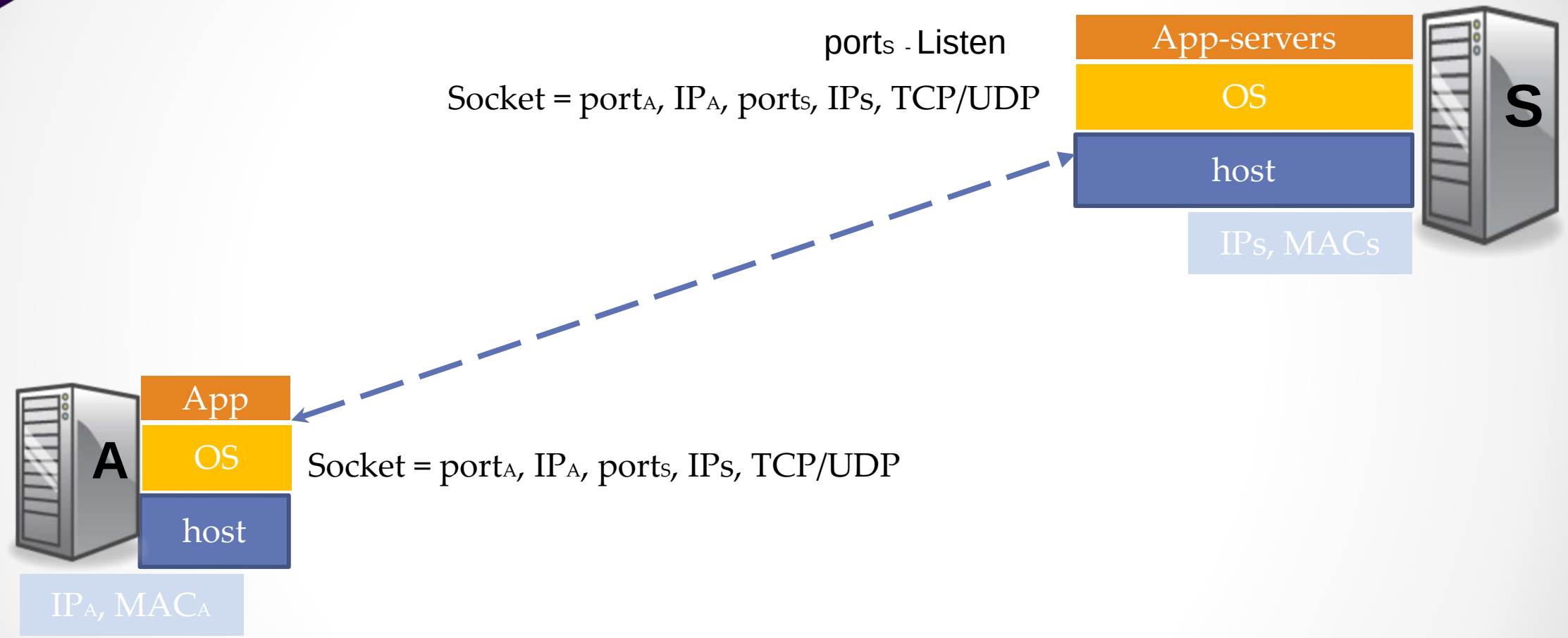
Интернет: модель TCP/UDP сервисов и транспортных протоколов

Введение в компьютерные сети

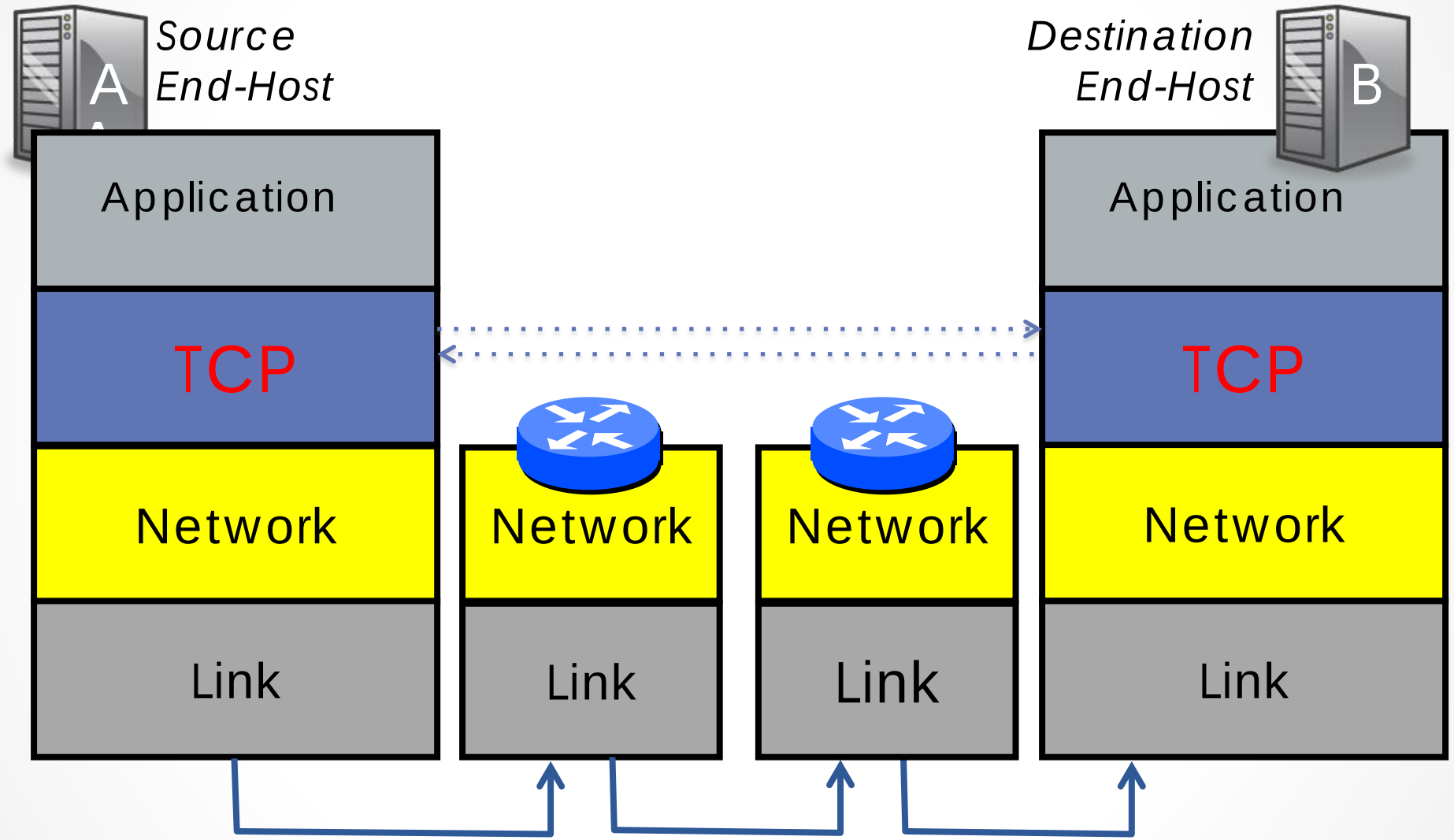
чл.-корр. РАН, проф. Смелянский Р.Л.

Кафедра АСВК ф-т ВМК МГУ

Соединение на прикладном уровне



Взаимодействие TCP уровней



Проблемы

Надежность взаимодействия достигается благодаря наличию согласованных состояний на концах соединения

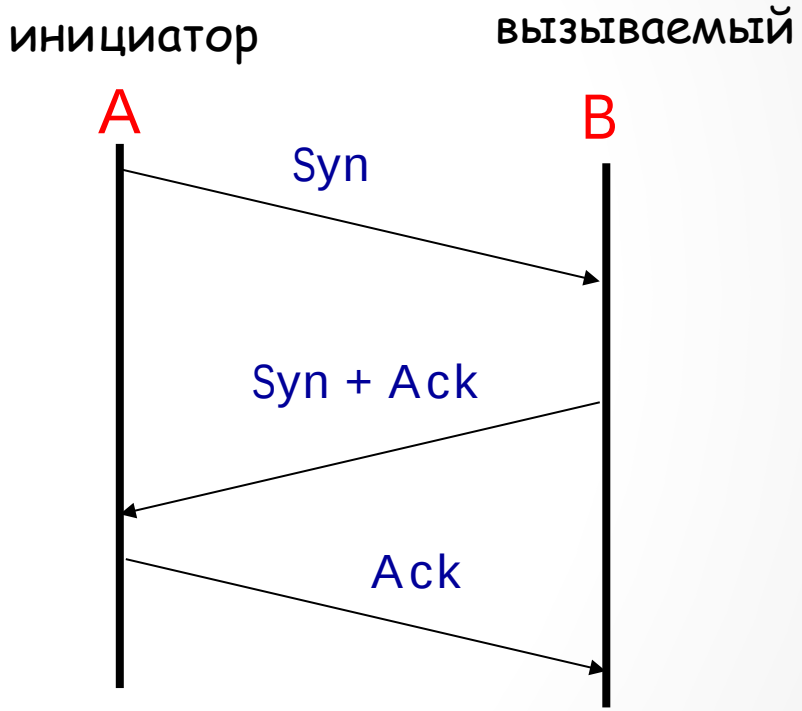
- *Проблема: как установить соединение (установить согласованные состояния)?*
- *Проблема: как разорвать соединение (установить согласованные состояния, освободить порты, очереди и т.д.) ?*
- *Проблема: как согласовано и надежно поддерживать номера принятых и отправленных байтов?*
- *Проблема: как согласовать скорости отправителя и получателя?*
- *Как обнаруживать и управлять перегрузками?*

Установка соединения: 3-х кратное рукопожатие

Инициатор шлет 1-й пакет
SYN + sequence number

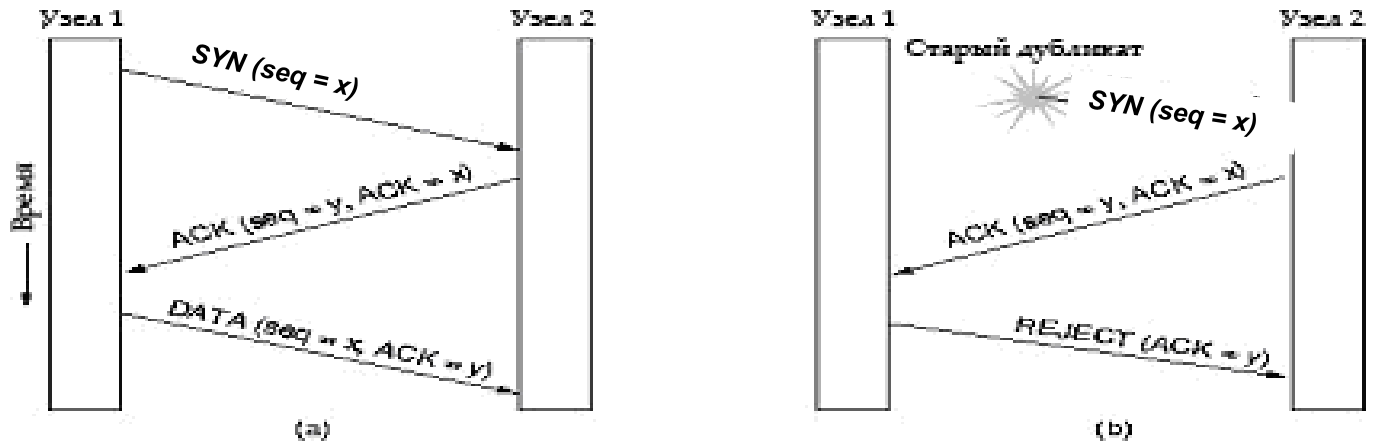
Вызываемый отвечает SYN + sequence number
(соединение в обратном направлении)
ACK для SYN инициатора

Инициатор отвечает
ACK на SYN вызываемого

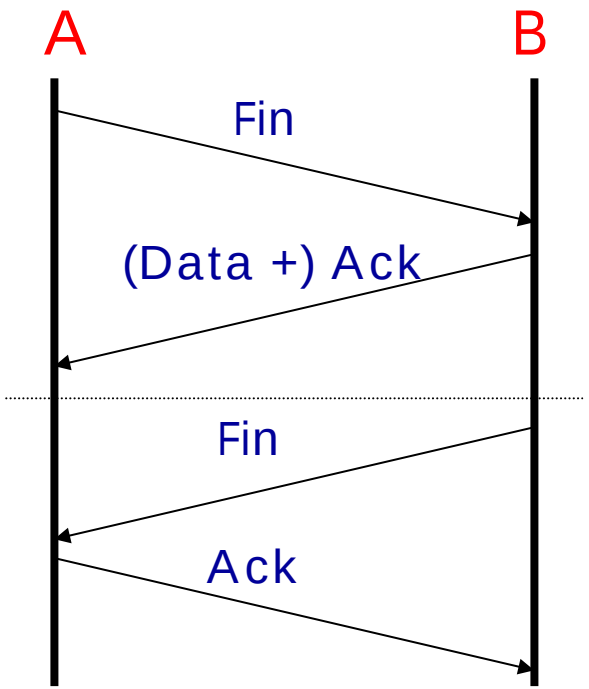


- Также поддерживается одновременное открытие
  - Два SYN передаются друг другу
  - Каждая сторона шлет ACK другой стороне

Установление соединения (ошибки)

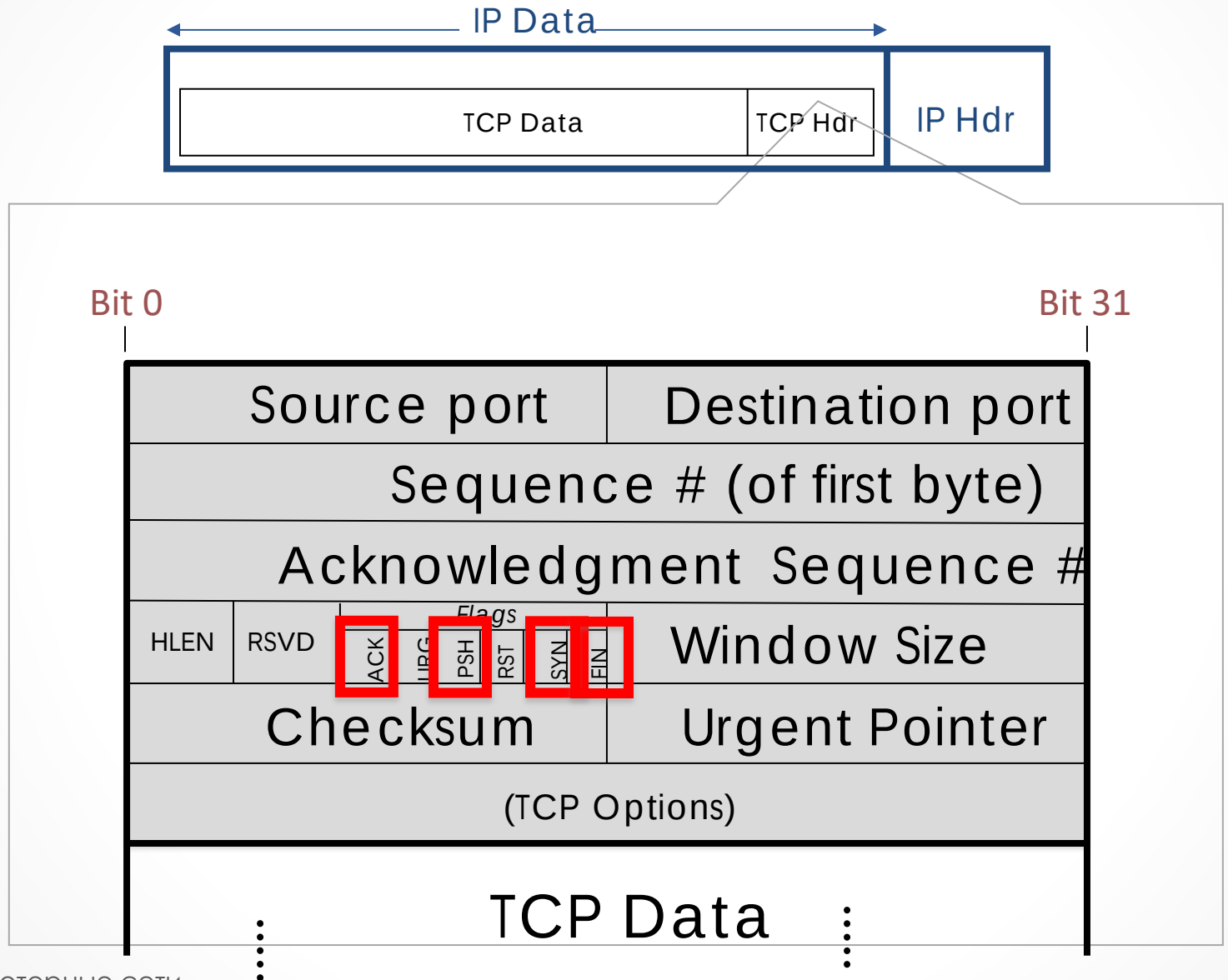


Разрыв соединения



Интернет: модель TCP/UDP сервисов (продолжение)

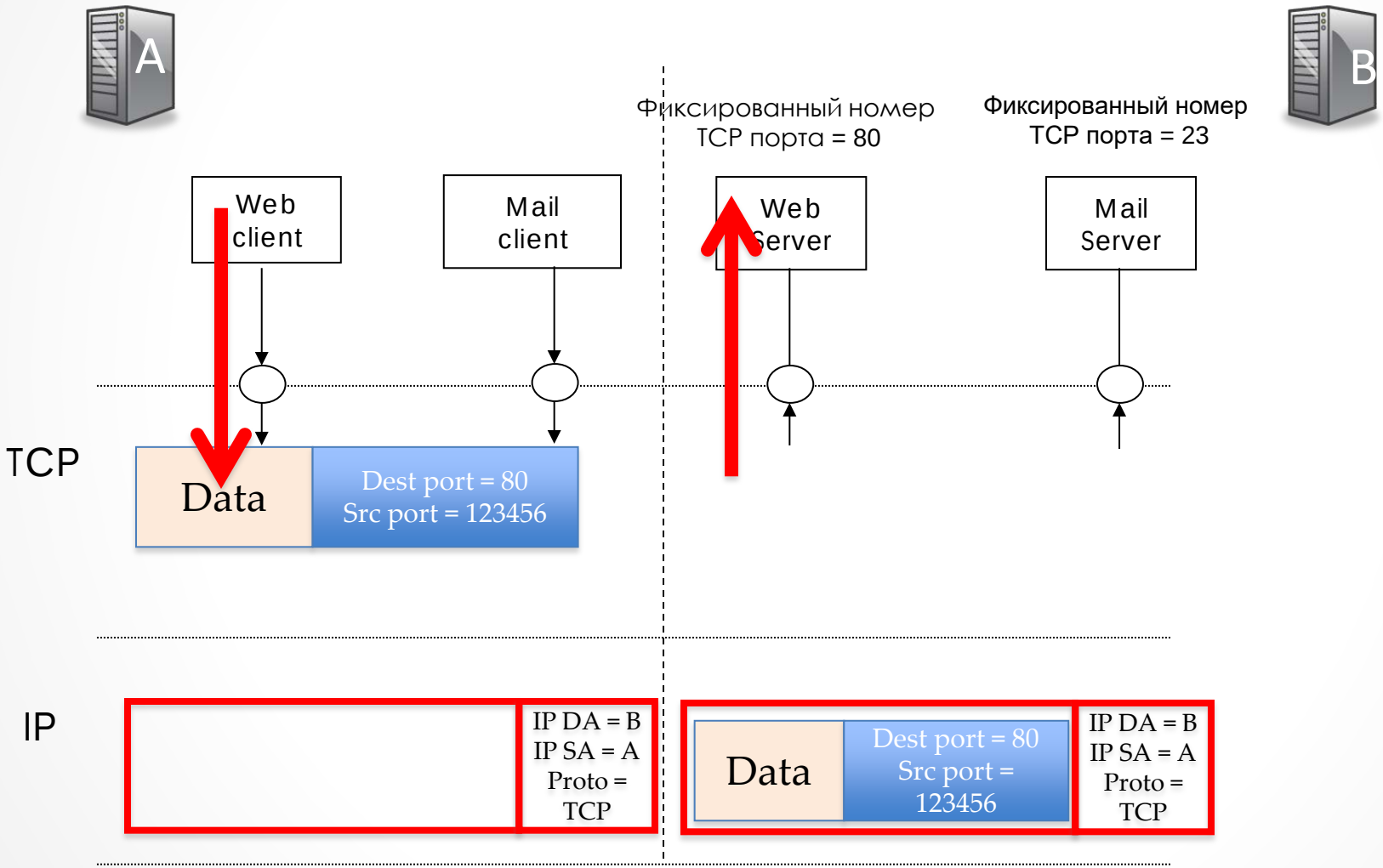
Формат TCP сегмента



Модель TCP сервиса

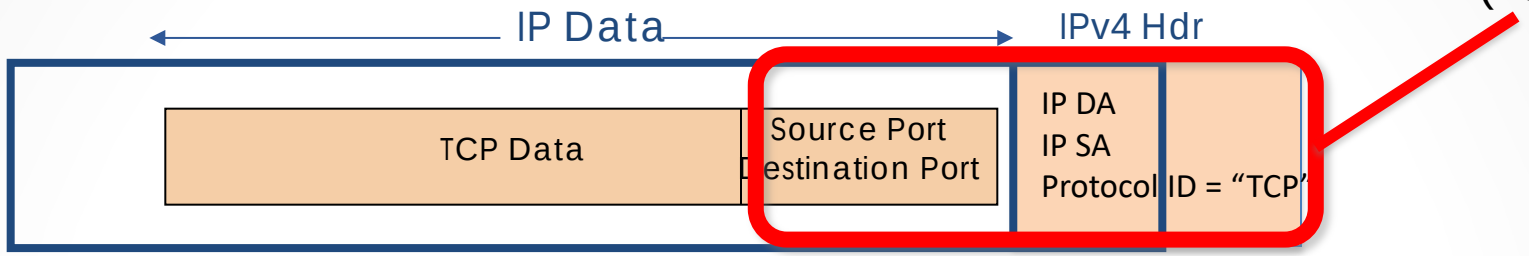
Свойство	Поведение
Поток байт	Сервис доставки байт
Надежная доставка	1. АСКподтверждает доставку 2. Контрольная сумма выявляет ошибки передачи (охватывает весь сегмент) 3. Последовательные номера позволяют обнаружить пропущенные данные 4. Управление потоком предотвращает получателя от «захлебывания»
Сохранение последовательности	Данные доставляют приложению в том же порядке, в каком они передавались
С установкой соединения	Процедура 3-х кратного рукопожатия
Управление перегрузкой	Управление перегрузками в сети

TCP: распределение по портам



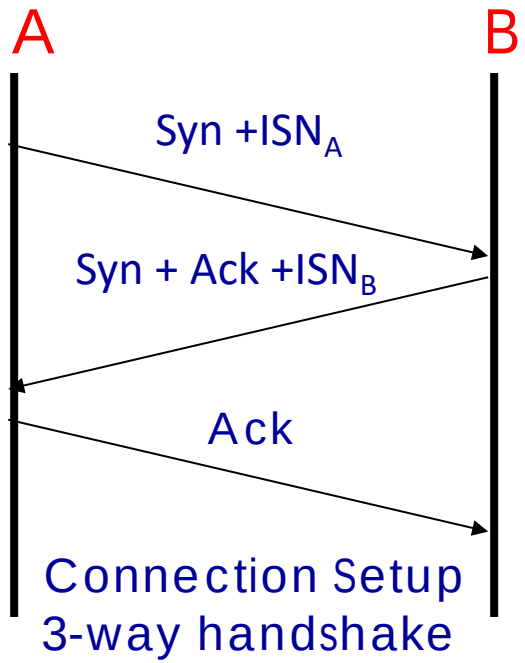
Уникальное ID для TCP соединения

104-бит уникальный ID
(во всем Internet)



1. Хост A увеличивает номер source port для каждого нового соединения

2. TCP выбирает ISN чтобы избежать пересечения с предыдущим соединением с тем же ID



Состояние транспортного соединения

Application -client

TCP agent

S_0	получен не подтвержден
S_1	получен подтвержден
S_2	подтвержден не передан App
S_4	подтвержден и передан App

www-server

TCP agent

S_0	отправлен/не подтвержден
S_1	отправлен/подтвержден

Безопасное закрытие сокета

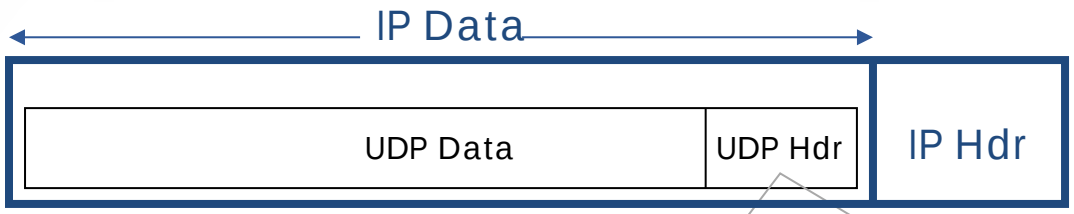
- *Проблемы с закрытием сокета*
  - *Что будет если последний ACK будет потерян?*
  - *Что будет если та же пара портов будет сразу повторно использована для нового соединения?*
- *Решение: инициатор разрыва устанавливает Time Wait*
  - *Инициатор разрыва шлет FIN*
  - *Не закрывает сокет в течении 2 MSL (Maximum Segment Lifetime)*
- *Проблемы на стороне сервера:*
  - *Работа OS замедляется, т.к. очень много сокетов в состоянии Time Wait*
  - *Уязвимость: в состоянии Time Wait можно послать RST и переустановить параметры сокета*

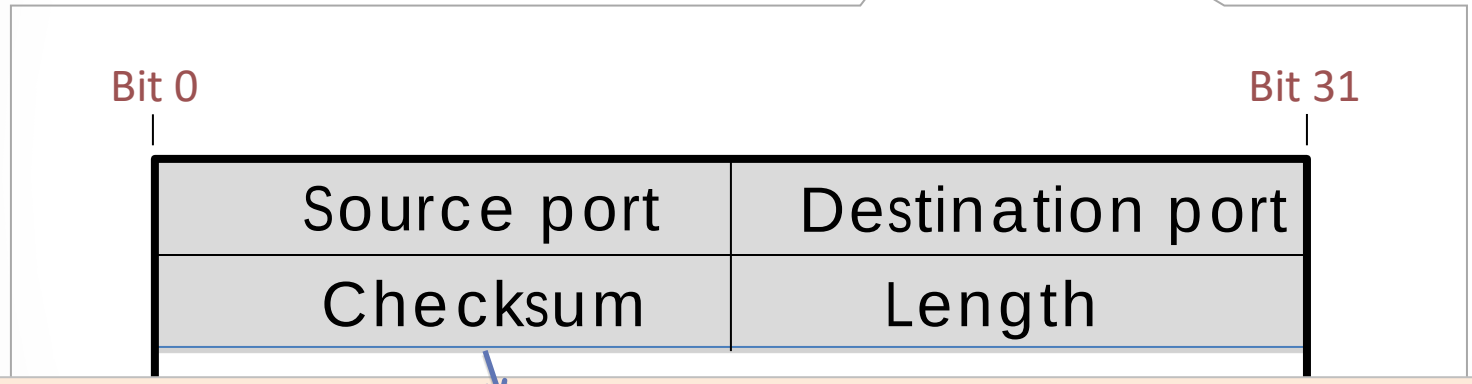
TCP – что еще осталось

У нас остались не рассмотренными

- *Как управлять потоком пакетов и сегментов?*
- *Как должно быть организована повторная передача потерянных сегментов?*
- *Послали сегмент, как долго ждать подтверждения получения?*
- *Что делать если в сети начались «пробки»?*

Формат UDP дейтаграммы





Поля псевдозаголовка,
защищаемые контрольной суммой (если она не 0)

IPv4: IP DA, IP SA, Protocol ID for UDP (17), UDP data+hdr length
UDP: source port, destination port, length
UDP: data

Модель UDP сервиса

Свойство	Поведение
Сервис без соединения	Соединение не устанавливают Пакеты могут приходить в произвольном порядке
Дейтаграммы самодостаточны	
Ненадежная доставка	1. Отсутствуют подтверждения (Ack) 2. Контрольная сумма охватывает только заголовок 3. Отсутствуют средства выявления пропущенных данных или данных, нарушающих порядок отправки. 4. Нет управления потоком

Предварительный итог

- TCP предоставляет сервис, сохраняющий порядок байтов потока, обеспечивающий надежную доставку
- UDP обеспечивает простую доставку дейтаграмм между приложениями.

Средства описания протоколов: Диаграммы переходов для конечных автоматов

Конечный автомат

<Ain; Aout; S; Q: aq -> bq’; s*>

Пример: HTTP запрос

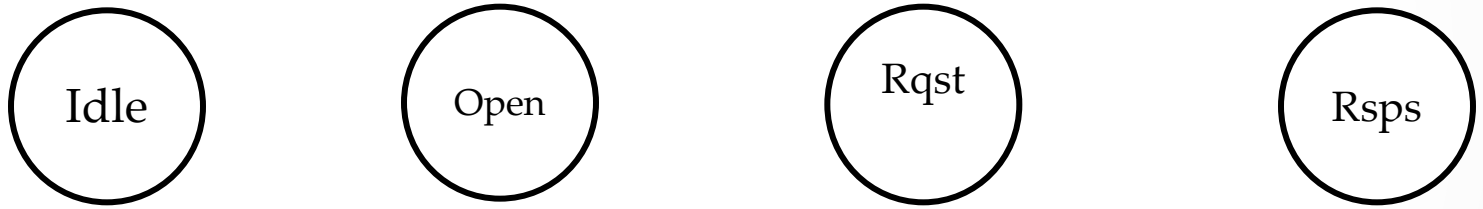


Диаграмма состояний TCP автомата

CLOSED

LISTEN
Сервер ожидает запросов установления соединения от клиента

SYN-RECEIVED
Сервер получил запрос на соединение, отправил ответный запрос и ожидает подтверждения

SYN-SENT
Клиент отправил запрос серверу на установление соединения и ожидает ответа

ESTABLISHED
Соединение установлено, идёт передача данных

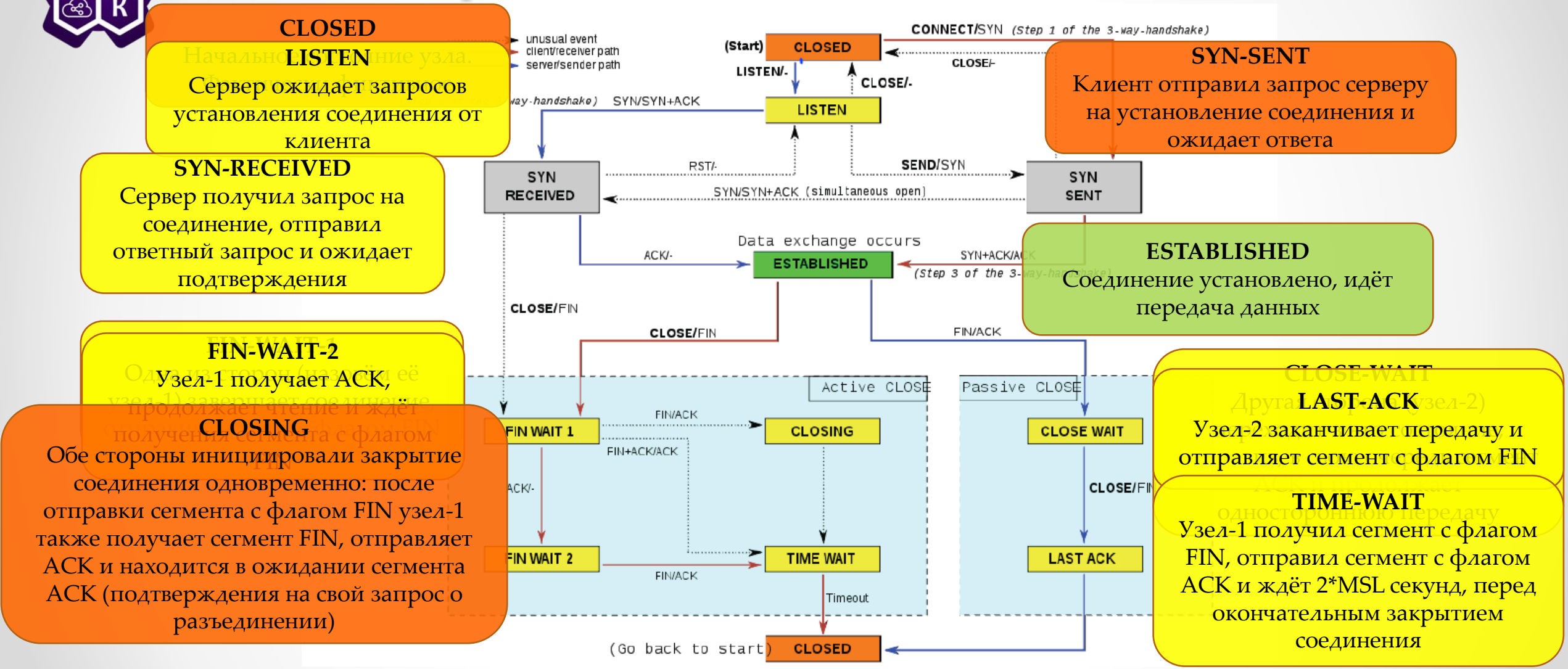
FIN-WAIT-2
Узел-1 получает ACK,

CLOSING
Обе стороны инициировали закрытие соединения одновременно: после отправки сегмента с флагом FIN узел-1 также получает сегмент FIN, отправляет ACK и находится в ожидании сегмента ACK (подтверждения на свой запрос о разъединении)

CLOSE-WAIT

LAST-ACK
Узел-2 заканчивает передачу и отправляет сегмент с флагом FIN

TIME-WAIT
Узел-1 получил сегмент с флагом FIN, отправил сегмент с флагом ACK и ждёт 2*MSL секунд, перед окончательным закрытием соединения



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tcp_state_diagram_fixed.svg

Интернет: управление потоком

Введение в компьютерные сети

чл.-корр. РАН Смелянский Р.Л.
Кафедра АСВК
ф-т ВМК МГУ

Управление потоком

- *Не посылать пакетов больше, чем может принять получатель*
- *Есть обратная связь между отправителем и получателем*
- *Два основных подхода:*
  - *Stop and Wait*
  - *Скользящее окно (Sliding Window)*

Управление потоком (stop and wait)

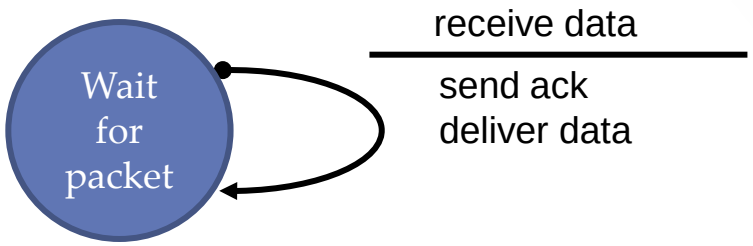
- В одно и то же время передают не более одного пакета
- Sender отправляет пакет
- Receiver посылает пакет с ack , когда получает пакет данных
- Получив ack, sender шлет новый пакет с данными
- По time_out, sender повторно посылает пакет с данными
- Счетчик на 1 бит позволяет выявлять дублирование

Управление потоком (т.1 стр. 122-128)

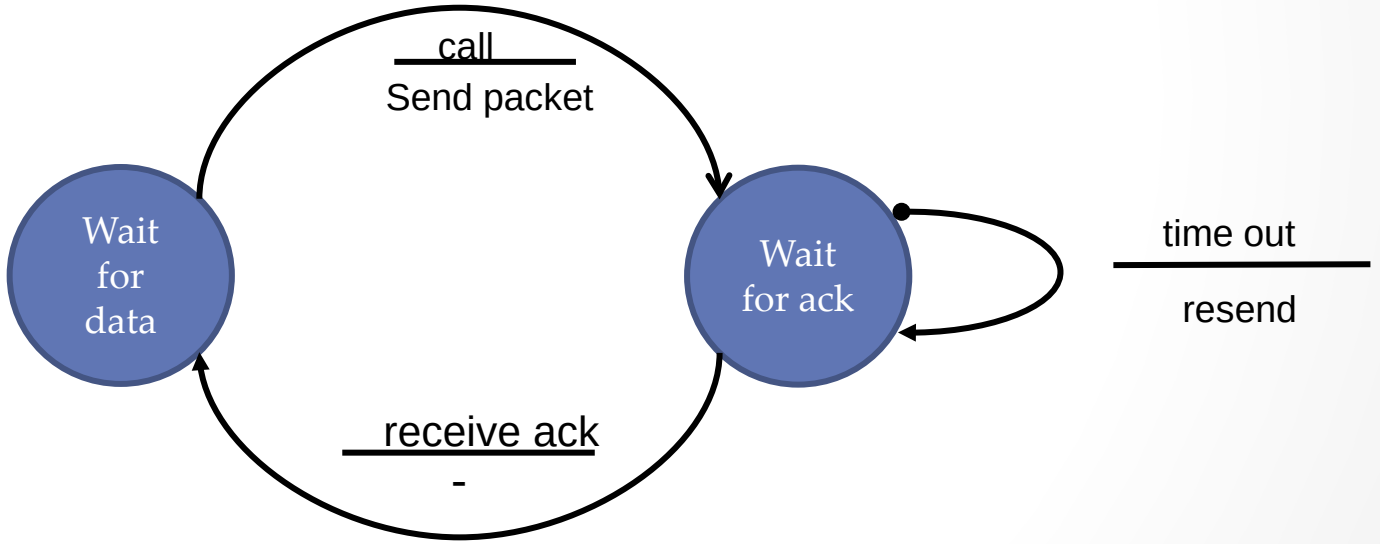
```
#define MAX_PKT 1024              /* determines packet size in bytes */

typedef enum {false, true} boolean;  /* boolean type */
typedef unsigned int seq_nr;         /* sequence or ack numbers */
typedef struct {unsigned char data[MAX_PKT];} packet;/* packet definition */
typedef enum {data, ack, nak} frame_kind;  /* frame_kind definition */

typedef struct {                     /* frames are transported in this layer */
  frame_kind kind;                   /* what kind of a frame is it? */
  seq_nr seq;                        /* sequence number */
  seq_nr ack;                        /* acknowledgement number */
  packet info;                       /* the network layer packet */
} frame;

/* Wait for an event to happen; return its type in event. */
void wait_for_event(event_type *event);

/* Fetch a packet from the network layer for transmission on the channel. */
void from_network_layer(packet *p);

/* Deliver information from an inbound frame to the network layer. */
void to_network_layer(packet *p);

/* Go get an inbound frame from the physical layer and copy it to r. */
void from_physical_layer(frame *r);

/* Pass the frame to the physical layer for transmission. */
void to_physical_layer(frame *s);

/* Start the clock running and enable the timeout event. */
void start_timer(seq_nr k);

/* Stop the clock and disable the timeout event. */
void stop_timer(seq_nr k);

/* Start an auxiliary timer and enable the ack_timeout event. */
void start_ack_timer(void);

/* Stop the auxiliary timer and disable the ack_timeout event. */
void stop_ack_timer(void);

/* Allow the network layer to cause a network_layer_ready event. */
void enable_network_layer(void);

/* Forbid the network layer from causing a network_layer_ready event. */
void disable_network_layer(void);

/* Macro inc is expanded in-line: Increment k circularly. */
#define inc(k) if (k < MAX_SEQ) k = k + 1; else k = 0
```

Управление потоком (Stop and Wait)

Receiver FSM



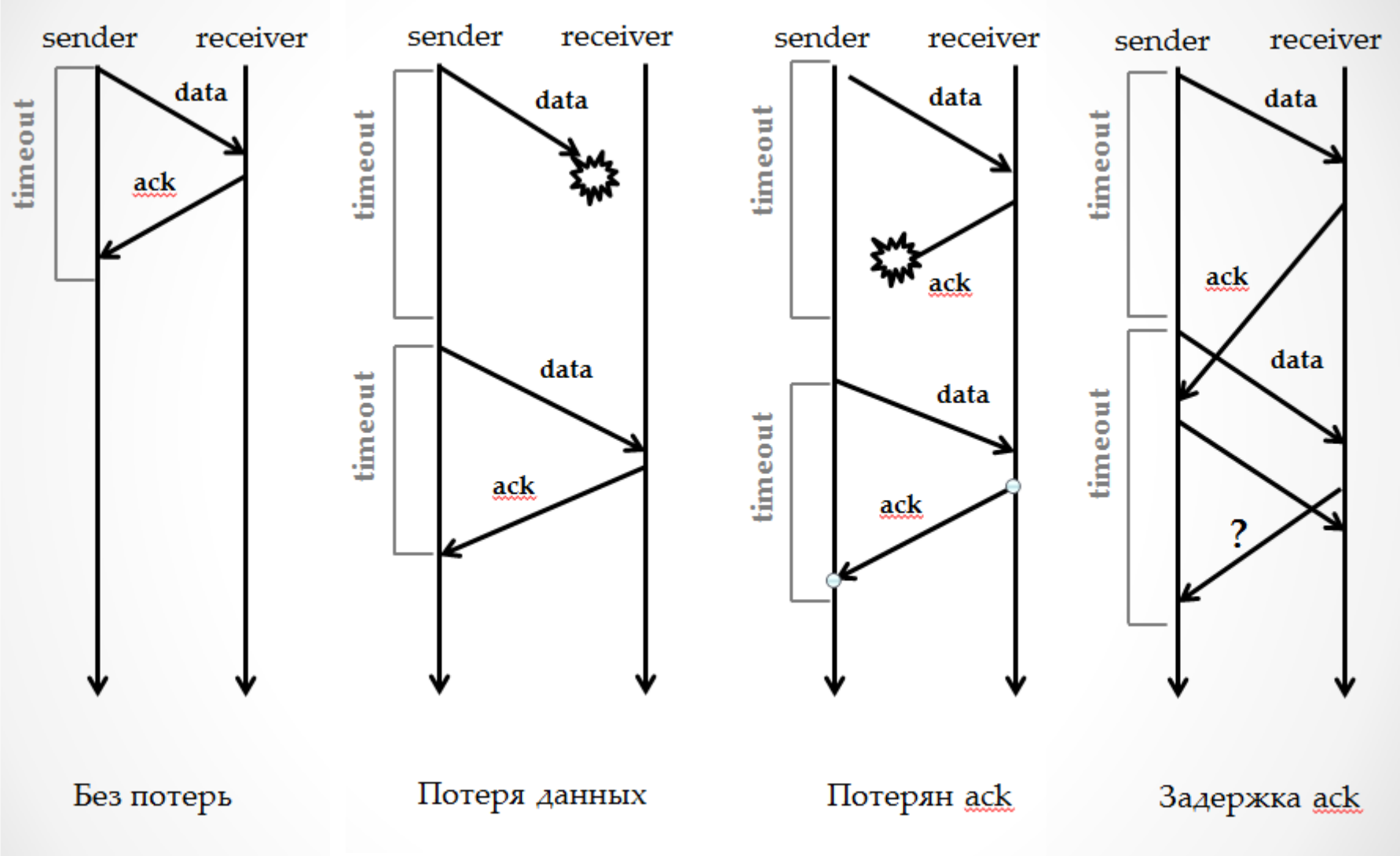
Sender FSM



```
/* Protocol 1 (utopia) provides for data transmission in one direction only, from
   sender to receiver.  The communication channel is assumed to be error free,
   and the receiver is assumed to be able to process all the input infinitely fast.
   Consequently, the sender just sits in a loop pumping data out onto the line as
   fast as it can. */

typedef enum {frame_arrival} event_type;
#include "protocol.h"

void sender1(void)
{
  frame s;                      /* buffer for an outbound frame */
  packet buffer;                /* buffer for an outbound packet */

  while (true) {
      from_network_layer(&buffer);        /* go get something to send */
      s.info = buffer;          /* copy it into s for transmission */
      to_physical_layer(&s);    /* send it on its way */
  }                             /* Tomorrow, and tomorrow, and tomorrow,
                                   Creeps in this petty pace from day to day
                                   To the last syllable of recorded time
                                      - Macbeth, V, v */
}

void receiver1(void)
{
  frame r;
  event_type event;             /* filled in by wait, but not used here */

  while (true) {
      wait_for_event(&event); /* only possibility is frame_arrival */
      from_physical_layer(&r);/* go get the inbound frame */
      to_network_layer(&r.info);          /* pass the data to the network layer */
  }
}
```

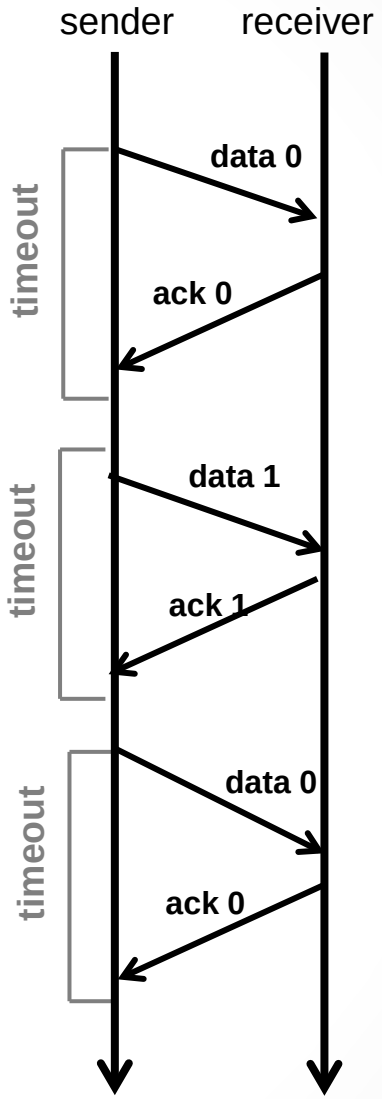
```
/* Protocol 2 (stop-and-wait) also provides for a one-directional flow of data from
   sender to receiver. The communication channel is once again assumed to be error
   free, as in protocol 1. However, this time, the receiver has only a finite buffer
   capacity and a finite processing speed, so the protocol must explicitly prevent
   the sender from flooding the receiver with data faster than it can be handled. */

typedef enum {frame_arrival} event_type;
#include "protocol.h"

void sender2(void)
{
  frame s;                          /* buffer for an outbound frame */
  packet buffer;                    /* buffer for an outbound packet */
  event_type event;                 /* frame_arrival is the only possibility */

  while (true) {
      from_network_layer(&buffer);                    /* go get something to send */
      s.info = buffer;              /* copy it into s for transmission */
      to_physical_layer(&s);        /* bye bye little frame */
      wait_for_event(&event);       wait event = ack V time_out      the go ahead */
  }
}

void receiver2(void)
{
  frame r, s;                       /* buffers for frames */
  event_type event;                 /* frame_arrival is the only possibility */
  while (true) {
      wait_for_event(&event);         send a packet with ack         rival */
      from_physical_layer(&r);      /* go get the inbound frame */
      to_network_layer(&r.info);/* pass the data to the network layer */
      to_physical_layer(&s);        /* send a dummy frame to awaken sender */
  }
}
```

Управление потоком



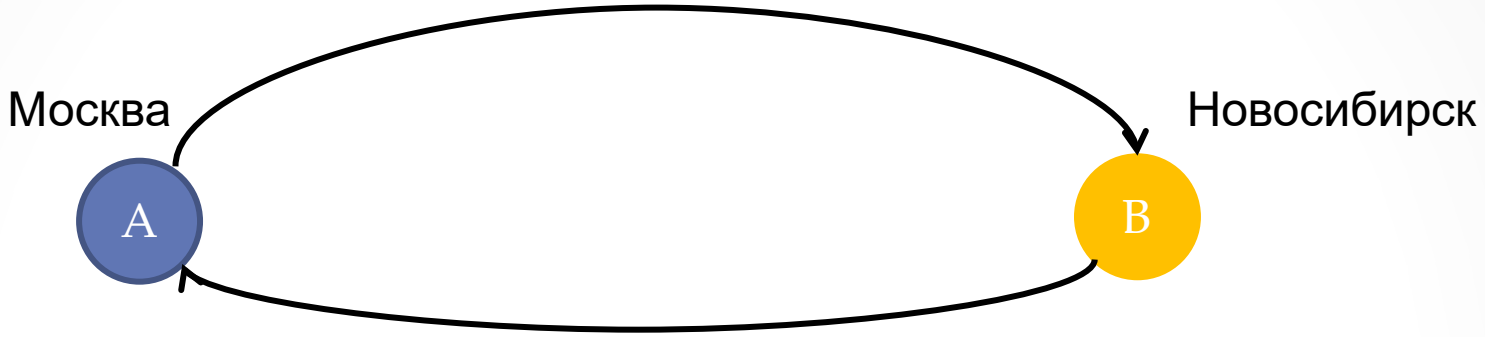
Дублирование

- *Счетчик на 1 бит в данных и уведомлении позволяет отличать новые данные от дубликатов*
- *Будем предполагать*
  - *Сама сеть не размножает пакеты*
  - *Запаздывание пакетов гарантированно не более одного time_out*



Интернет: управление потоком (Sliding Window)

Проблема

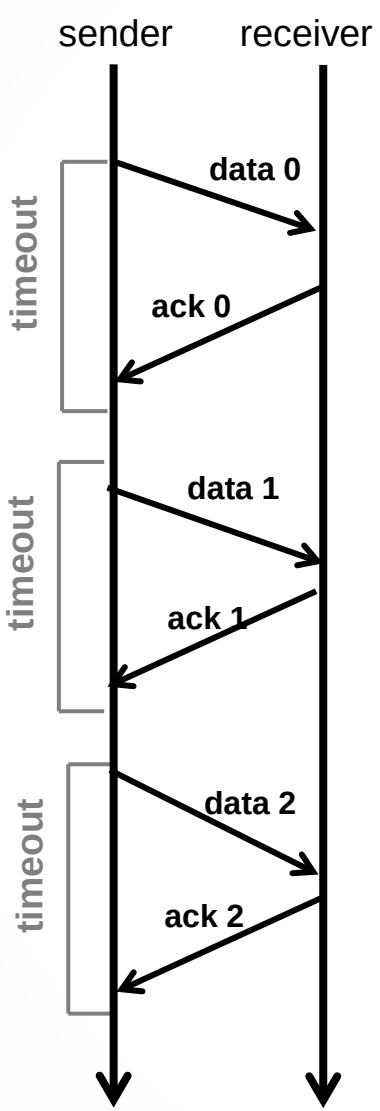


10 Мб/с
RTT = 50 mc

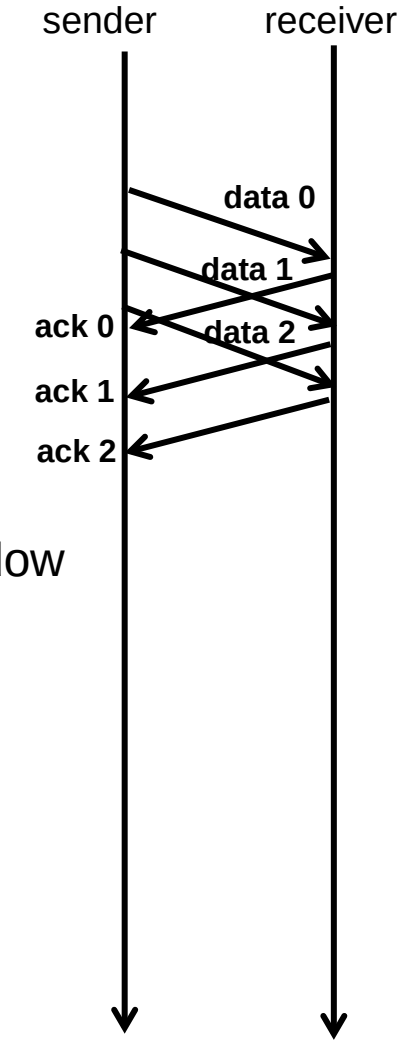
Макс. пропускная способность 10Мб/с
RTT – 50mc

Сделаем обобщение S&W протокола:
- *Разрешаем использовать сразу несколько неподтвержденных сегментов*
- *Максимальное число таких сегментов – окно*
- *Можем плотно «забить» канал*

Пример



Sliding Window

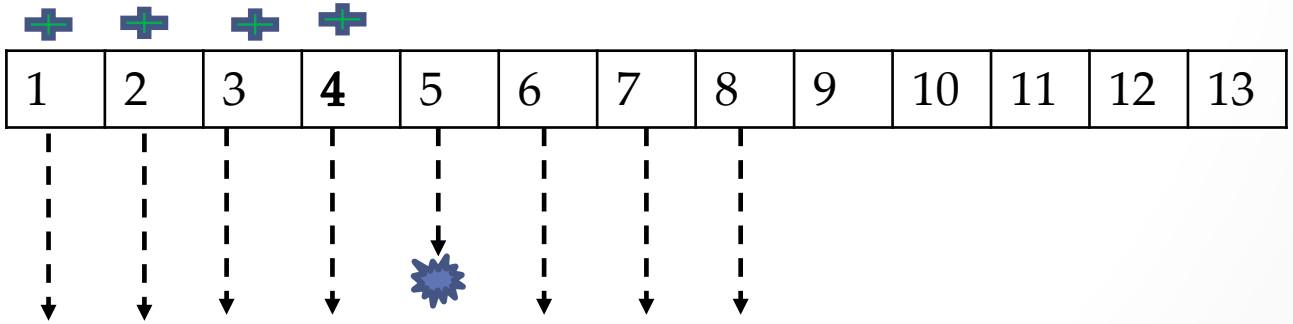


SW Sender

- *У каждого сегмента есть последовательный номер*
- *Поддерживаются 3 переменных*
  - *Размер окна отправки (SWS)*
  - *Последнее полученное от получателя подтверждение (LAR)*
  - *Последний отправленный сегмент (LSS)*
- *Всегда (LSS – LAR) ≤ SWS*
- *LAR возрастает при каждом новом подтверждении*
- *Буфер на SWS сегментов*

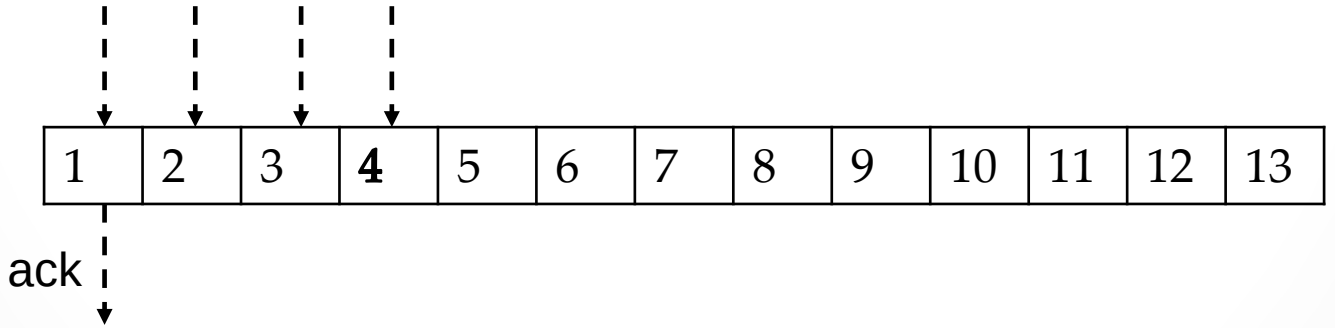
LAR - Last Acknowledge Received
SWS - Sender Window Size
LSS – Last Sent Segment

SWS = 4



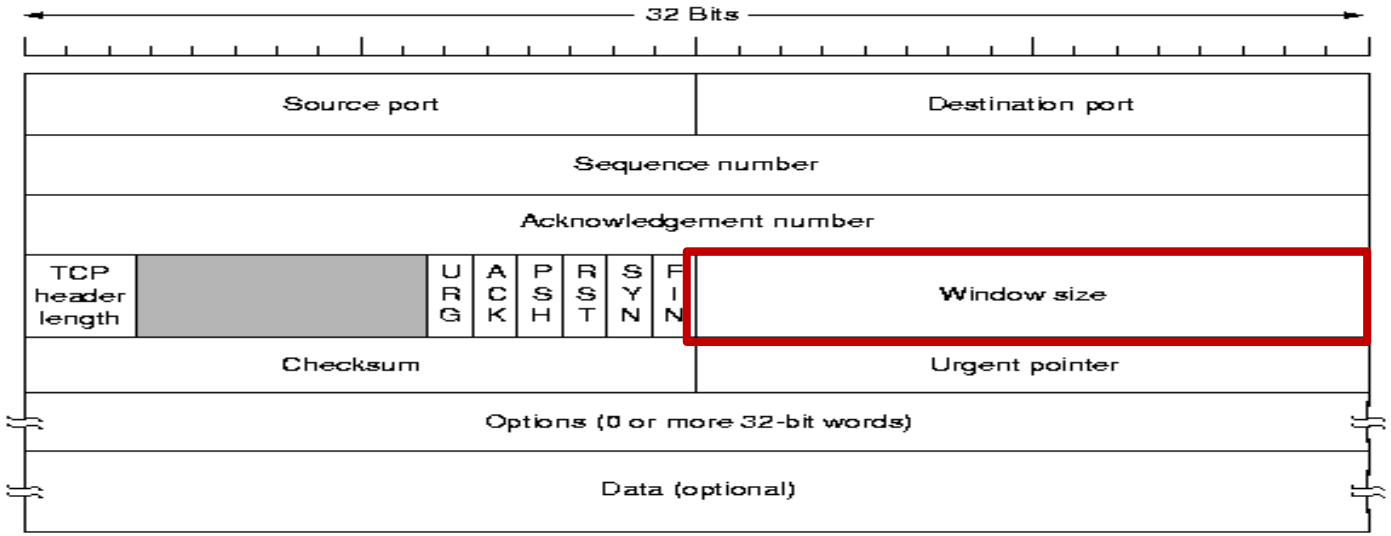
SW Receiver

- *Поддерживаются 3 переменных*
  - *Размер окна получения (SWR)*
  - *Наибольший допустимый номер сегмента (LAS)*
  - *Последний полученный сегмент (LRS)*
- *Всегда (LAS – LRS) ≤ SWR*
- *Если номер полученного сегмента < LAS, то шли подтверждение*
  - *Накопительный ack: если получены 1,2,3,5 – подтверждаем 3*
  - *TCP в уведомлении подтверждает номер ожидаемого сегмента (т.е. 4 в предыдущем примере)*

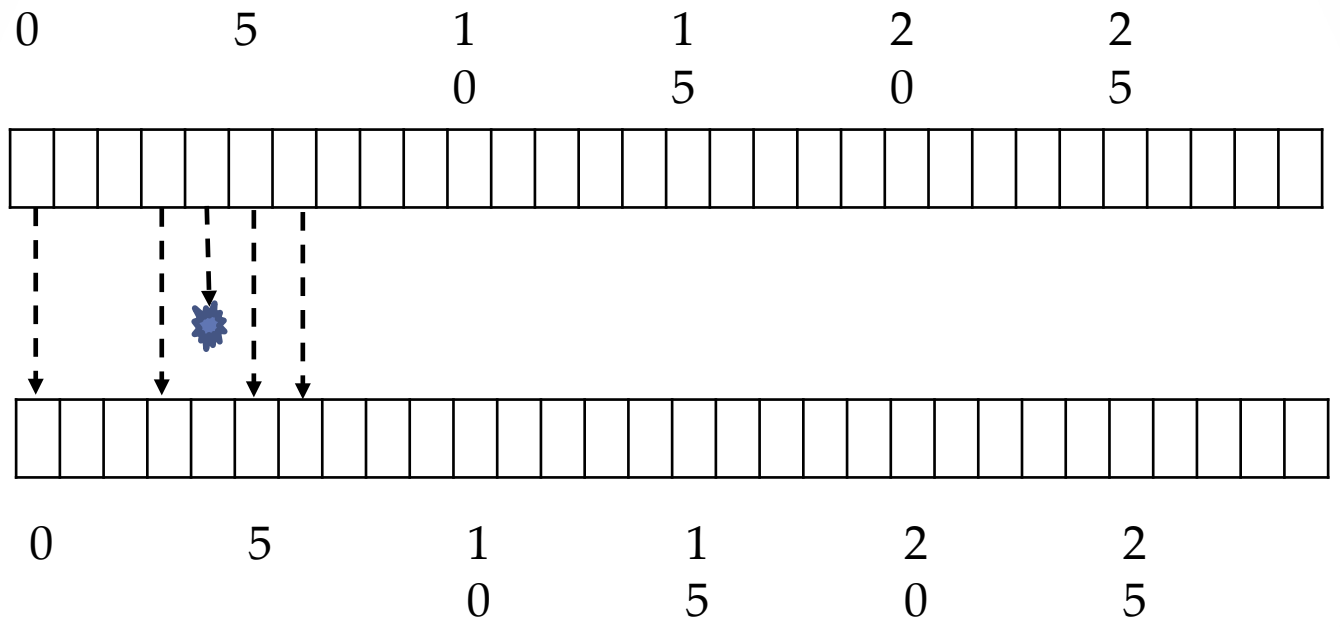


Управление потоком в TCP

- Receiver информирует о размере SWR через поле Window в TCP заголовке
- Sender может посылать данные с номерами не больше LAR+ window



SW пример



SWR, SWS и пространство последовательных номеров

- *SWR≥ 1, SWS ≥ 1, SWS ≥ SWR*

- *Если SWR=1, "go back N" протокол, то SWS+1 последовательных номеров будут неподтвержденными*
- *Если SWR=SWS, нужно 2 SWS последовательных номеров*
- *В общем случае нужно SWR + SWS номеров*
  - *SWR пакеты в неизвестном состоянии (аск могут быть утеряны)*
  - *SWS пакеты в пути, но не должны переполнять пространство последовательных номеров*

Управление потоком с SW

- *Допускает в окне только пакеты в пути, т.е. неподтвержденные*
- *Как только пришло уведомление, окно сдвигается*
- *Необходимое пространство последовательных номеров зависит от размера окна (поле window)*
- *Необходимо согласовать размеры SWS и SWR*

Интернет: модель ICMP сервисов

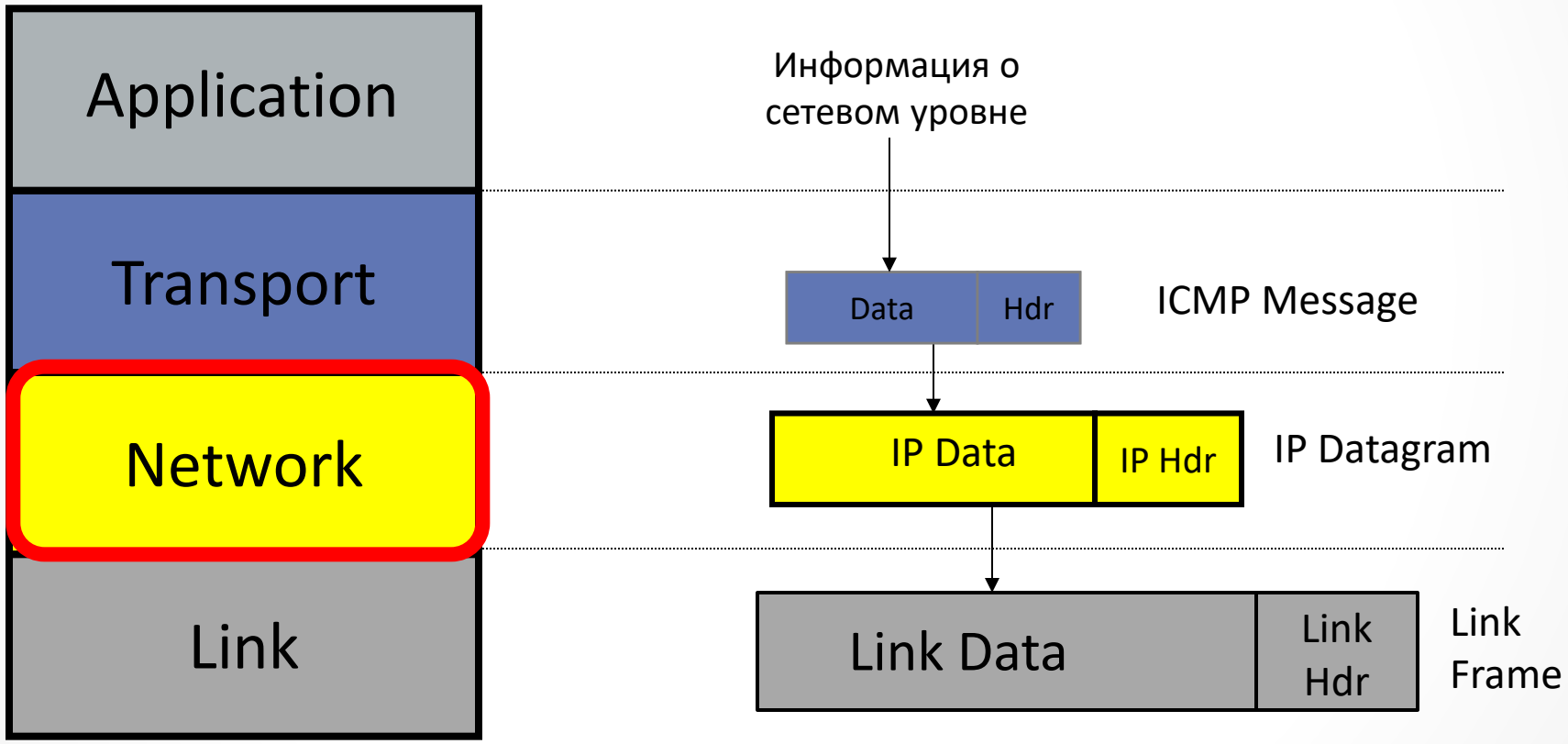
Введение в компьютерные сети

чл.-корр. РАН, проф. Смелянский Р.Л.
Кафедра АСВК
ф-т ВМК МГУ

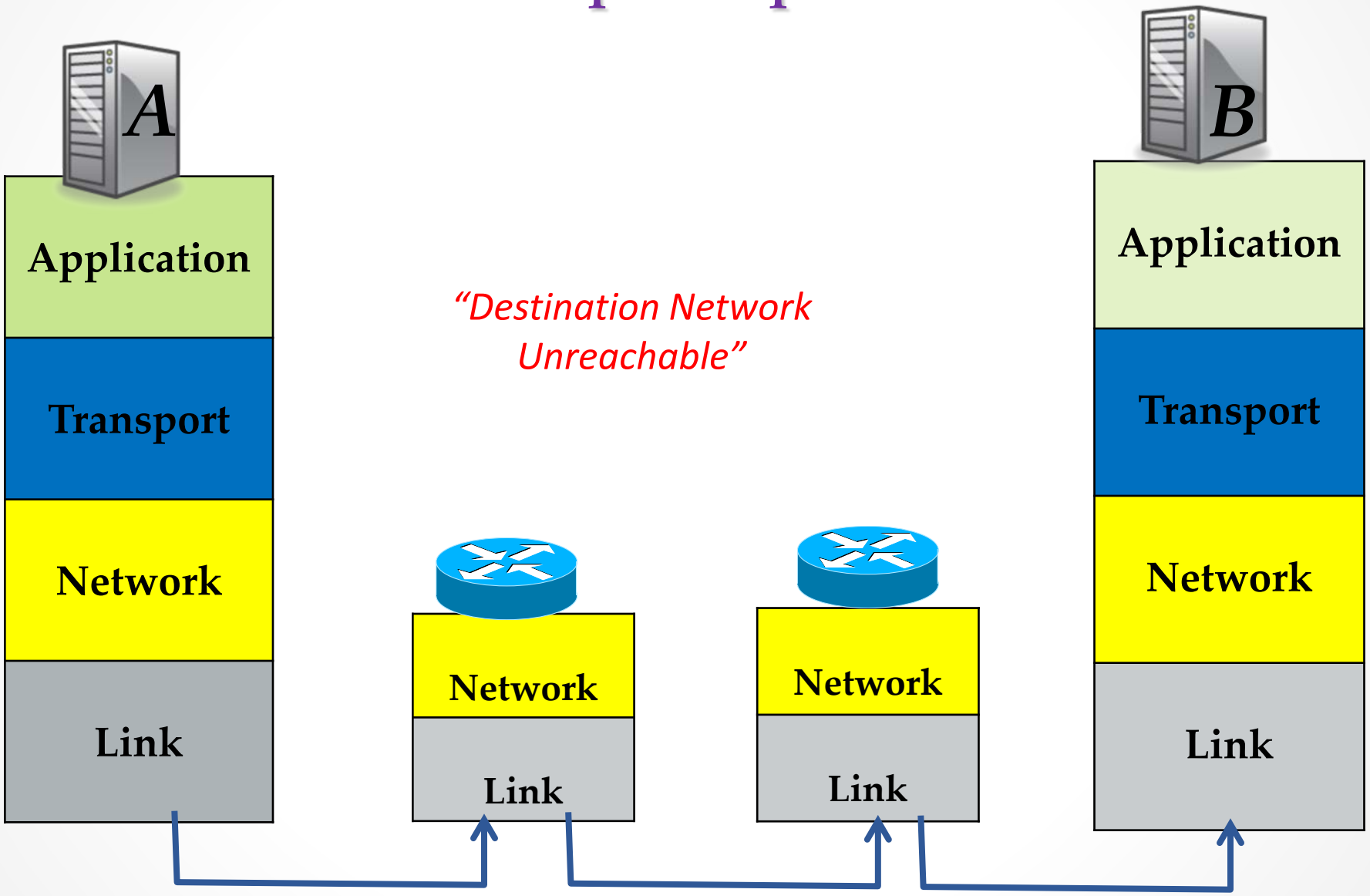
ICMP протокол

- Предназначен для поддержки IP протокола
- IP протокол
  - Создает IP дейтаграммы
  - Передает их hop-by-hop
  - Формирует таблицы маршрутизации
  - Алгоритмы распространения таких таблиц
- ICMP протокол
  - Обеспечивает коммуникацию между сетевыми уровнями хостов и маршрутизаторов
  - Сообщения об ошибках
  - Диагностика проблем

ICMP работает над сетевым уровнем



Пример


A
Application
Transport
Network
Link
"Destination Network Unreachable"
Network
Link
Network
Link
B
Application
Transport
Network
Link

Модель ICMP сервиса

Свойство	Поведение
Сообщение о состоянии	*Самодостаточное сообщение об ошибке или исключительном состоянии*
Ненадежный	*Сервис без соединения и подтверждения*

Примеры типов и кодов ICMP сообщений

ICMP тип	ICMP код	Назначение
0	0	Echo Reply (ping)
3	0	Destination Network Unreachable
3	1	Destination Host Unreachable
3	3	Destination Port Unreachable
8	0	Echo Request (ping)
11	0	TTL Expired (traceroute)

RFC 792

Структура заголовка ICMP сообщения

Заголовок ICMP-сообщения состоит из 8 байт:

- тип (1 байт) – числовой идентификатор типа сообщения:
  - 0 или 8, где 0 - **ICMP reply** (ответ), 8 - **ICMP request** (запрос);
- код (1 байт) – числовой идентификатор, точно определяющий тип ошибки
- контрольная сумма (2 байта) – вычисляется для всего ICMP-сообщения
- Оставшиеся 4 байта и поле данных зависит от значений полей типа и кода.

Заключение

- ICMP предоставляет информацию о сетевом уровне хостам и маршрутизаторам
- ICMP работает над IP и относится к транспортному уровню
- ping и traceroute реализованы с помощью ICMP

Интернет: Обнаружение ошибок передачи

(Смелянский Компьютерные сети. т.1, стр. 116-122)

Введение в компьютерные сети

чл.-корр. РАН Смелянский Р.Л.
кафедра АСВК МГУ

Обнаружение и исправление ошибок

(см. учебник т.1 стр.116-122)

- *Ошибки единичные и групповые (блочные)*
- *Forward Error Correction vs Backword Error Correction*
- *Коды с обнаружением ошибок*
  - *кодослово*
  - *расстояние Хемминга*
- *Коды исправляющие ошибки*

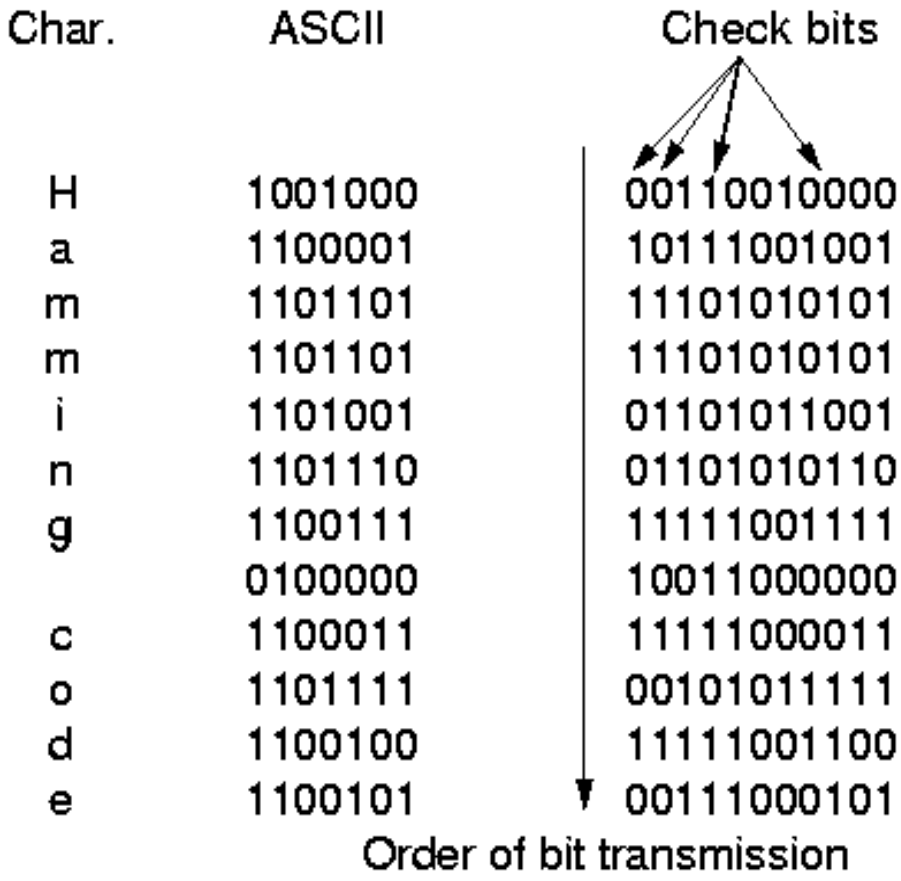
  0000000000, 0000011111, 1111100000,1111111111

- $(n+1)2^m \leq 2^n; (m+r+1) \leq 2^r$

Коды с исправлением ошибок

- *Код Хемминга для единичных ошибок*
  - *разряды кодослова нумеруют слева направо, начиная с 1;*
  - *все биты, номера которых есть степень 2 (1,2,4,8,16 и т.д.) - контрольные, остальные - биты сообщения;*
  - *каждый контрольный бит отвечает за четность группы битов, включая себя. Один и тот же бит может относиться к разным группам. Значение бита сообщения определяется по значениям контрольных битов. Чтобы определить какие контрольные биты контролируют бит в позиции k надо представить значение k по степеням двойки. Например, 11= 1+2+8, 39=1+2+4+32.*

Код Хемминга для исправления одиночных ошибок



Коды обнаруживающие ошибки

- Групповые ошибки
- Биты четности не позволяют эффективно бороться с групповыми ошибками
- Иногда перепослать дешевле, чем исправить
- CRC код (Cyclic Redundancy Code)
  - строка 110001 представляет полином $x^5+x^4+x^0$
  - арифметика выполняется по модулю 2

```
 10011011      00110011      11110000      01010101
+11001010     + 11001101     - 10100110     - 10101111
----------    ----------    ----------    ----------
 01010001      11111110      01010110      11111010
```

Избыточные циклические коды (CRC)

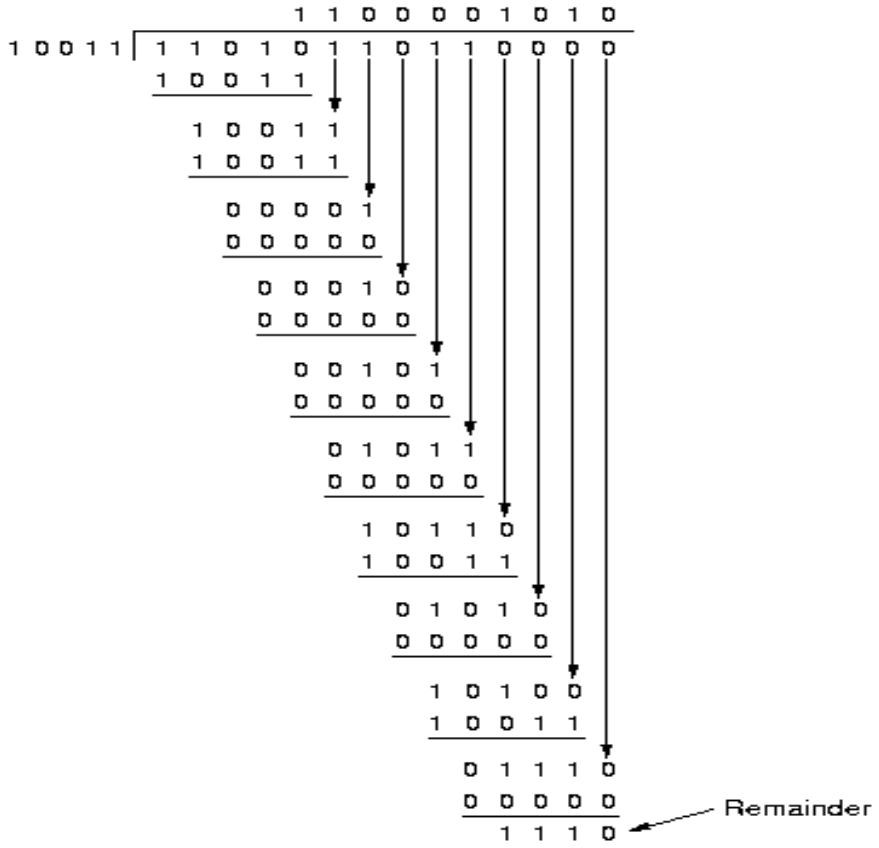
- *Отправитель и получатель договариваются о конкретном образующем полиноме G(x) степени r (коэффициенты при старшем члене и при младшем члене должны быть равны 1).*
- *Для вычисления контрольной суммы блока из m бит надо чтобы обязательно m>r.*
- *Добавить контрольную сумму к передаваемому блоку, рассматриваемому как полином M(x) так, чтобы передаваемый блок с контрольной суммой был кратен G(x). Когда получатель получает блок с контрольной суммой, он делит его на G(x). Если есть остаток, то были ошибки при передаче.*

Избыточные циклические коды

- *Алгоритм вычисления контрольной суммы:*
  - *Добавить r нулей в конец блока так, что он теперь содержит m+r разрядов и соответствует полиному $x^r M(x)$;*
  - *Разделить по модулю 2 полином $x^r M(x)$ на $G(x)$;*
  - *Вычесть остаток (длина которого всегда не более r разрядов) из строки, соответствующей $x^r M(x)$, по модулю 2. Результат и есть блок с контрольной суммой (назовем его $T(x)$).*

Избыточные циклические коды

Frame : 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1
Generator: 1 0 0 1 1
Message after appending 4 zero bits: 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0



Transmitted frame: 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0

Избыточные циклические коды

(T(x) + E(x)), где E(x) – многочлен, где 1 – инвертированные при передаче биты

(T(x) + E(x))/ G(x) = E(x)/ G(x) остаток

E(x) = x^r - единичная ошибка, где r – ошибочный бит

E(x) = $x^i + x^j = x^j($ $(1 + x)^{i-j}$ - две изолированные ошибки

$x^{15} + x^{14} + 1$ не является делителем для $x^k + 1$ для k от 1 до $32\,768$

Дома показать, что никакой многочлен с нечетным количеством членов не делится на ***(x + 1)***

Коды обнаруживающие ошибки

- *Существует три международных стандарта на вид G(x):*
  - *CRC-12* $= x^{12}+x^{11}+x^3+x^2+x+1$
  - *CRC-16* $= x^{16}+x^{15}+x^2+1$
  - *CRC-CCITT* $= x^{16}+x^{12}+x^5+1$
- *CRC-12 используется для передачи символов из 6 разрядов. Два остальных - для 8 разрядных. CRC-16 и CRC-CCITT ловят одиночные, двойные ошибки, групповые ошибки длины не более 16 и нечетное число изолированных ошибок с вероятностью 99,997%.*

Контрольная сумма в IP пакете

- *IP, UDP и TCP используют один и тот же алгоритм комплементарной контрольной суммы:*
  - *Установить поле checksum= 0*
  - *Сложить все 16 разрядные слова в пакете (в IP пакете суммируется только заголовок)*
  - *Установить разряд четности*
  - *Контрольная сумма должны быть такой чтобы сумма всего пакета, включая контрольную сумму была бы 0xffff*
- *Основное достоинство – простота*
- *Недостаток – слабая защита от ошибок (только одиночные ошибки).*

Схемы обнаружения ошибок

Заключение

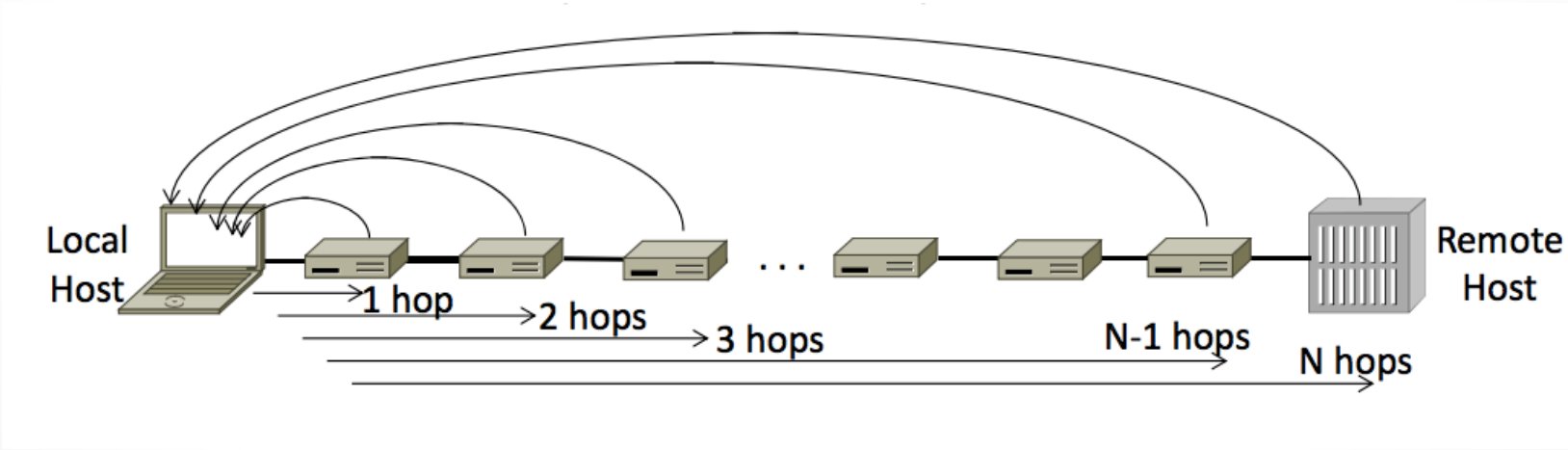
- *Контрольная сумма добавляется в IP, TCP, UDP пакеты*
  - *Быстро, дешево*
  - *Неустойчиво*
  - *L2 – защищает весь кадр*
  - *L3 – только заголовок*
  - *L4 – часть заголовка и тело*
- *CRC коды используются в Ethernet кадрах*
  - *Дороже чем контрольная сумма*
  - *Устойчивы к двукратным ошибкам, групповым ошибкам и ошибкам четности*
- *Использование кодов с обнаружением ошибок (бит четности)*

ping

- Команда ping использует сообщения
  - эхо запроса (Echo Request) и
  - эхоответа (Echo Reply) протокола ICMP
- Используется для диагностики работоспособности сети.
- Пример диагностики сети:
  - **ping 127.0.0.1** (проверка работы адреса замыкания на себя)
  - **ping <local ip>** (проверка связи с ip адресом локального компьютера)
  - **ping <default gateway>** (проверка связи со шлюзом по умолчанию)
  - **ping <remote ip>** (проверка связи с удаленным узлом)
- Возможные ответы команды **ping**
  - Получен обычный echo-ответ
  - Echo-ответ от запрашиваемого узла не был получен
  - Получено сообщение о недостижимости узла-получателя
  - Получено сообщение о невозможности фрагментации
  - Получен неизвестный пакет

traceroute / tracert

- Отправляет пробные пакеты с TTL=1, увеличивая значение счетчика на каждой итерации
- Сообщения об ошибках ICMP идентифицируют узлы маршрута



Демо

- Как узнать свой локальный IP?
  - Выход в командную строку (cmd)
  - Ipconfig /all
- Как узнать свой внешний IP?
  - http://2ip.ru
  - http://whatismyipaddress.com/ip-lookup
- Внешний IP меняется в зависимости от точки выхода во внешнюю сеть.
  - Переключиться на WiFi модем телефона и все повторяем
- Как узнать какому домену и к какой Автономной Системе принадлежит выделенный внешний IP?
  - http://whatismyipaddress.com/ip-lookup
  - https://www.nic.ru/whois/
  - https://apps.db.ripe.net/search/query.html
- Как узнать доступность хоста по его имени?
  - Выход в командную строку (cmd)
  - Ping имя или IP
- Как узнать маршрут доступа к хосту по имени?
  - tracert имя или IP
- Препарирование протоколов – Wireshark.

Заключение

1. Управление сервисами протокола через заголовок PDU
2. Установка транспортного соединения – 3-х кратное рукопожатие.
3. Надежные установка и разрыв соединения – алгоритмически не разрешимы!
4. Алгоритм работы протокола описывает диаграмма переходов конечного автомата.
5. Управление потоком – алгоритм скользящего окна.
6. Служебный протокол для сообщения об ошибках в сети – ICMP
7. Механизмы контроля ошибок:
    1. обнаружение vs исправление на основе расстояния между кодословами
    2. контрольная сумма vs CRC код
8. Команды трассировки маршрута и достижимости хоста.