

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**

### **«Канальный уровень передачи информации. Виртуальные локальные сети (VLAN)»**

Автор: С.Н. Мамоиленко

## Оглавление

Цель работы.....	3
Теоретическое введение .....	3
1. Формат кадра HDLC.....	3
2. Формат кадра PPP. ....	3
3. Протоколы авторизации PAP и CHAP. ....	4
4. Формат кадра Ethernet. ....	4
5. Автоматическое определение формата кадра Ethernet. ....	5
6. Виртуальные локальные сети (VLAN). Формат кадра IEEE 802.1Q.....	6
7. Конфигурирование каналов передачи данных в оборудовании CISCO.....	7
7.1. Последовательные каналы передачи информации .....	7
7.2. Каналы передачи данных на основе Ethernet.....	7
7.3. Виртуальные локальные сети (VLAN) .....	8
7.4. Маршрутизация пакетов между VLAN (InterVLAN routing).....	9
8. Алгоритм циклического избыточного кодирования (CRC).....	10
Задание на лабораторную работу .....	12
Контрольные вопросы .....	13

## Цель работы

Получить навыки по настройке соединений на канальном уровне, созданию и управления виртуальными локальными сетями.

## Теоретическое введение

### 1. Формат кадра HDLC.

Протокол HDLC (англ. Higher-level Data Link Control) – это один из протоколов формирования последовательных каналов передачи информации в режиме точка-точка(и) или ведущий-ведомый(е). Кадры HDLC можно передавать, используя синхронные и асинхронные соединения. Формат кадра представлен на рисунке 1.

FD	Адрес	Управляющее поле	Информационное поле	FCS	FD
8 бит	8 бит	8 или 16 бит	>0 байт	16 бит	8 бит

Рисунок 1 – Формат кадра HDLC

Поля FD (англ. Frame Delimiter) являются разделителями кадров и используются для синхронизации передатчика и приемника(ов). Это поле всегда содержит заданную последовательность бит - 0x7E. Уникальность значения поля гарантируется использованием специального механизма передачи кадра: «битстаффинга» в синхронных соединениях и «байтстаффинга» в асинхронных. Битстаффинг — вставка бита 0 после 5 подряд идущих битов, содержащих 1. В байтстаффинге используется escape-последовательность, то есть байт 0x7E в середине кадра заменяется последовательностью байтов (0x7D, 0x5E), а байт (0x7D) — последовательностью байтов (0x7D, 0x5D).

В поле «Адрес» содержится номер устройства-получателя кадра. В режиме «точка-точка» это поле используется для указания направления передачи кадра (от источника к приемнику или наоборот).

Управляющее поле занимает 1 или 2 байта. Его структура зависит от типа передаваемого кадра. Тип кадра определяется первыми битами управляющего поля: 0 — информационный, 10 — управляющий, 11 — нумерованный тип.

Поле «Контрольная сумма кадра» (FCS, англ. Frame Check Sequence) содержит контрольную сумму кадра, с помощью которой приемник удостоверяется в неизменности передаваемых данных. На практике сумма вычисляется с применением циклического алгоритма CRC16 (см. ниже).

### 2. Формат кадра PPP.

На основе протокола HDLC был разработан новый протокол PPP (англ. Point-to-Point Protocol), позволяющий организовать автоматическое согласование параметров канала, авторизацию доступа к каналу передачи данных и мультиплексирование данных от нескольких протоколов сетевого уровня. Формат кадра по протоколу PPP представлен на рисунке 2.

0x7E	0xFF	0x03	Протокол	Данные	FCS	0x7E
				>0 байт	16 бит	

Рисунок 2 – Формат кадра PPP

При передаче данных по протоколу PPP поле адреса содержит 0xFF, а управляющее поле 0x03. Информационное поле разделено на две части: Протокол и Данные. В поле «Протокол» указывается номер протокола сетевого уровня, данные для которого передаются по каналу.

### 3. Протоколы авторизации PAP и CHAP.

Для авторизации участников взаимодействия по последовательному каналу, реализованному на основе протокола PPP, используются протоколы: PAP (англ. Password Authentication Protocol) и CHAP (англ. Challenge Handshake Authentication Protocol) и другие.

Протокол PAP является самым простым и незащищенным (см. рисунок 3). После настройки физического соединения сторона-клиент (кто инициировал создание канала) отправляет в открытом виде пару «пользователь пароль». Сторона-сервер проверяет полученное значение и либо авторизует соединение, либо отказывает в этом. Обратим внимание, что имя пользователя и его пароль передаются по каналу связи в открытом виде, что является существенным недостатком.

Этого недостатка лишен протокол CHAP, который использует три стадии авторизации. На первом шаге сторона-сервер отправляет стороне-клиенту некоторую случайно сгенерированную строку и свое имя. Используя имя сервера, клиент определяет пароль. Полученную строку и пароль сервера сторона-клиент формирует по алгоритму MD5 хеш-строку, которую отправляет серверу. Сервер выполняет аналогичные действия и сверяет результат. Если результаты совпали, то он авторизует канал. В результате пароль пользователя не передается по каналу связи.

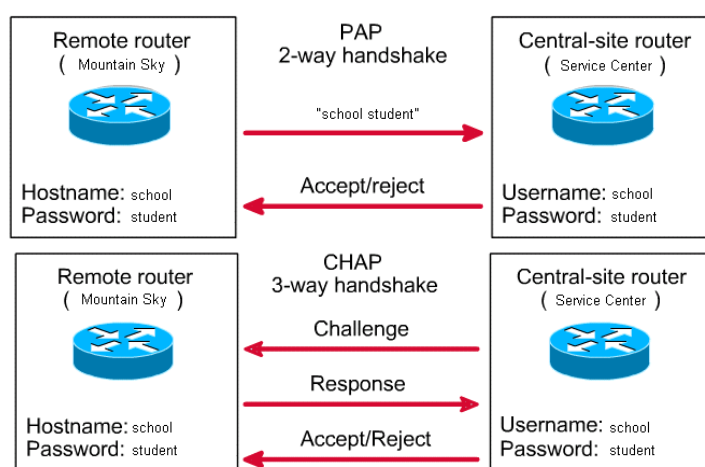


Рисунок 3 – Протоколы авторизации PAP и CHAP

### 4. Формат кадра Ethernet.

Наибольшее распространение в локальных сетях ЭВМ получила технология Ethernet, определяющая стандарты физического и канального уровней.

На физическом уровне эта технология определяет использования тонкого и толстого коаксиального кабеля, витой пары (различных категорий) и оптоволокна. Скорости передачи данных по каналу может достигать до 40Гбит/сек.

Данные передаются по каналу связи в виде кадров (или фреймов) длиной от 64 до 1522 (или 16022 при использовании режима огромных фреймов, англ. Jumbo frame) октетов. Для синхронизации приемника и передатчика на физическом уровне кадры дополняются вначале преамбулой (7 октетов со значением 0x55), разделителем начала кадра (октет со значением 0xD5) и в конце разделительным полем (12 октетов с пустым значением).

Существует несколько форматов кадра (см. рисунок 4).

Формат кадра Ethernet DIX разработан родоначальниками применения стандарта Ethernet – компаниями Digital Equipment Corp совместно с компаниями Intel и Xerox и был предложен сообществу IEEE для утверждения его в качестве стандарта. Однако сообществом IEEE принят немного иной стандарт, включающий разделение канального уровня на два подуровня: доступ к среде и управления каналом. Кроме того, компания Novell предложила свою версию стандарта. В результате на практике стали использоваться четыре разных формата фрейма. Кадр Ethernet SNAP (SubNetwork Access Protocol — протокол доступа к подсетям) представляет собой расширение кадра 802.3/LLC за счет введения дополнительного заголовка.

**Кадр 802.3/LLC**

6	6	2	1	1	1(2)	46–1497 (1496)		4
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Control	Data		FCS
Заголовок LLC								

**Кадр Raw 802.3/Novell 802.3**

6	6	2	46–1500					4
DA	SA	L	Data					FCS

**Кадр Ethernet DIX (II)**

6	6	2	46–1500					4
DA	SA	T	Data					FCS

**Кадр Ethernet SNAP**

6	6	2	1	1	1	3	2	46–1492	4
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Control	OUI	T	Data	FCS
			AA	AA	03	000000			
Заголовок LLC						Заголовок SNAP			

Рисунок 4 – Форматы кадров Ethernet<sup>1</sup>

Поле «Адрес отправителя» (SA, англ. Source Address) содержит MAC адрес узла-отправителя кадра. Может также содержать 2 или 6 октетов.

Поле «Длина кадра или тип протокола» (L, англ. Length) задает длину кадра (для кадров типа Ethernet 802.3) или определяет типа протокола сетевого уровня, для которых предназначены данные в кадре (для кадров Ethernet DIX). Используя значение этого поля оборудование, поддерживающее как кадры формата Ethernet DIX, так и кадры форматов Ethernet 802.3 определяет их тип. Если значение поля больше 1500, то в нем указана длина кадра.

Поле «Контрольная сумма кадра» (FCS, англ. Frame Check Sequence) содержит контрольную сумму кадра, с помощью которой приемник удостоверяется в неизменности передаваемых данных. На практике сумма вычисляется с применением циклического алгоритма CRC32 (см. ниже).

Поле «Данные» (англ. Data) – содержит передаваемые данные.

Поля «Служба назначения» (DSAP, англ. Destination Service Access Point) и «Служба отправитель» (SSAP, англ. Source Service Access Point) содержат коды протоколов сетевого уровня, которому предназначены данные и от которого эти данные передаются. Поле «Управление» (англ. Control) предназначено для передачи информации уровня управления каналом.

Дополнительный заголовок протокола SNAP состоит из двух полей: OUI и типа. Поле типа состоит из 2 байт и повторяет по формату и назначению поле типа кадра Ethernet II. Поле OUI определяет идентификатор организации, которая контролирует коды протоколов в поле типа. С помощью заголовка SNAP достигнута совместимость с кодами протоколов в кадрах Ethernet II, а также создана универсальная схема кодирования протоколов. Коды протоколов для технологий 802 контролирует организация IEEE, идентификатор OUI которой равен 000000. Если в будущем потребуются другие коды протоколов для какой-либо новой технологии, для этого достаточно будет указать другой идентификатор организации, назначающей эти коды, а старые значения кодов останутся в силе (в сочетании с другим идентификатором OUI). Так как SNAP представляет собой протокол, вложенный в протокол LLC, то в полях DSAP и SSAP записывается код 0xAA, отведенный для протокола SNAP. В управляющем поле заголовка LLC устанавливается значение 0x03, что соответствует использованию нумерованных кадров.

## 5. Автоматическое определение формата кадра Ethernet.

Сетевые адаптеры могут поддерживать все четыре формата кадров Ethernet. Для корректной передачи данных адаптер должен точно определить используемый тип кадра. Автоматически

<sup>1</sup> Рисунок заимствован с сайта - [http://www.olifer.co.uk/new\\_rus/CN-4ed/additions/Ethernet-frame-formats.html](http://www.olifer.co.uk/new_rus/CN-4ed/additions/Ethernet-frame-formats.html)

распознают тип кадра Ethernet с использованием значения полей кадров. Например, кадры Ethernet II легко отличить от других типов кадров по значению поля L/T: если оно больше 1500, значит, это поле является полем типа протокола (T), так как значения кодов протоколов выбраны так, что они всегда больше 1500. В свою очередь наличие поля T говорит о том, что это кадр Ethernet II, который единственный использует это поле в данной позиции кадра.

Если кадр принадлежит к типу, отличному от Ethernet DIX (поле L/T имеет значение меньше или равное 1500), то выполняется дальнейшая проверка по наличию или отсутствию полей LLC. Поля LLC могут отсутствовать только в том случае, если за полем длины идет 2-байтное поле, которое всегда заполняется единицами, что дает значение 0xFFFF. Ситуация, когда поля DSAP и SSAP одновременно содержат такие значения, возникнуть не может, поэтому наличие двух таких октетов говорит о том, что это кадр Raw 802.3. В остальных случаях дальнейший анализ проводится в зависимости от значений полей DSAP и SSAP. Если они равны 0xAA, то это кадр Ethernet SNAP, а если нет, то 802.3/LLC.

## 6. Виртуальные локальные сети (VLAN). Формат кадра IEEE 802.1Q

На практике часто возникает задача разделения устройств, подключенных к одному или нескольким коммутаторам на несколько непересекающихся локальных сетей. В случае, если используется только один коммутатор, то эта задача решается путем конфигурирования портов коммутатора, указав каждому порту к какой локальной сети он относится. Если же используется несколько коммутаторов (см. рисунок 5), то необходимо между коммутаторами помимо данных передавать информацию к какой локальной сети относится кадр. Для этого был разработан стандарт 802.1Q, называемый VLAN (англ. Virtual Local Area Network).

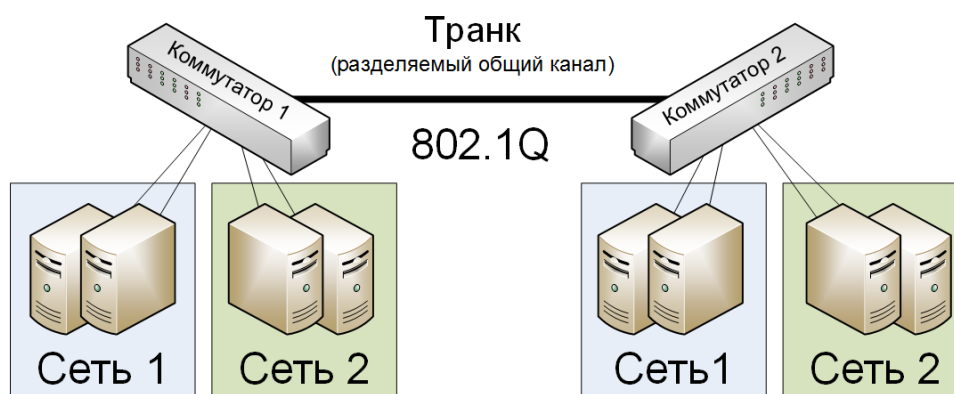


Рисунок 5 – Виртуальные локальные сети (VLAN) с использованием двух коммутаторов

Устройство, поддерживающее стандарт IEEE 802.1Q, при передаче по разделяемому каналу (транку) изменяет заголовок кадра, помещая в него тег, который передает информацию о принадлежности трафика к VLAN (см. рисунок 6). Размер тега — 4 байта. Он состоит из следующих полей:

- Tag Protocol Identifier (TPID, идентификатор протокола тегирования). Размер поля — 16 бит. Указывает какой протокол используется для тегирования. Для 802.1Q используется значение 0x8100.
- Priority (приоритет). Размер поля — 3 бита. Используется стандартом IEEE 802.1p для задания приоритета передаваемого трафика.
- Canonical Format Indicator (CFI, индикатор канонического формата). Размер поля — 1 бит. Указывает на формат MAC-адреса. 0 — канонический, 1 — не канонический. CFI используется для совместимости между сетями Ethernet и Token Ring.
- VLAN Identifier (VID, идентификатор VLAN). Размер поля — 12 бит. Указывает какому VLAN принадлежит фрейм. Диапазон возможных значений от 0 до 4095.

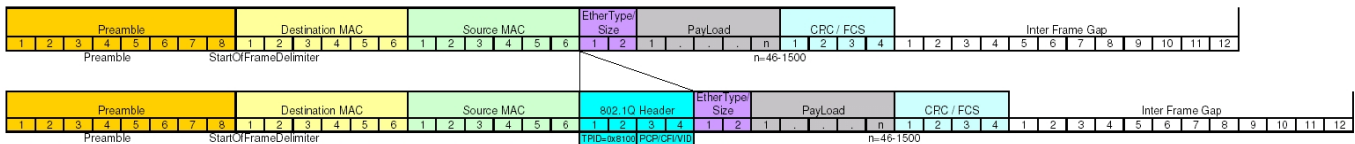


Рисунок 6 – Формат кадра в стандарте IEEE 802.1Q (VLAN).

Кадры, не имеющие тега в устройствах, поддерживающих стандарт IEEE 802.1Q всегда помещаются в один VLAN (он обычно называется native или untagged и по умолчанию имеет номер 1).

## 7. Конфигурирование каналов передачи данных в оборудовании CISCO.

### 7.1. Последовательные каналы передачи информации

Формат кадра, используемый для передачи данных по каналу определяется в режиме конфигурирования интерфейса, командой `encapsulation` (см. рисунок 7).

Скорость передачи данных по последовательному каналу задается командой `clock rate`. Параметры протокола PPP задаются одноименной командой.

Параметр `authentication` задает используемый протокол аутентификации соединения (PAP, CHAP или оба). Имя пользователя и пароль, передаваемые при аутентификации по протоколу PAP задаются параметром `pap sent-username <username> password <password>`. Сторона-клиент использует для проверки полученных данных базу пользователей, формируемую командой `username <user> password <password>`. В протоколе CHAP используется та же самая база пользователей, а в качестве имени, передаваемого на первом этапе, используется имя сетевого узла.

```
Router#enable
Router#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#int ser 0/0/0
Router(config-if)#encapsulation ppp
Router(config-if)#clock rate 64000
Router(config-if)#ppp authentication pap
Router(config-if)#ppp pap sent-username cscuser password cscpass
Router(config-if)#ip addr 1.1.1.1 255.255.255.0
Router(config-if)#no shutdown
```

Рисунок 7 – Настройка маршрутизатора, использующего протоколы PPP и PAP и иницирующего создание канала

```
Router>enable
Router#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#username cscuser password cscpass
Router(config)#int ser 0/0/0
Router(config-if)#encapsulation ppp
Router(config-if)#ppp authentication chap
Router(config-if)#ip addr 1.1.1.1 255.255.255.0
Router(config-if)#no shutdown
```

Рисунок 8 - Настройка маршрутизатора, использующего протоколы PPP и CHAP и иницирующего создание канала

### 7.2. Каналы передачи данных на основе Ethernet

Для интерфейсов, использующих стандарт Ethernet можно задать размер поля данных в передаваемых кадрах (см. рисунок 9). Делается это в режиме настройки интерфейса с помощью команды `mtu`.

Режим работы канала (дуплекс или симплекс) задается с помощью команды `duplex` (она также допускает использование режима автосогласования). Скорость работы канала задается командой `speed` (которая также допускает режим автосогласования).



```

Router#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#interface fastEthernet 0/0
Router(config-if)#mtu 1280
Router(config-if)#speed 10
Router(config-if)#duplex half

```

Рисунок 9 – Конфигурирования режима работы порта по стандарту Ethernet.

### 7.3. Виртуальные локальные сети (VLAN)

Создание виртуальной локальной сети в коммутаторах CISCO начинается с её описания (см. рисунок 10). Делается это в привилегированном режиме с помощью команды `vlan <number>`<sup>2</sup>. В результате примера, приведенного на рисунке 10, в базе данных коммутатора будет создана виртуальная локальная сеть с номером 7 и ей дано имя «nachalstvo». Напомним, что всегда присутствует VLAN с номером 1 (имя «default»), в которую помещаются кадры, не имеющие тега виртуальной сети.

```

Switch#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#vlan 7
Switch(config-vlan)#name nachalstvo
Switch(config-vlan)#exit
Switch(config)#interface fastEthernet 0/1
Switch(config-if)#switchport mode access
Switch(config-if)#switchport access vlan 7
Switch(config-if)#end
Switch#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

Switch#show vlan brief

```

VLAN Name	Status	Ports
1 default	active	Fa0/2, Fa0/3, Fa0/4, Fa0/5 Fa0/6, Fa0/7, Fa0/8, Fa0/9 Fa0/10, Fa0/11, Fa0/12, Fa0/13 Fa0/14, Fa0/15, Fa0/16, Fa0/17 Fa0/18, Fa0/19, Fa0/20, Fa0/21 Fa0/22, Fa0/23, Fa0/24, Gig1/1 Gig1/2
7 nachalstvo	active	Fa0/1
40 VLAN0040	active	
1000 personal	active	
1002 fddi-default	active	
1003 token-ring-default	active	
1004 fddinet-default	active	
1005 trnet-default	active	

```

Switch#

```

Рисунок 10 – Создание сети VLAN с номером 1 и настройка порта доступа, входящего в эту сеть

Далее каждому порту устройства задается режим работы (доступ или транк) и указываются параметры виртуальной локальной сети. Делается это с помощью команды `switchport`. По умолчанию все порты работает в режиме «access» и принадлежат VLAN с номером 1.

Режим работы коммутационного порта задается командой `switchport mode <trunk | access>`. Режим `trunk` предполагает передачу кадров в формате 802.1Q. Режим `access` требует передачу и прием кадров без тега. При передаче кадра через порт тег убирается. При приеме кадра тег добавляется и пересчитывается контрольная сумма кадра.

Указать к какой сети относится порт, работающий в режиме доступа, можно с помощью команды `switchport access vlan <vlan id>`. Узнать к каким сетям относятся порты можно в привилегированном режиме с помощью команды `show vlan brief`.

<sup>2</sup> Следует отметить, что оборудование Cisco в обычном режиме использует сети от 1 до 1005. Сети с номерами от 1006 до 4094 поддерживаются в расширенном режиме и не всей линейкой оборудования.



В режиме транка порту необходимо указать кадры каких VLAN допустимо передавать через него и какой VLAN будет использовать нетегированные кадры. Допустимые VLAN указываются командой `switchport trunk allowed vlan`. Номер локальной сети для нетегированного трафика задается командой `switchport trunk native vlan`.

```
Switch>enable
Switch#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#interface fastethernet 0/1
Switch(config-if)#switchport mode trunk
Switch(config-if)#switchport trunk allowed vlan 7-9
Switch(config-if)#exit
Switch(config)#end
```

Рисунок 11 – Конфигурирование интерфейса в режиме транка.

#### 7.4. Маршрутизация пакетов между VLAN (InterVLAN routing).

Чаще всего предполагается, что в рамках одной локальной сети располагаются устройства, принадлежащие одной подсети сетевого уровня. Как известно, в рамках такой подсети возможна передача данных с использованием средств канального уровня. Передача данных между разными подсетями возможна только на сетевом уровне и через устройство, имеющее соединения с каждой этих подсетей (так называемая маршрутизация пакетов). Чтобы обеспечить передачу данных между виртуальными локальными сетями необходимо также использовать средства сетевого уровня.

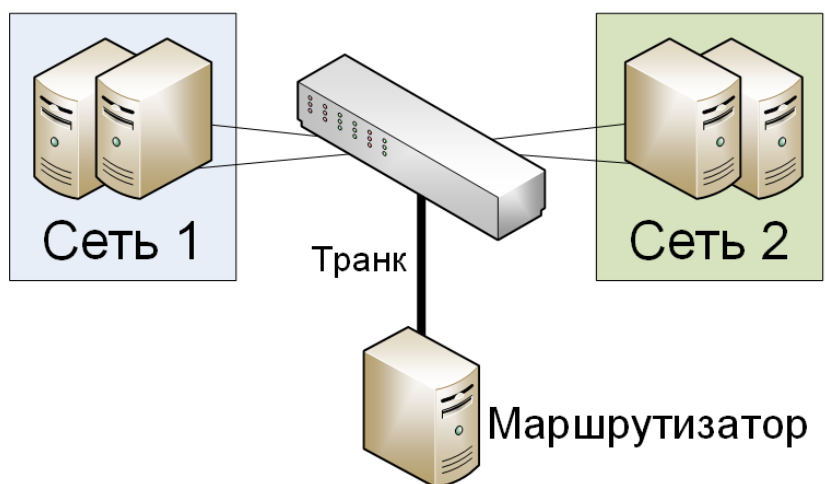


Рисунок 12 – Организация передачи данных между VLAN.

В общем случае для организации обмена данными между VLAN необходимо один порт перевести в режим транка и подключить к нему сетевое устройство маршрутизатор, которое должно обладать способностью обрабатывать тегированный трафик.

Некоторые коммутаторы (так называемые коммутаторы третьего уровня) обеспечивают маршрутизацию пакетов между VLANами самостоятельно. Другими словами, эти коммутаторы частично реализуют функции сетевого маршрутизатора, т.е. способны работы на третьем уровне модели OSI/ISO.

В таких коммутаторах формируются псевдоинтерфейсы, соответствующие VLANам. Делается это с помощью команды `interface vlan <vlanID>` (см. рисунок 13). Настройки этих интерфейсов аналогичны настройкам интерфейсов маршрутизаторов. Процесс маршрутизации включается командой `ip routing` и выполняется традиционным образом. Динамическая маршрутизация чаще всего не поддерживается.

```

Switch#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#ip routing
Switch(config)#interface vlan 3
Switch(config-if)#descr localnet
Switch(config-if)#ip address 1.1.3.1 255.255.255.0
Switch(config-if)#no shutdown
Switch(config-if)#end

```

Рисунок 13 – Конфигурирование интерфейса VLAN на коммутаторе третьего уровня

В маршрутизаторах CISCO для обработки тегированного трафика создаются виртуальные интерфейсы для каждой VLAN (см. рисунок 14). Обычно виртуальные интерфейсы именуются согласно обрабатываемым номерам VLANа. После создания виртуального интерфейса необходимо указать какой тип тегирования будет им обрабатываться (IEEE 802.1Q или собственный CISCO). Далее настройка виртуального интерфейса и процесс маршрутизация выполняется между интерфейсами в обычном порядке.

```

Router#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#interface gigabitethernet 0/0.7
Router(config-subif)#encapsulation dot1Q 7
Router(config-subif)#description localnet
Router(config-subif)#ip address 1.1.7.1 255.255.255.0
Router(config-subif)#no shutdown
Router(config-subif)#end

```

Рисунок 14 – Конфигурирование маршрутизатора для работы с VLAN

В маршрутизаторах, в которых встроены коммутаторы виртуальные интерфейсы коммутаторов, создаваемые для маршрутизации между VLAN, формируют внутренние виртуальные порты маршрутизатора.

## 8. Алгоритм циклического избыточного кодирования (CRC).

При передаче данных принимающей стороне необходимо удостовериться, что данные получены в неизменном виде. Одним из подходов, используемых для решения этой задачи, является использование дополнительного поля в кадре, в которые помещаются данные, вычисленные на основе передаваемых данных. В результате принимающая сторона выполняя аналогичные вычисления сверяет результат и если он совпадает со значением поля, то считается, что данные переданы без изменения. Очевидно, что создание таких алгоритмов расчета контрольных сумм, которые бы давали заданный уровень гарантии определения изменения данных, является актуальной и нетривиальной задачей.

На практике широкое распространение получил алгоритм циклического избыточного кодирования (англ. Cyclic Redundancy Code). Алгоритм CRC базируется на свойствах деления с остатком двоичных многочленов. В качестве контрольной суммы используется остаток от деления многочлена, соответствующего входным данным, на некий фиксированный порождающий многочлен. В зависимости от вида порождающего многочлена и его длины, изменяется вероятность совпадения контрольных сумм для различных исходных данных и время контрольного суммирования.

Существует достаточно большое разнообразие порождающих многочленов для алгоритмов контрольного суммирования CRC – 8, 16 и 32, подобранных на основе теории кодирования и многочисленных исследований. Ниже приведены некоторые из них:

- CRC-8:  $x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$  - Используется формой в устройствах низкоскоростной связи;
- CRC-16:  $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$  - используется в таких интерфейсах, как USB, ModBus и других линиях связи;
- CRC-32:  $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$  - используется при кодировании видео и аудио сигналов с использованием стандарта MPEG-2, при кодировании растровых изображений в формате PNG и во многих других случаях.

В вычислительной технике оперировать с полиномами N–степени - неудобно и ресурсоемко. Поэтому полиномы заменяют бинарными последовательностями и вычисляют контрольную сумму, оперируя уже не с полиномами, а с бинарными данными.

Действительно, любому полиному можно однозначно сопоставить бинарную последовательность. Если полином в общем виде записывается, как  $A_1 \cdot X^n + A_2 \cdot X^{n-1} + \dots + A_{n-1} \cdot X + A_n$ , где коэффициенты  $A_1 \dots A_n$  принимают значения единицы или нуля, то достаточно записать последовательность из коэффициентов  $A_1 \dots A_n$ , чтобы однозначно задать полином<sup>3</sup>. Например, полином  $X^4 + X^2 + 1$  однозначно соответствует бинарной последовательности 10101, так как  $1 \cdot X^4 + 0 \cdot X^3 + 1 \cdot X^2 + 0 \cdot X + 1 = X^4 + X^2 + 1$ .

Так как деление можно заменить повторением операций вычитания, рассмотрим, как осуществляется вычитание в полиномиальной арифметике по модулю 2.

Полиномиальная арифметика по модулю 2 — это один из видов арифметики, отличающийся от привычной, двоичной арифметики с циклическим переносом, отсутствием переносов и вычислением всех операций по модулю 2.

Таким образом, вычитание полиномов сводится к операции «исключающего или» с элементами полинома, имеющими одну и ту же степень, а, следовательно, можно заменить вычитание полиномов на операцию «исключающие или», с сопоставленными им бинарными последовательностями. Рассмотрим это утверждение на примере вычитания из полинома  $X^4 + X^2 + 1$  полинома  $X^3 + X^2$  (операцию "исключающее или" обозначим значком  $\wedge$ , как это принято в языке Си):  $10101 \wedge 1100 = 11001 \Rightarrow x^4 + x^3 + 1$ . Пример определения контрольной суммы с использованием полинома CRC8 приведен на рисунке 15 (.

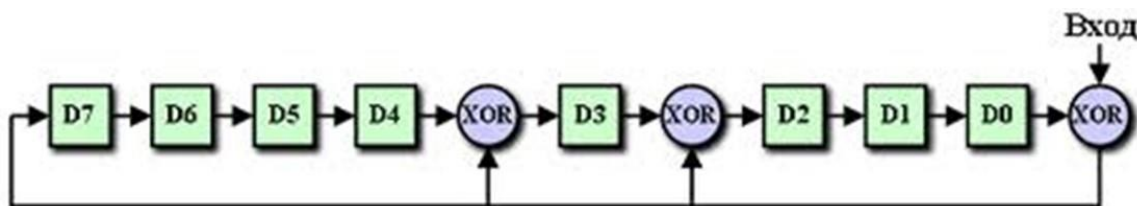


Рисунок 15 – Пример определения контрольной суммы с использованием CRC-8<sup>4</sup>

Простая реализация рассмотренного алгоритма на практике следующая. Пусть результат выполнения операции будет храниться в некотором регистре (разрядность регистра равна степени порождающего многочлена). Алгоритм вычисления остатка от деления следующий.

- Шаг 1. Задаем начальное значение регистра (по умолчанию, 0);
- Шаг 2. Выстраиваем кодируемую последовательность разрядов в заданном порядке и добавляем необходимое количество младших разрядов, содержащих 0;
- Шаг 3. Сдвигаем значение регистра результата и входящую последовательность на 1 разряд влево (в сторону старших разрядов). Запоминаем значения старших разрядов, которые «выпали» из регистра и входящей последовательности после сдвига.
- Шаг 4. Если операция XOR между значениями «выпавших» разрядов дает 1, то выполняем операцию XOR между текущим значением регистра результата и порождающим многочленом.
- Шаг 6. Если в кодируемой последовательности остались разряды, то переходим к шагу 3.
- Шаг 7. Представляем результат выполнения операции в заданном порядке разрядов.
- Шаг 8. При необходимости выполняем обработку полученного результата (выполняем операцию XOR с заданным значением).

Очевидно, что для реализации алгоритма рассмотренным способом следует ответить на ряд вопросов:

- какой полином использовать в качестве порождающего?
- каким образом формировать из передаваемых данных кодируемую последовательность? Возможно два варианта: октеты последовательности рассматриваются в прямом порядке (т.е. от старшего к младшему) или в обратном (от младшего к старшему);

<sup>3</sup> Знак коэффициента, в данном случае, роли не играет.

<sup>4</sup> Картинка позаимствована из энциклопедии Wiki ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Циклический\\_избыточный\\_код](https://ru.wikipedia.org/wiki/Циклический_избыточный_код))

- какое значение использовать в качестве начального для переменной, в которой будет храниться результат вычислений?
- в каком виде сохранить результат вычислений (прямой порядок разрядов или обратный)?
- следует ли каким-то образом обработать полученный результат (определяется значение с которым необходимо выполнить операцию XOR)?

Отвечая на эти вопросы формирует множество алгоритмов циклического избыточного кодирования. Для их описания принято использовать таксономию:

- Name: название алгоритма;
- Width: степень используемого полинома (разрядность регистра результата);
- Poly: Порождающий полином (задается в виде бинарных значений коэффициентов);
- Init: Начальное значение регистра результата;
- RefIn: Порядок формирования кодируемой последовательности. False — начиная со старшего значащего бита (MSB-first), или True — с младшего (LSB-first);
- RefOut: инвертируется ли порядок битов регистра перед выполнением операции XOR.
- XorOut: Значение, с которым выполняется операция XOR;
- Check: Проверочный результат расчета по алгоритму CRC для последовательности, формируемой из строки ASCII символов «123456789» (9 октетов). Поле не является обязательным.

Опишем с использованием рассмотренной таксономии алгоритмы, необходимые для определения контрольных сумм при передаче кадров:

Name : CRC 32	Name : CRC 16/CITT
Width : 32	Width : 16
Poly : 04C11DB7	Poly : 1021
Init : FFFFFFFF	Init : FFFF
RefIn : True	RefIn : False
RefOut : True	RefOut : False
XorOut : FFFFFFFF	XorOut : 0000
Check : CBF43926	Check : 29B1

## Задание на лабораторную работу

1. В сети, созданной Вами в лабораторных работах 1 и 2, измените конфигурацию канала, соединяющего маршрутизаторы офисов так, чтобы:

- Передача данных осуществлялась с применением алгоритма PPP;
- Доступ к каналу должен быть авторизованным с использованием алгоритма CHAP;
- Скорость передачи по каналу должна быть не более 128000 бит в секунду.

2. Разделите сеть Главного офиса на две виртуальные сети, объединив устройства так, как показано на рисунке 16.

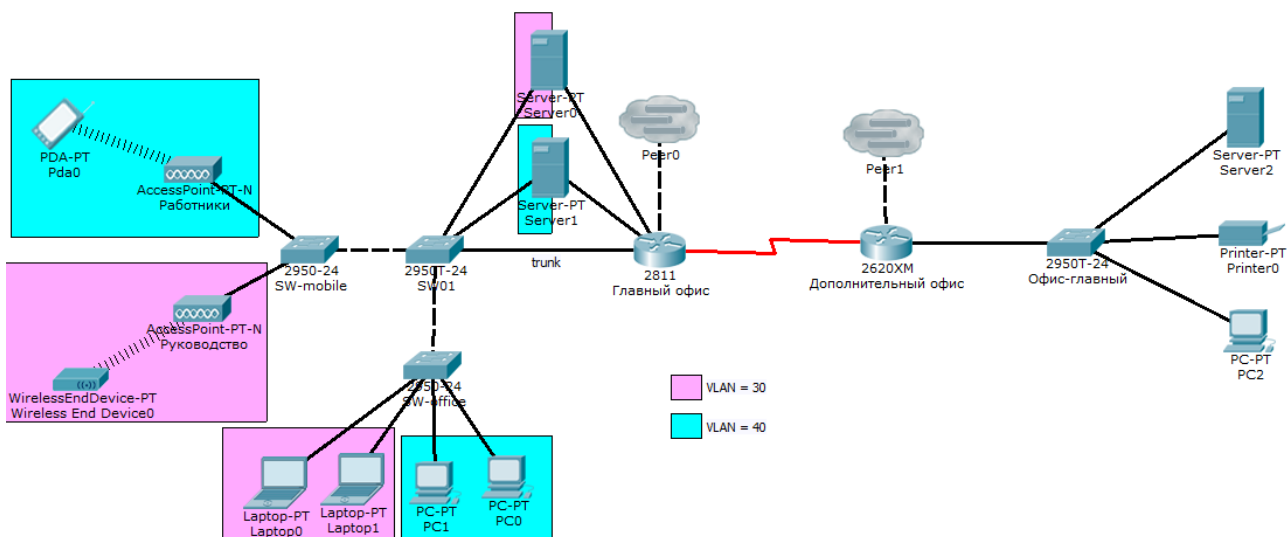


Рисунок 16 – Конфигурация модернизированной сети

3. Измените настройки сетевого оборудования так, чтобы в рамках выделенного диапазона адресов для сети Главного офиса были сформированы две логические подсети.
4. Сконфигурируйте маршрутизатор Главного офиса так, чтобы он обеспечивал связь между локальными сетями офиса.
5. Настройте маршрутизатор главного офиса так, чтобы появилась возможность передавать данные от серверов через их интерфейсы FastEthernet 0/1 (которые подключены к коммутатору, интегрированному в маршрутизатор). Эта сеть должна использовать протокол IEEE 802.1Q. В качестве номеров VLAN также должны использоваться 30 и 40.
6. Настройте локальную сеть дополнительного офиса так, чтобы в ней данные передавались кадрами размером 1290 октетов.
7. Объясните:
  - 1) Почему после изменения сети в Главном офисе и корректного конфигурирования канала связи между маршрутизаторами не пришлось изменять настройки сети Дополнительного офиса для обеспечения связи между сетевыми узлами Главного офиса и Дополнительного офиса?
  - 2) Могут ли интерфейсы серверов находиться в одном VLAN?
  - 3) Почему при использовании кадров разной длины данные передаются из сети дополнительного офиса в сеть главного офиса?
8. Напишите программу, реализующую расчет контрольной суммы для заданного файла. Имя файла задается как параметр для опции --file. Размер файла должен быть не менее 2 Мбайт. Содержание кодируемого файла роли не играет.

## Контрольные вопросы

1. С какой целью разрабатывают форматы кадров?
3. Формат кадра по протоколу HDLC. Назначение полей.
4. Протокол PPP. Формат кадра. Назначение полей.
5. Протоколы авторизации PAP и CHAP.
6. Форматы кадров стандарта Ethernet.
7. Алгоритм автоматического определения формата кадра Ethernet.
8. Стандарт IEEE 802.1Q. Назначение. Пример применения.
9. Конфигурирования последовательных интерфейсов на оборудовании CISCO.
10. Конфигурирование интерфейса Ethernet на оборудовании CISCO.
11. Настройка VLAN на оборудовании CISCO.
12. Реализация маршрутизации между VLAN.
13. Алгоритм циклического избыточного кодирования.
14. Таксономия алгоритмов циклического избыточного кодирования.