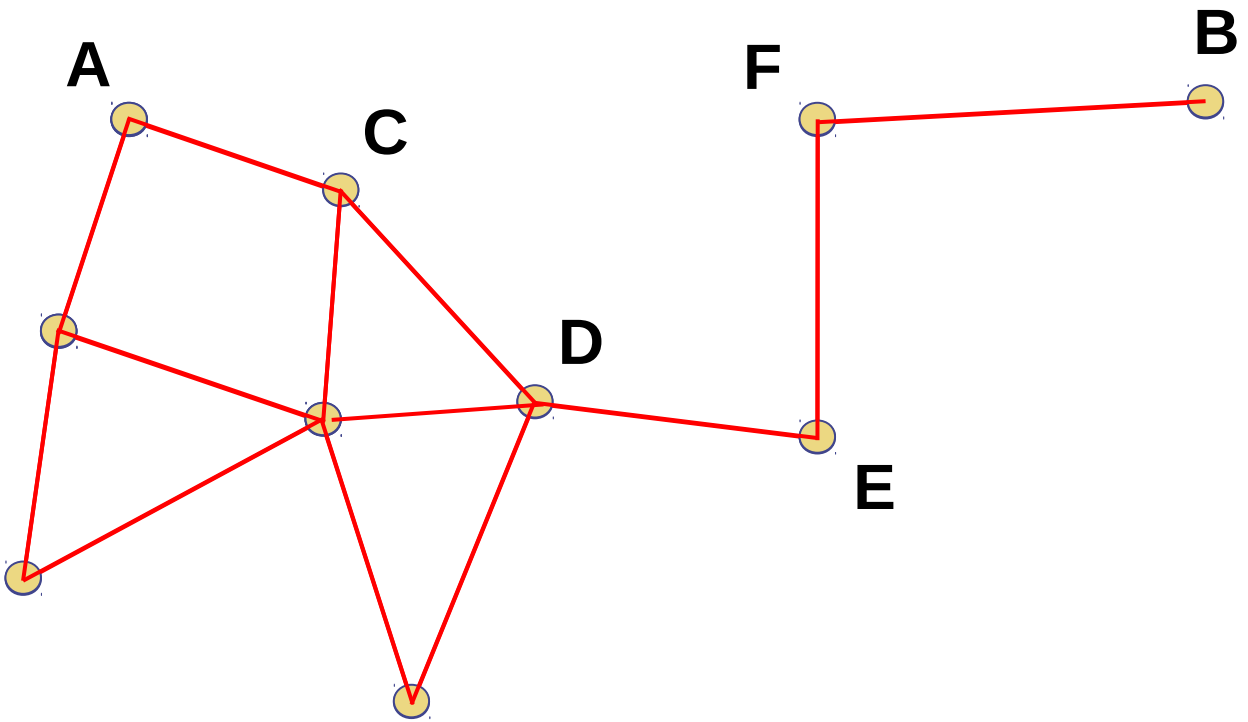
STU FEI

Počítačové siete 2

IPv4, IPv6, UDP, TCP, RED

Martin Drozda

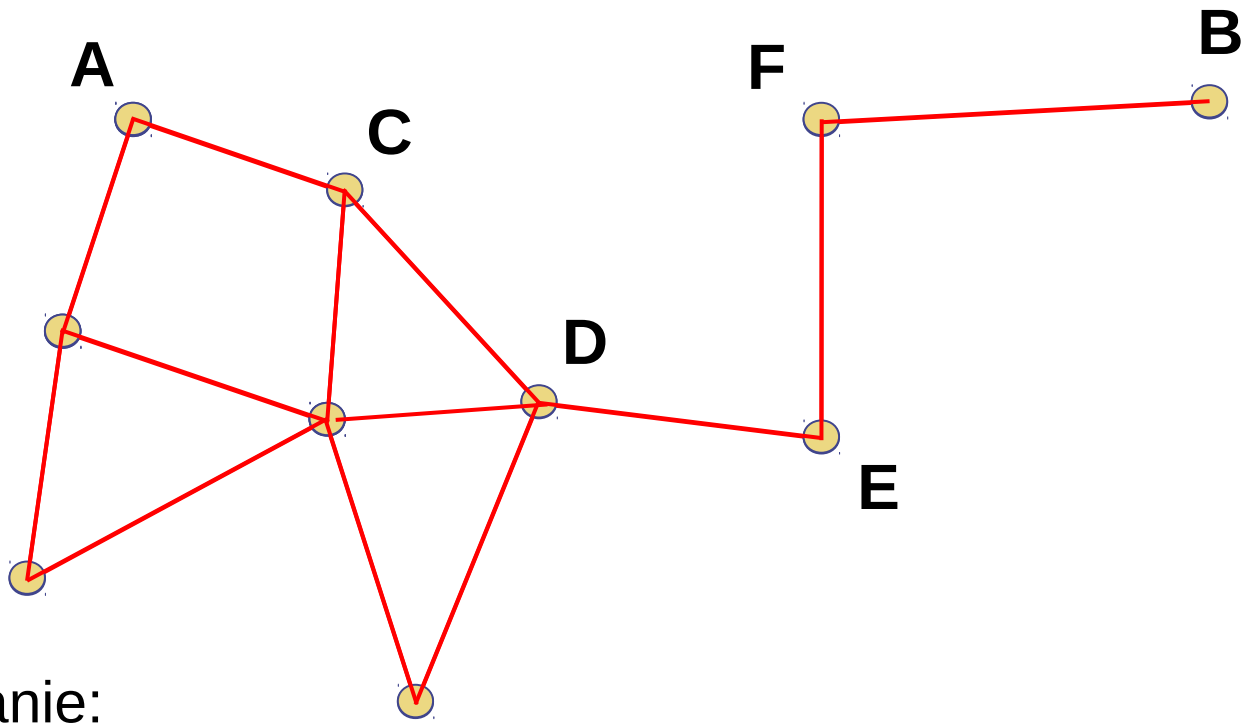
Ad hoc sieť



MAC:

- Rezervuje médium
- Potrebuje informáciu o nasledujúcom uzle od smerovacieho protokolu

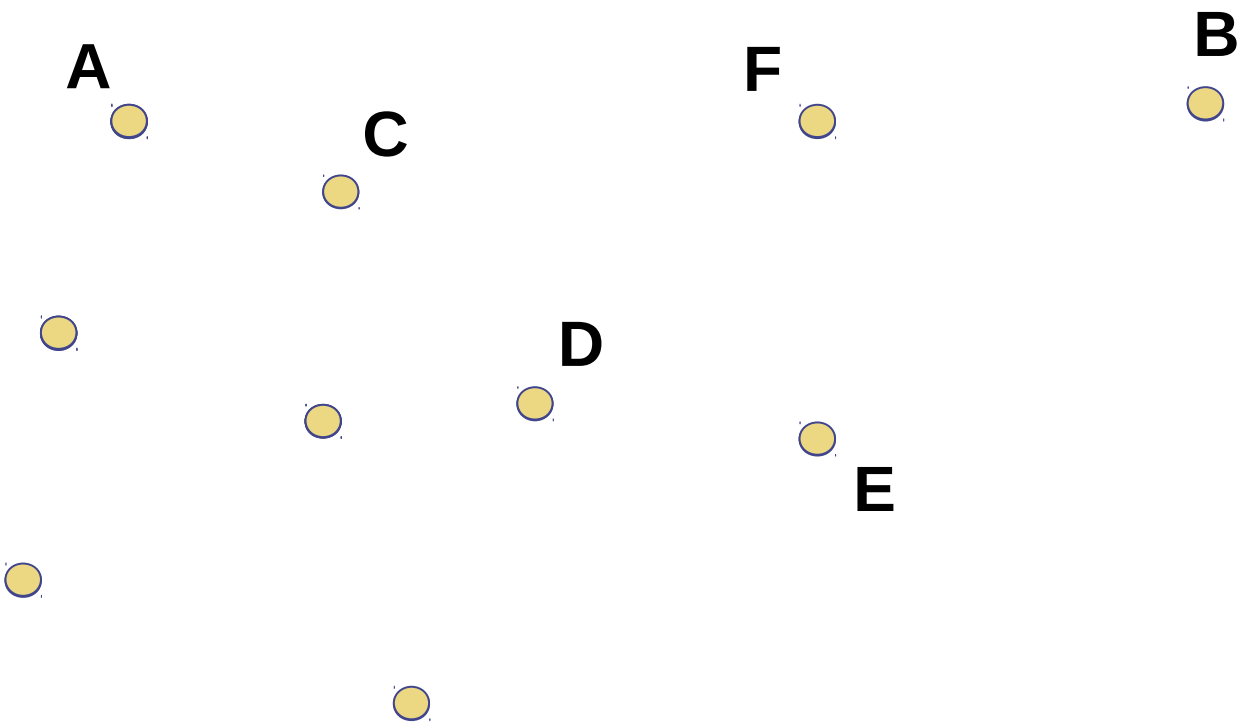
Ad hoc sieť



Smerovanie:

- Výpočet uzlov potrebných na dosiahnutie cieľového uzla
- Štartovací a cieľový uzol sú poskytnuté z transportnej vrstvy

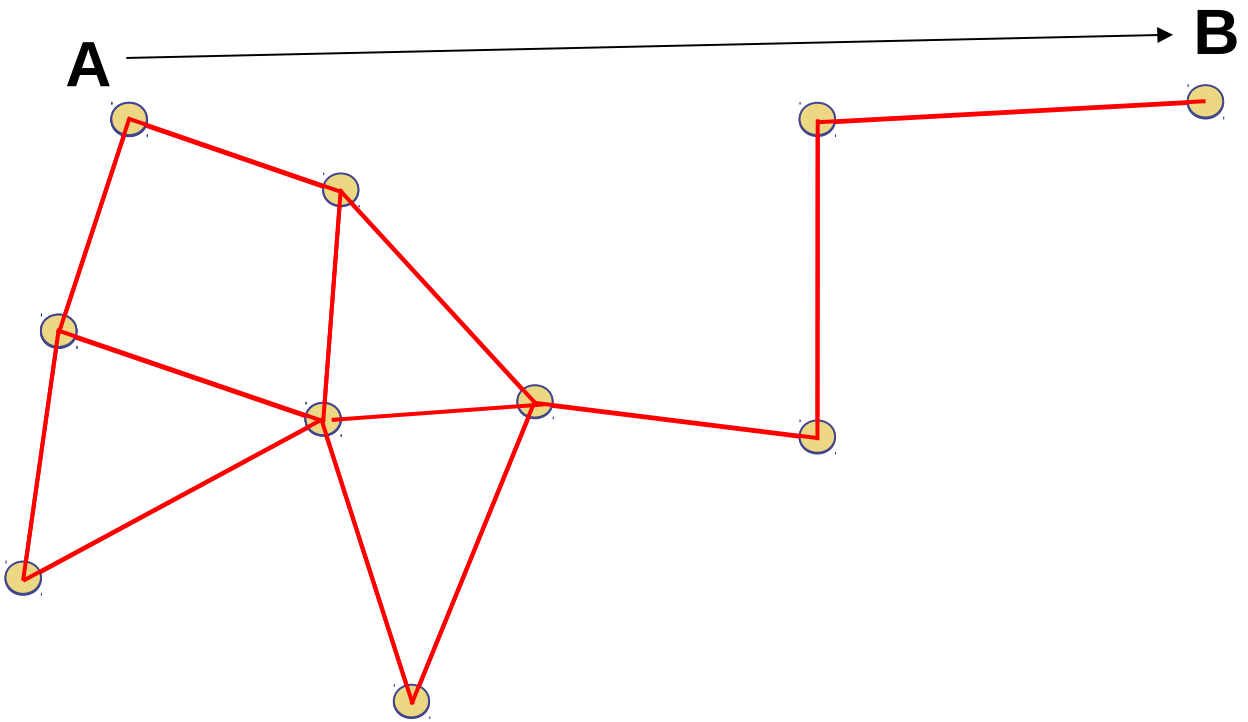
Ad hoc sieť



IP:

- Priradí označenie uzlom (A, B, ..., E) alebo IP adresu

Ad hoc sieť



Transportný protokol (TCP, UDP)

- Riadenie spojenia štart-cieľ, ACK paketov na spojení

Životný cyklus dátového paketa

- Dáta sú generované na aplikačnej vrstve (aplikáciou)
- Transportný protokol otvorí spojenie, dáta sú vložené do UDP/TCP paketu s hlavičkami
- Paket je ďalej vložený do IP paketu s hlavičkou
- Cesty do cieľového uzla sú najdené pomocou smerovacieho protokolu
- Paket je vložený do MAC paketa s hlavičkou
- Paket je prenesený fyzickou vrtstvou

OSI referenčný model

L7: Aplikačná vrstva (Web, email client, ...)

L6: Prezentačná (reprezentácia dát)

L5: Relačná (spojenie štart/ukončenie)

L4: Transportná (TCP, UDP)

L3: Sieťová (smerovanie) (IP; AODV, DSR, TORA, LAR)

L2: Linková (MAC) (802.11, CSMA, MACA, Aloha)

L1: Fyzická (Hardvér, modulácia)

Internet protocol (IP)

IP poskytuje jednoznačné označenie pre každý uzol: IP adresu

IP umožňuje „paketizáciu“, t.j. zabalenie dát do IP paketa s hlavičkou

IP negarantuje kvalitu služieb – spolieha na transportnú vrstvu napr. Na TCP

IPv4 používa 32-bit IP adresy

IPv6 používa 128-bit IP adresy

Internet protocol (IP)

Príklad 128-bitovej adresy:

AAAA:0:F000:0:0:800:800:1A00

Simulačné nástroje ako napr. ns3 podporujú IPv6.

128-bitové adresy sú potrebné pre:

- Internet vecí
- IP telefóniu
- Senzory, roboty, húfy robotov...každá logická jednotka potrebuje IP adresu

IP6: hlavička

Základné vlastnosti:

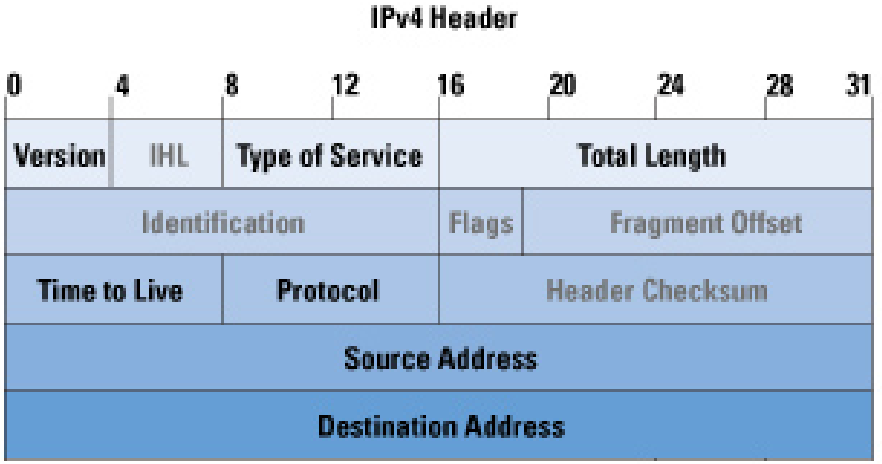
- Žiadne kontrolné sumy (spoliehanie na MAC protokol)
- Flexibilná architektúra hlavičky, podpora pre rozširujúce hlavičky
  - extension headers (optional): fragment header, destination options, hop-by-hop header, routing header, authentication header (MD5 hash, ...)
- Označenie toku: každé spojenie uzlov, ktoré je logicky rozdielne od iného spojenia potrebuje vlastné označenie toku
- Hop limit: maximálny počet preposlaní pre daný paket
- 128-bit zdrojová a cieľová adresa
- Verzia, dĺžka

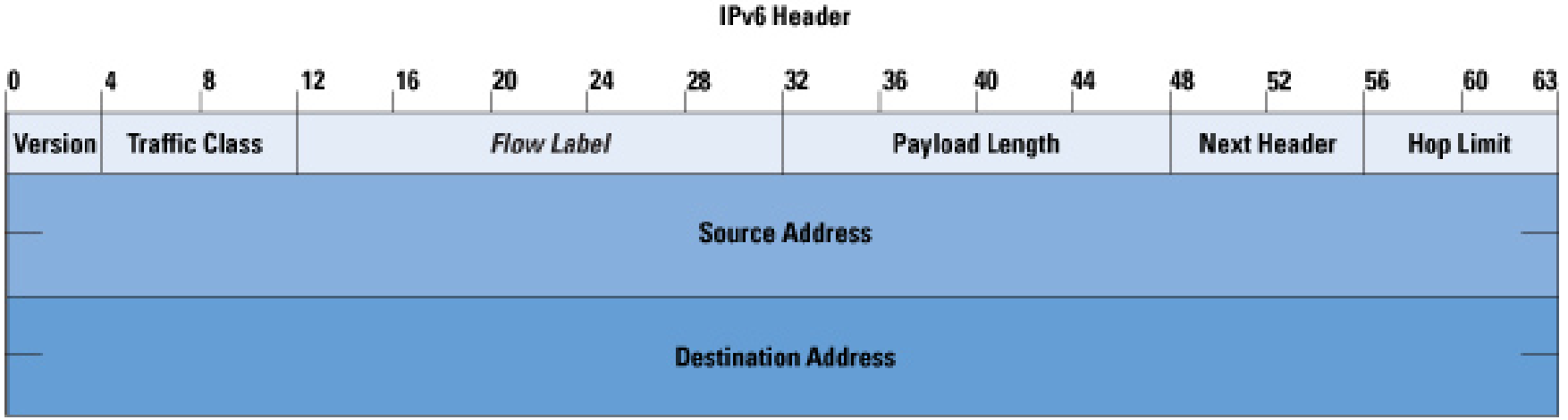
IP4: hlavička

Základné vlastnosti:

- version, header length, total length, fragment id, time-to-live (TTL), protocol used in data part, source address, destination address, header checksum, and other.
- Protokol v dátovej časti
- Offset k dátovej časti

IPv4 vs IPv6





IHL = Internet Header Length = dĺžka hlavičky, dĺžka hlavičky je variabilná

Figure source: shivasoft.in

OSI referenčný model

L7: Aplikačná vrstva (Web, email client, ...)

L6: Prezentačná (reprezentácia dát)

L5: Relačná (spojenie štart/ukončenie)

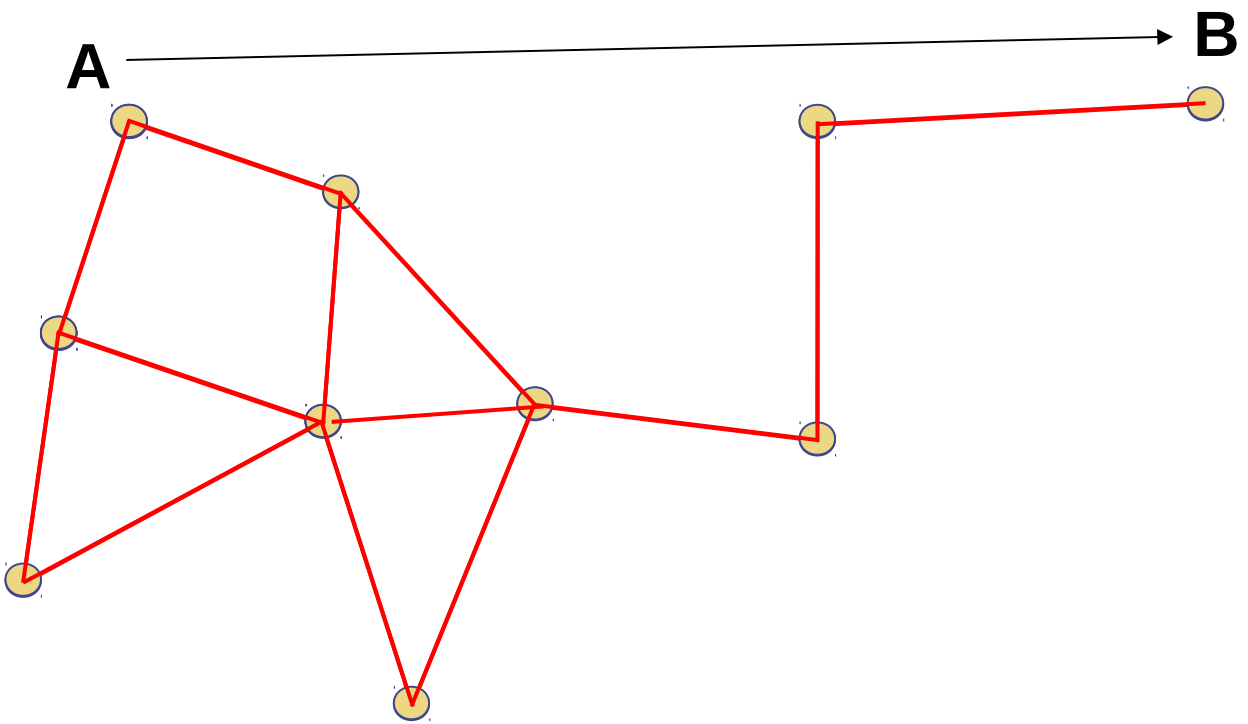
L4: Transportná (TCP, UDP)

L3: Sieťová (smerovanie) (IP; AODV, DSR, TORA, LAR)

L2: Linková (MAC) (802.11, CSMA, MACA, Aloha)

L1: Fyzická (Hardvér, modulácia)

Transportné protokoly



Transportný protokol umožňuje komunikáciu medzi vzdialenými procesmi na rôznych uzloch.

TCP: Transmission control protokol

TCP je spoľahlivý, využívajúci spojenie, full-duplex (obojsmerný) protokol s riadením toku a zahltenia.

TCP je schopný doručiť pakety v správnom poradí, v prípade, že pakety sú doručené pomocou rôznych ciest alebo v prípade zahltenia.

TCP rozdeľuje pakety do menších častí, tzv. segmentov.

UDP: User datagram protocol

UDP je nespoľahlivý protokol bez riadenia toku a nedokáže doručiť pakety v správnom poradí.

UDP je „best effort“ protokol, spolieha na iné protokoly, že dokážu ovplyvniť doručenie paketov.

TCP vs UDP

Porovnanie s poštou:

UDP:

- Pohľadnica so známkou je poslaná a dôverujeme poštovej službe (Slovenskej pošte), že pohľadnicu doručí.
- Neexistuje logické spojenie zdrojového a cieľového uzla.

TCP:

- List je poslaný doporučene s návratkou. Ak návratka nie je doručená do istého času, list je znova poslaný.
- Existuje logické spojenie zdrojového a cieľového uzla.

TCP segment (paket)

Základné vlastnosti:

- Port zdrojového uzla
- Port cieľového uzla
- Sekvenčné číslo
- ACK sekvenčné číslo
- Dĺžka hlavičky
- Flags: SEQ, ACK, FIN, …
- Kontrolná suma
- Dáta

TCP: otvorenie spojenia

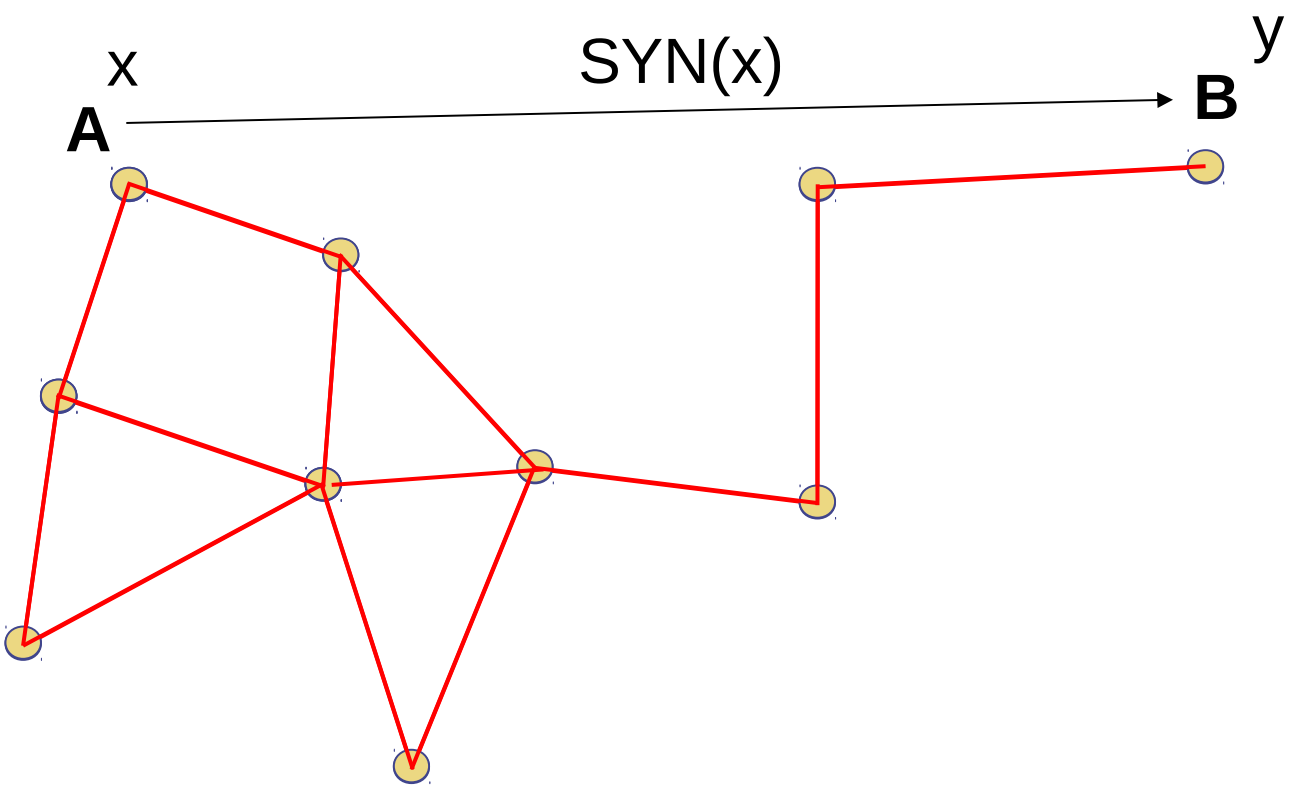
Server otvorí port pre príjem dát:

- Client pošle SYN, teda pošle tzv. “active open call”.
- Server odpovie pomocou SYN-ACK.
- Client odpovie pomocou ACK

SYN obsahuje náhodné sekvenčné číslo

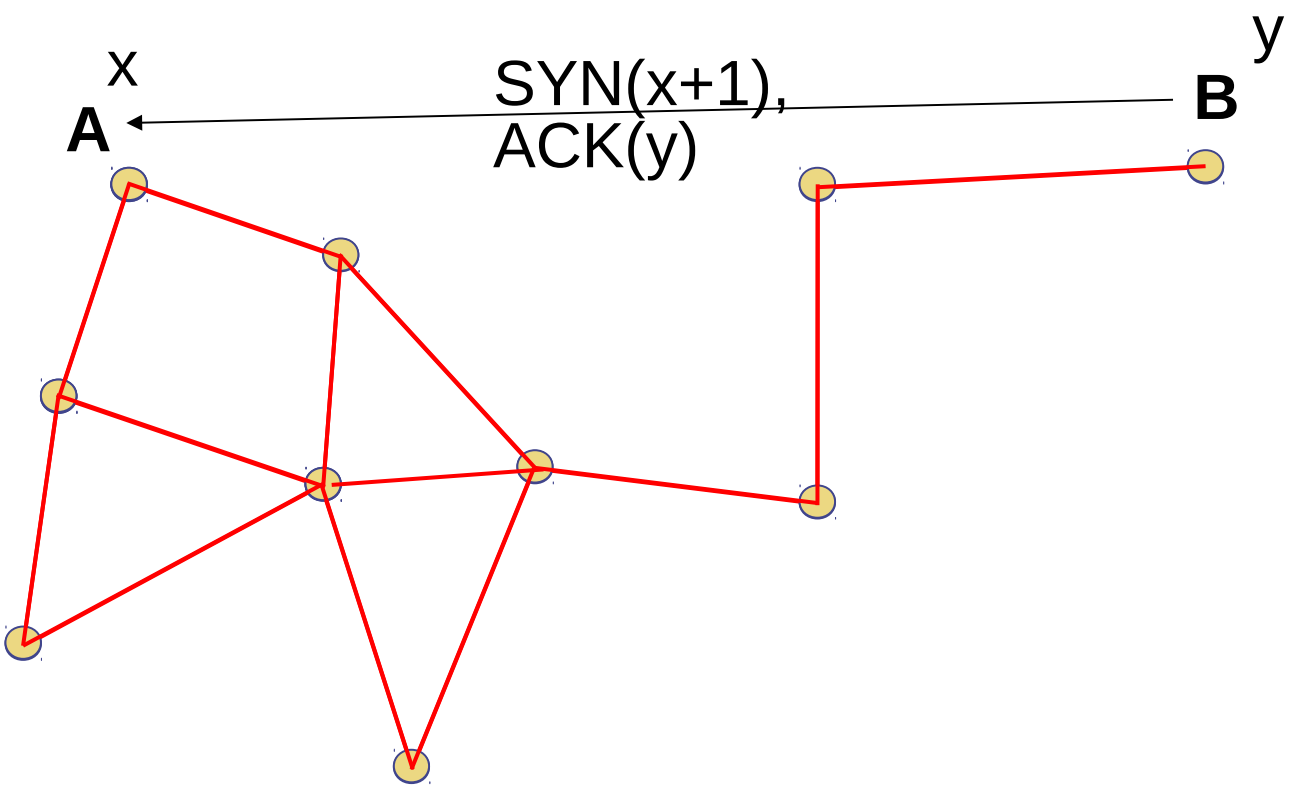
ACK obsahuje náhodné sekvenčné číslo

TCP: príklad



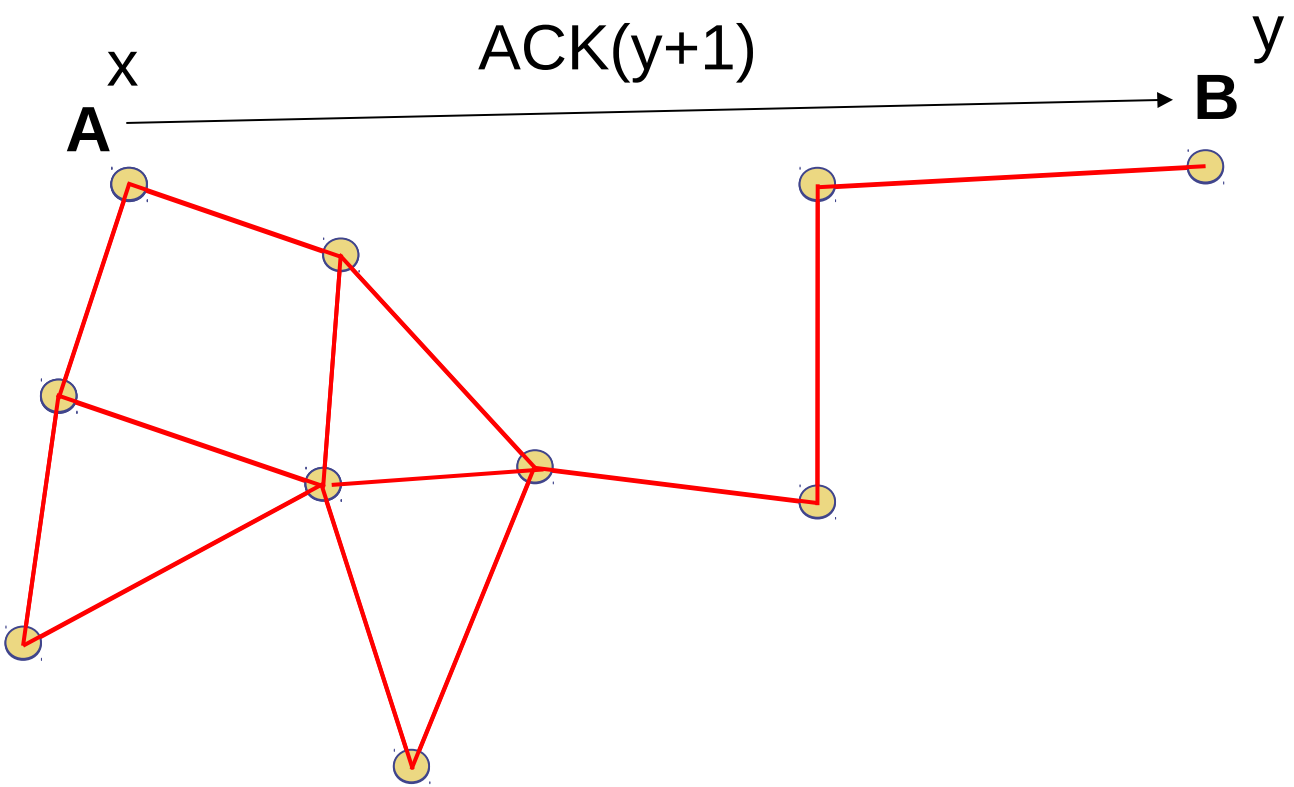
Klient pošle SYN so sekvenčným číslom x

TCP: príklad



Server pošle SYN-ACK.
SYN obsahuje sekvenčné číslo x+1.
ACK obsahuje sekvenčné číslo y.

TCP: príklad



Klient pošle ACK so sekvenčným číslom y+1

TCP: RTT

Dátový paket je opätovne poslaný, ak ACK nie je prijaté do určitého času, do time-out odvodeného od RTT

RTT = round trip time

ACK = v tomto prípade povrdenie prijatia dátového paketa/segmentu.

Výpočet RTT:

- Zmeraj RTT pre každý pár: segment a ACK
- EstimatedRTT = a*EstimatedRTT + b*SampleRTT
  kde a+b = 1, a = 0.8-0.9, b=0.1-0.2
- timeout = 2*EstimatedRTT

TCP: ukončenie spojenia

Ukončenie:

- Uzol (proces), ktorý už nepotrebuje posielanie dát, pošle segment (paket) s nastaveným FIN príznakom
- Druhý uzol (proces) potvrdí prijatie tohto FIN segmentu (spojenie je „half-open“)
- Druhý uzol (proces) pošle segment (paket) s nastaveným FIN príznakom
- Prvý uzol (proces) potvrdí prijatie tohto FIN segmentu

TCP: sliding window flow control

RFC 793, Jacobson (SIGCOMM'88).

- Každý paket (segment) musí byť potvrdený cieľovým uzlom (procesom)
- „Sliding window“ je max. počet segmentov, ktoré môžu byť poslané bez potvrdenia (bez ACK)
- Viacero segmentov môže byť potvrdených jediným ACK
- Ak ACK nie je prijaté do time-outu, segment je znova poslaný
- Počet pokusov poslať segment po time-oute nie je predpísaný špecifikáciou
- Po každom prijatom ACK je „sliding window“ posunuté o jednu pozíciu

Veľkosť „sliding window“ sa dynamicky mení, podľa zahltenia siete.

TCP: tok a riadenie zahltenia

Riadenie toku: riadenie rýchlosti posielania dát

Riadenie zahltenia: preťaženie uzlov z dôvodu neprimeranej rýchlosti posielania dát

TCP prepokladá, že straty paketov sú z dôvodu zahltenia. V ad hoc sieťach sú straty pravdepodobné aj z iných dôvodov:

- Bezdrôtové médium má nízku kapacitu
- Počasie, pohyb...

Okno zahltenia (TCP), okno exponenciálneho čakania (MAC)

Terminológia:

- Transportný protokol: TCP – okno zahltenia
- MAC protokol: 802.11 – okno exponenciálneho čakania

Rozdielne vrstvy, úplné iná funkcia

TCP: slow start/congestion avoidance

cwnd = veľkosť „sliding window“, congestion window
ssthresh = slow start threshold

cwnd = 1

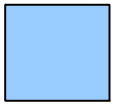
Ak je segment správne prijatý:

- cwnd = 2*cwnd, až po ssthresh (hranica pre pomalý štart)
- cwnd = cwnd + 1

Ak nie je segment správne prijatý:

- ssthresh = cwnd/2, t.j. nastal time-out pre ACK alebo boli prijaté duplikát ne ACK
- cwnd = 1, nastane nový pomalý štart

TCP: slow start/congestion avoidance



1 segment je poslaný

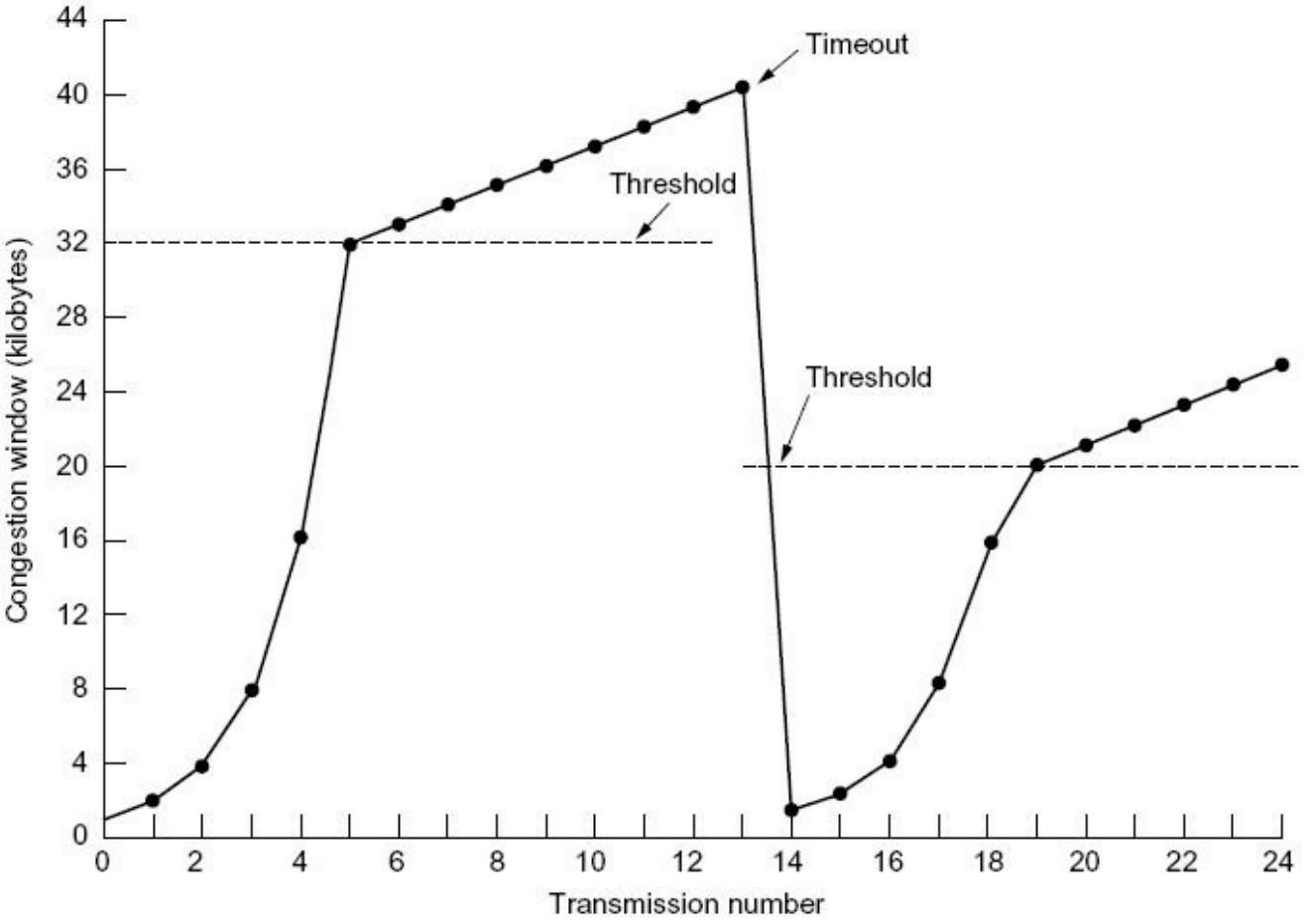
1 segment je potvrdený, veľkosť cwnd je inkrementovaná

1 segment je potvrdený, 1 nie je zatiaľ potvrdený

2 segmenty sú potvrdené

Exponenciálny pomalý štart je implementovaný na báze potvrdenia každého segmentu

TCP: slow start/congestion avoidance



TCP: fast retransmit

Duplicate ACK: ak je prijatý segment mimo správnu sekvenciu

Ak sú prijaté 3 alebo viaceré ACK, potom je segment opätovne poslaný

Fast retransmit = nečaká sa na time-out

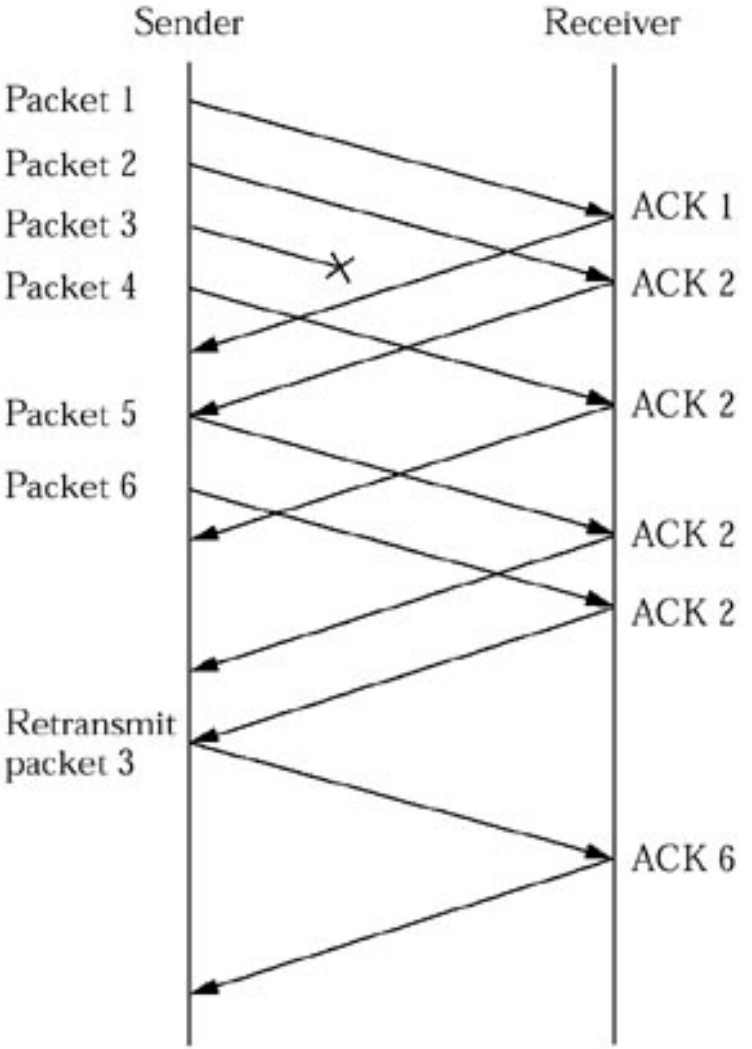


Figure source: http://www.soi.wide.ad.jp/class/99007/slides/23/19.html

TCP: fast recovery

Fast recovery nastane po fast retransmit

- Po 3. duplikátnom ACK, ssthresh = max{cwnd/2, 2}
- Nepotvrdený segment je opätovne poslaný
- cwnd = ssthresh + 3*seg_size (3 fragmenty boli poslané po nepotvrdenom fragmente)
- cwnd = cwnd +1

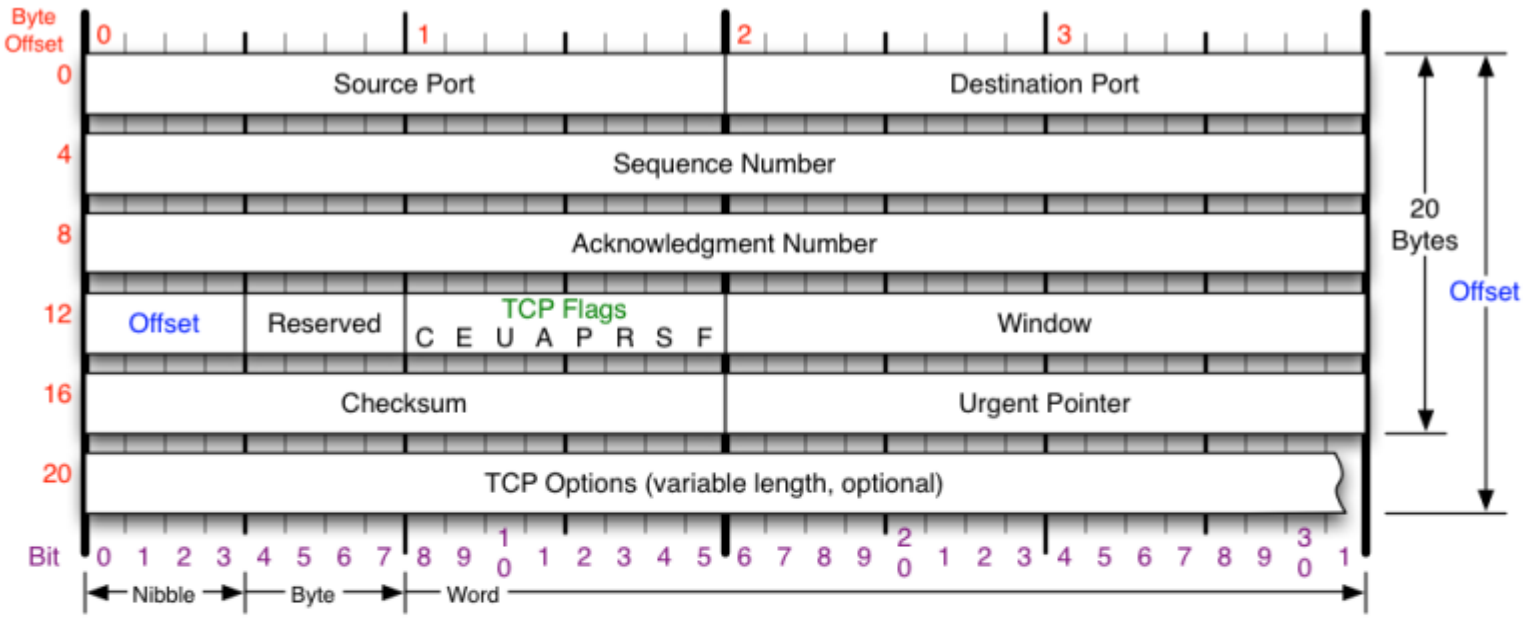
TCP: verzie

TCP Tahoe: Slow start, Congestion avoidance, Fast retransmit

TCP Reno: Tahoe + Fast recovery

TCP SACK (selective ACK): segmenty sú explicitne potvrdené

TCP: hlavička



TCP Flags

C E U A P R S F

Congestion Window
C 0x80 Reduced (CWR)
E 0x40 ECN Echo (ECE)
U 0x20 Urgent
A 0x10 Ack
P 0x08 Push
R 0x04 Reset
S 0x02 Syn
F 0x01 Fin

Congestion Notification

ECN (Explicit Congestion Notification). See RFC 3168 for full details, valid states below.

Packet State	DSB	ECN bits
Syn	0 0	1 1
Syn-Ack	0 0	0 1
Ack	0 1	0 0
No Congestion	0 1	0 0
No Congestion	1 0	0 0
Congestion	1 1	0 0
Receiver Response	1 1	0 1
Sender Response	1 1	1 1

TCP Options

0 End of Options List
1 No Operation (NOP, Pad)
2 Maximum segment size
3 Window Scale
4 Selective ACK ok
8 Timestamp

Checksum

Checksum of entire TCP segment and pseudo header (parts of IP header)

Offset

Number of 32-bit words in TCP header, minimum value of 5. Multiply by 4 to get byte count.

RFC 793

Please refer to RFC 793 for the complete Transmission Control Protocol (TCP) Specification.

Figure source: http://nmap.org/book/tcpip-ref.html

UDP: hlavička

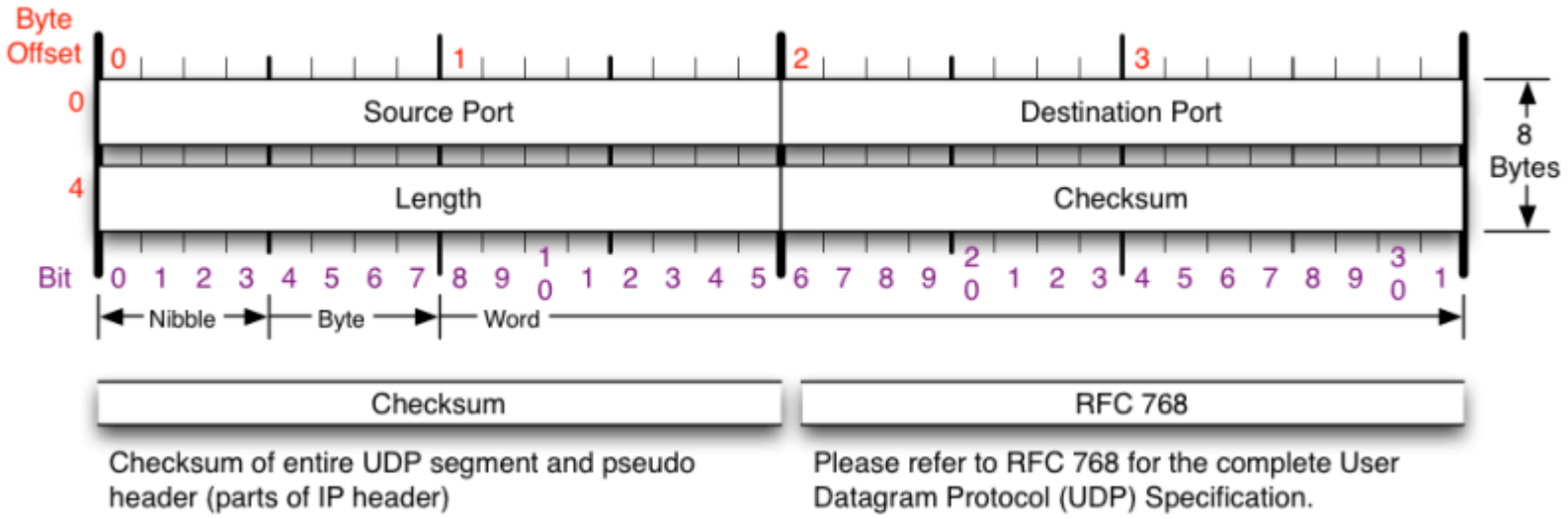


Figure source: http://nmap.org/book/tcpip-ref.html

TCP a ad hoc siete

TCP:

- Pôvodne určené pre drôtové siete
- Každá strata segmentu je interpretovaná ako zahltenie

Bezdrôtové siete:

- Potrebné rozlišovať zahltenie a zníženie prenosovej schopnosti bezdrôtového média

Monitorovanie paketovej fronty

Každý uzol má paketovú frontu, t.j. buffer pre prijaté pakety

Veľkosť paketovej fronty je obmedzená a môže sa teda naplniť

Možnosti uvoľnenia paketovej fronty:

- tail drop; zmazanie posledných *n* prijatých paketov
- random drop; náhodné zmazanie prijatých paketov
- Random early detection (RED)

Tail drop / random drop môžu spôsobiť resynchronizáciu TCP, t.j. veľkosť okna zahltenia môže byť zmenená pre mnoho uzlov

Random early detection (RED)

```
for each packet arrival
    calculate the average queue size avg
    if   min_th ≤ avg < max_th
        calculate probability p_a
        with probability p_a:
            mark the arriving packet
    else if max_th ≤ avg
        mark the arriving packet
```

Fig. 1. General algorithm for RED gateways.

Figure source: Floyd, S.; Jacobson, V.; , "Random early detection gateways for congestion avoidance," Networking, IEEE/ACM Transactions on , vol.1, no.4, pp.397-413, Aug 1993, doi: 10.1109/90.251892

Random early detection (RED)

- Ak je veľkosť fronty menej ako min, žiadne pakety nie sú zmazané
- Ak je veľkosť fronty viacej ako max, všetky nové prijaté pakety sú zmazané
- Ak je min ≤ veľkosť<max, nový prijatý paket je zmazaný s pravdepodobnosťou pa

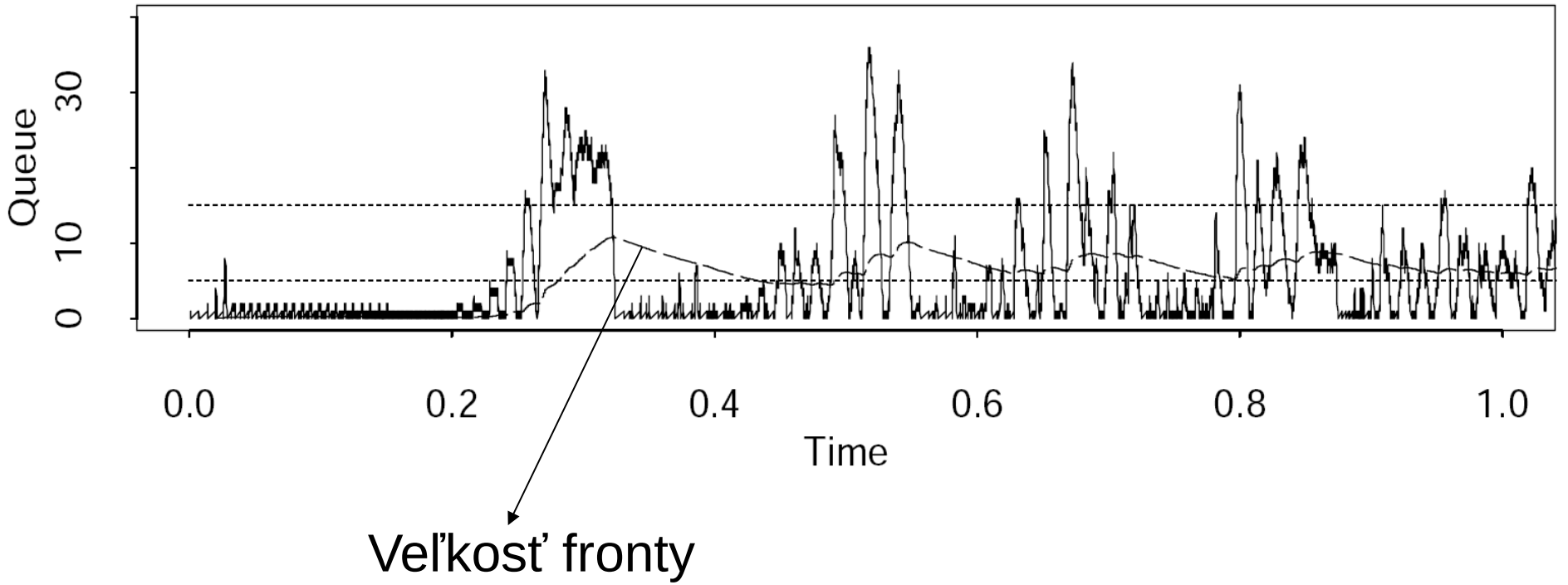
pb = maxp (avg – min)/(max – min); pb = <0, maxp>

pa = pb / (1 – count.pb); count = count je počet paketov od posledného zmazaného paketa

Vlastnosti:

- Garantuje max. veľkosť fronty
- Menej re-synchronizácie

Random early detection (RED)



Source: S. Floyd, V.Jacobson. „Random early detection gateways for congestion avoidance“, IEEE/ACM Transaction on Networking, 1993.

Literatúra

Sami Iren and Paul D. Amer and Phillip T. Conrad, The transport layer: tutorial and survey, ACM Computing Surveys, vol. 31, no. 4, pp. 360-404, 1999.