1	A	S	S	S	S	S	
	12	C <sub>3</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	13	E	1	A	S	S	S	S	S	
	14	C <sub>4</sub>	0	0	1	1	0	1	1	
	15	E	1	A	S	S	S	S	S	

CRC-4 обеспечивает контроль ошибок с помощью четырех битов  $C_i$ , которые соответствуют предыдущему суб-сверхциклу. Если приемник обнаруживает ошибки, он устанавливает бит E - указатель ошибки.

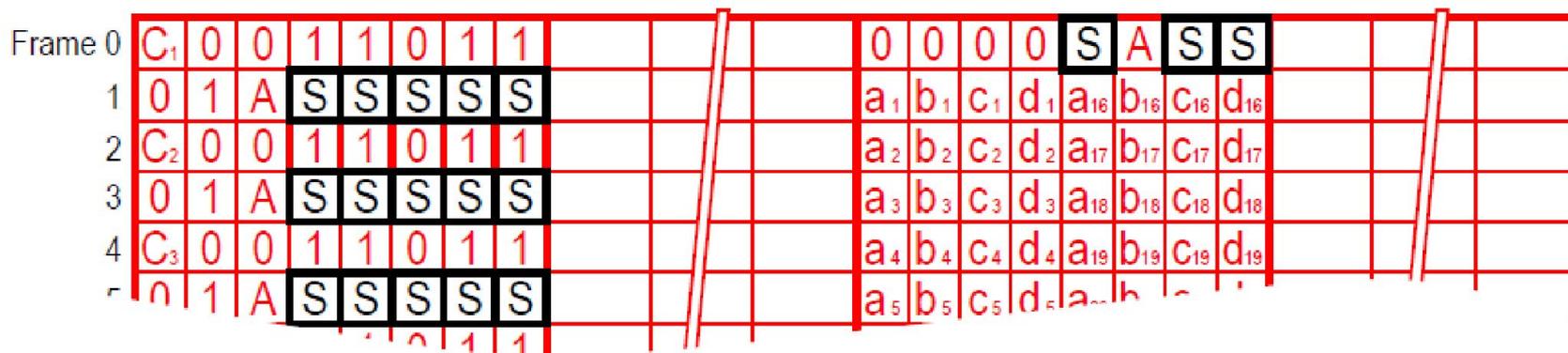
"001011" последовательность используется для синхронизации субсверхцикла.

# Формат кадра E1 (30V+D+H)



Мультиплексор А вычисляет и записывает код CRC. Мультиплексор В считывает и проверяет код. Когда появляется ошибка на 2 Мбит кадр, мультиплексор В указывает на проблему с помощью E-бита в кадре, который движется в направлении мультиплексор А.

# Формат кадра E1 (30B+D+H)

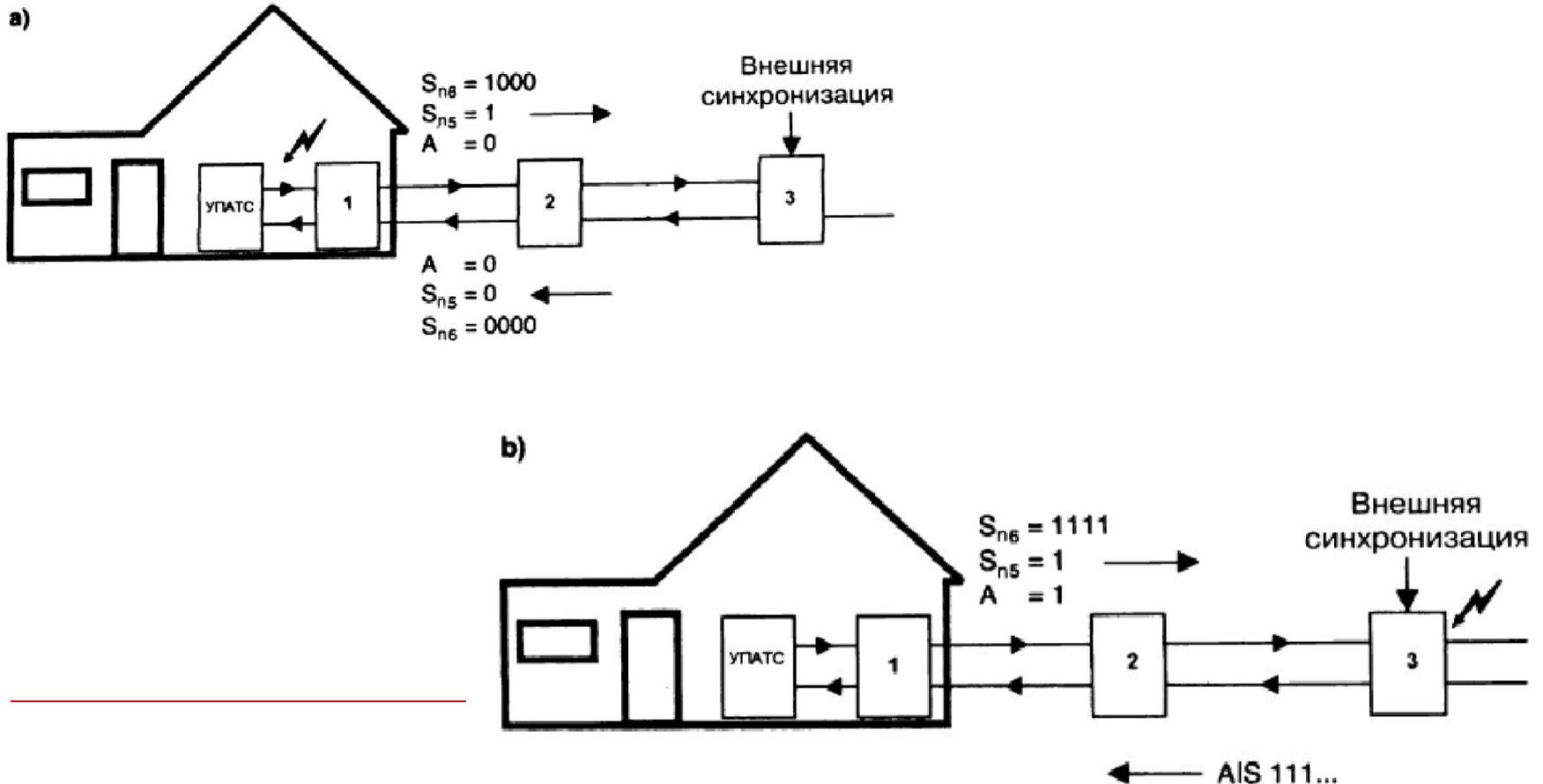


S – запасные биты. Специального назначения не определены стандартом. Могут использоваться для служебного канала со скоростью 4 кбит/с.



# Сетевой уровень E1

## □ Сообщения о неисправностях системы



# Сообщения о неисправности E1

---

Название	Обозначение	Назначение
AIS	Alarm Indication Signal	Сигнал индикации неисправности
CAS-LOM	Channel Associated Signalling – Loss of Multiframe	Потеря сверхцикловой синхронизации. Генерируется в случае приема двух последовательных MFAS с ошибкой
CRC-LOM	Cyclic Redundancy Check – Loss of Multiframe	Потеря сверхцикла CRC. Сигнал о неисправности, генерируемый в случае приема трех последовательных циклов с некорректным FAS или более чем 915 ошибок CRC в секунду. Также генерируется в случае трех последовательных некорректных NFAS
EXBER	Excessive BER	Увеличение параметра ошибки
LOF	Loss Of Frame	Потеря цикловой синхронизации
LOS	Loss Of Signal	Потеря линейного сигнала E1
LSYNC	Loss Of Synchronization	Потеря тактовой синхронизации
MAIS	Multiframe Alarm Indication Signal	Сигнал индикации неисправности в сверхцикле. Сигнал о неисправности, генерируемый в случае приема двух последовательных сверхциклов с количеством 0 менее 4

---

# Сообщения о неисправности E1

---

MRAI (RMAI)	Multiframe Remote Alarm Indication	Сигнал индикации неисправности в сверхцикле на удаленном конце. Бит 6 в составе MFAS равен 1 в двух последовательных сверхциклах
RAI	Remote Alarm Indication	Сигнал индикации неисправности на удаленном конце
RDI	Remote Defect Indication	Сигнал индикации дефекта на удаленном конце
RFI	Remote Fault Indication	Сигнал индикации неисправности на удаленном конце.
REBE	Remote End Block Error	Индикация блоковой ошибки на удаленном конце
SLIP	Slip Acknowledgement	Подтверждение наличия проскальзывания в эластичном буфере на приемной стороне

---

# Формат кадра E1

	Time Slot 0							1	...	15	Time Slot 16				17	...	31										
Frame 0	C <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	1	1				0	0	0	0	S	A	S	S								
1	0	1	A	S	S	S	S	S				a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	a <sub>16</sub>	b <sub>16</sub>	c <sub>16</sub>	d <sub>16</sub>								
2	C <sub>2</sub>	0	0	1	1	0	1	1				a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	a <sub>17</sub>	b <sub>17</sub>	c <sub>17</sub>	d <sub>17</sub>								
3	0	1	A	S	S	S	S	S				a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>	c <sub>3</sub>	d <sub>3</sub>	a <sub>18</sub>	b <sub>18</sub>	c <sub>18</sub>	d <sub>18</sub>								
4	C <sub>3</sub>	0	0	1	1	0	1	1				a <sub>4</sub>	b <sub>4</sub>	c <sub>4</sub>	d <sub>4</sub>	a <sub>19</sub>	b <sub>19</sub>	c <sub>19</sub>	d <sub>19</sub>								
5	0	1	A	S	S	S	S	S				a <sub>5</sub>	b <sub>5</sub>	c <sub>5</sub>	d <sub>5</sub>	a <sub>20</sub>	b <sub>20</sub>	c <sub>20</sub>	d <sub>20</sub>								

При использовании соканальной сигнализации каждому каналу соответствует ассоциированный с ним 2 кбит/с сигнальный канал (abcd) в 16 Таймслоте.

Также имеется сверхцикловой синхросигнал «0000», S-биты, А-аварийный бит, используемые в мультифреймовой сигнализации.

# Структура системы передачи Е1

