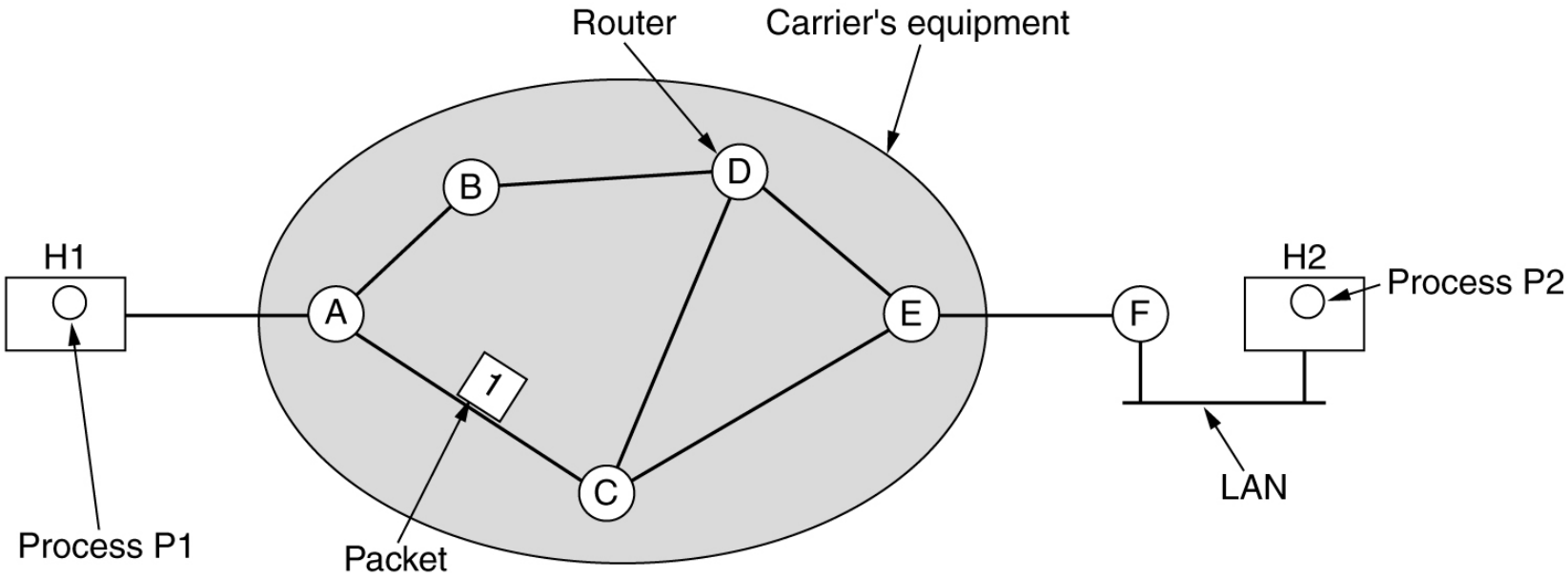
Úvod do počítačových sítí

Síťová úroveň

Problémy návrhu síťové úrovně

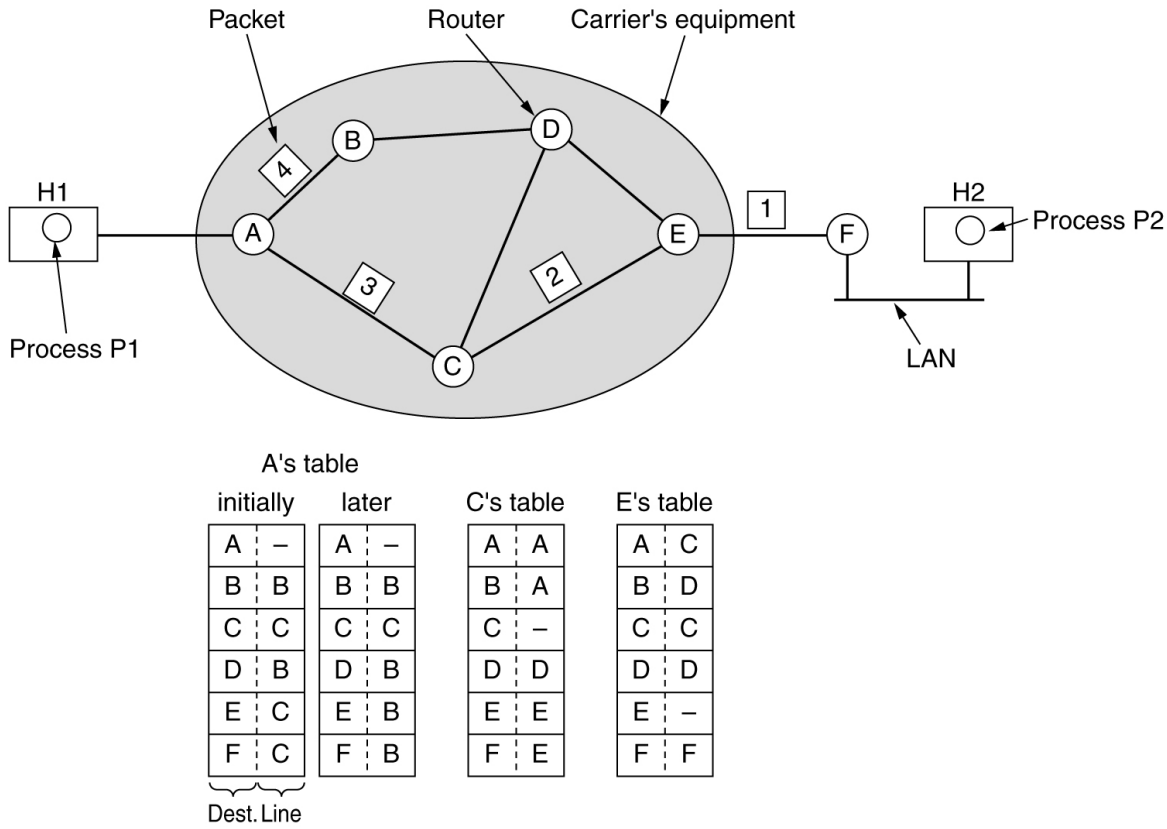
- Přepínání paketů metodou store and forward (ulož a pošli)
- Služby podporované na transportní úrovni
- Realizace nespojovaných služeb
- Realizace spojově orientovaných služeb
- Porovnání virtuálních okruhů a datagramových sítí

Přepínání paketů metodou store and forward



Prostředí protokolů síťové úrovně.

Realizace nespojovaných služeb



A's table

	initially	later
A	–	–
B	B	B
C	C	C
D	B	B
E	C	B
F	C	B

Dest. Line

C's table

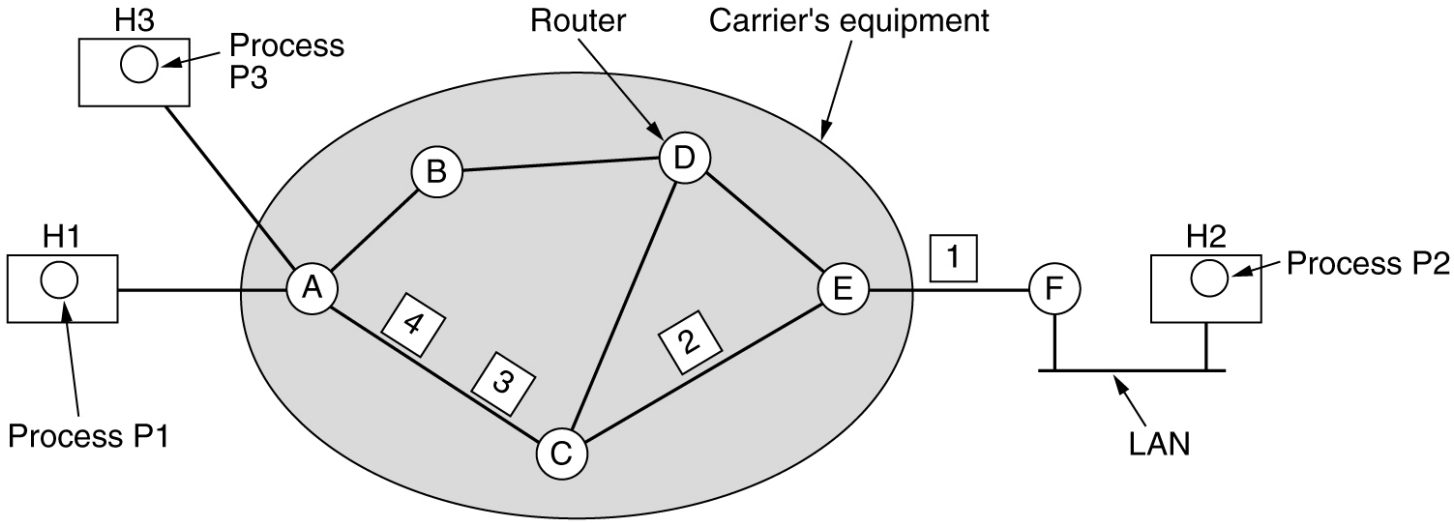
A	A
B	A
C	–
D	D
E	E
F	E

E's table

A	C
B	D
C	C
D	D
E	–
F	F

Směrování mezi datagramovými subsítěmi.

Realizace spojově orientovaných služeb



A's table

H1	1	C	1
H3	1	C	2
In		Out	

C's table

A	1	E	1
A	2	E	2

E's table

C	1	F	1
C	2	F	2

Směrování v sítích s virtuálními okruhy.

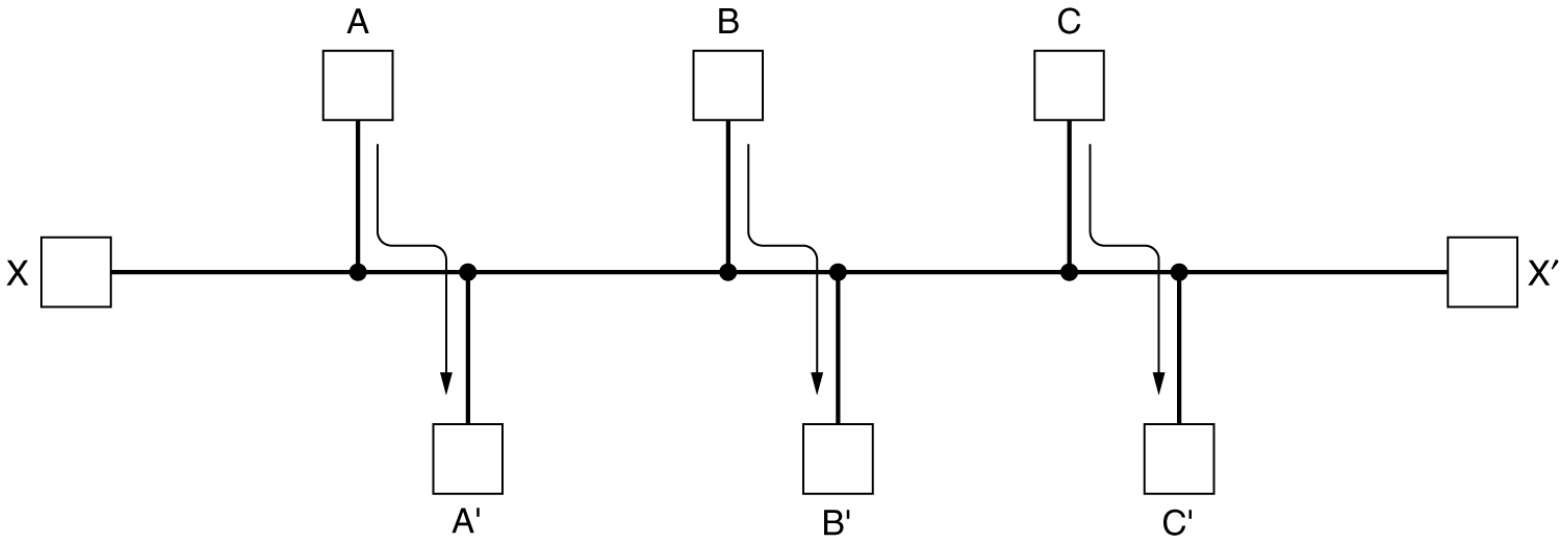
Porovnání virtuálních okruhů a datagramových subsítí

Issue	Datagram subnet	Virtual-circuit subnet
Circuit setup	Not needed	Required
Addressing	Each packet contains the full source and destination address	Each packet contains a short VC number
State information	Routers do not hold state information about connections	Each VC requires router table space per connection
Routing	Each packet is routed independently	Route chosen when VC is set up; all packets follow it
Effect of router failures	None, except for packets lost during the crash	All VCs that passed through the failed router are terminated
Quality of service	Difficult	Easy if enough resources can be allocated in advance for each VC
Congestion control	Difficult	Easy if enough resources can be allocated in advance for each VC

Algoritmy směrování

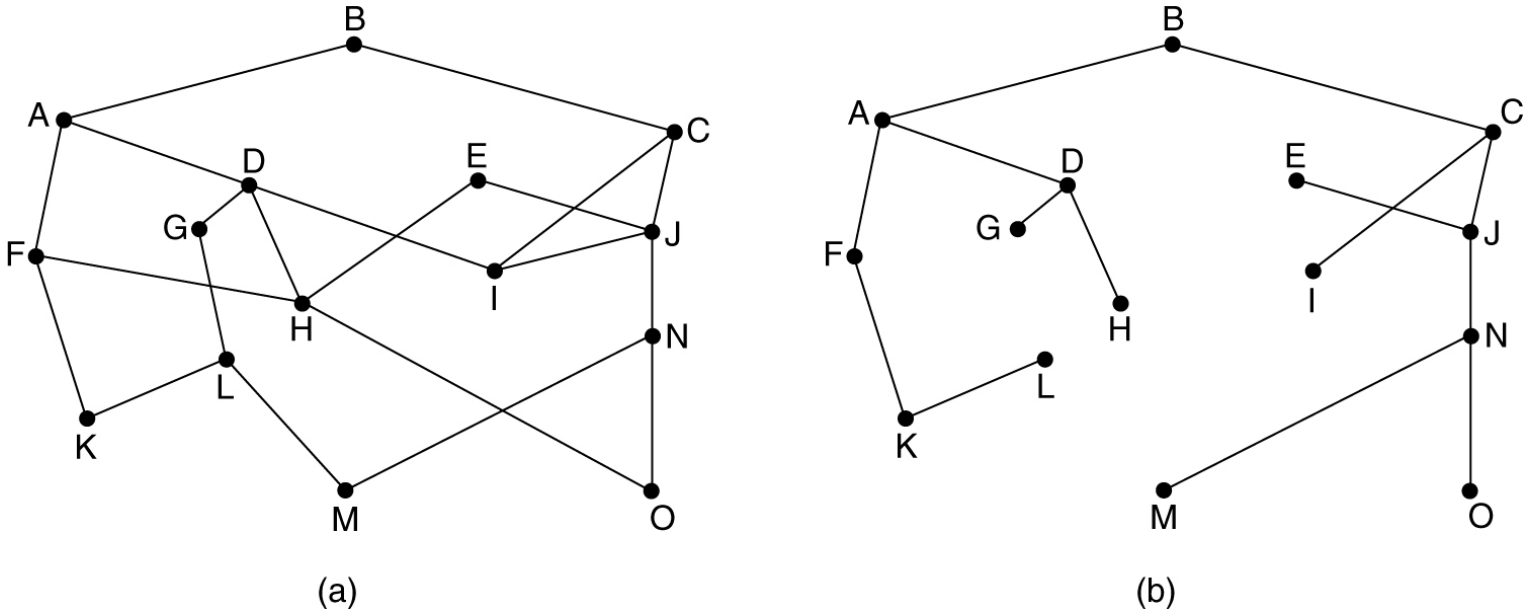
- Principy optimálnosti
- Směrování nalezením nejkratší cesty
- Záplavové směrování
- Směrování podle vektoru vzdáleností
- Směrování podle stavu linek
- Hierarchické směrování
- Směrování pomocí broadcastu (všeobecné vysílání)
- Skupinové směrování
- Směrování pro mobilní sítě
- Směrování v ad hoc sítích (účelové sítě)

Algoritmy směrování (2)



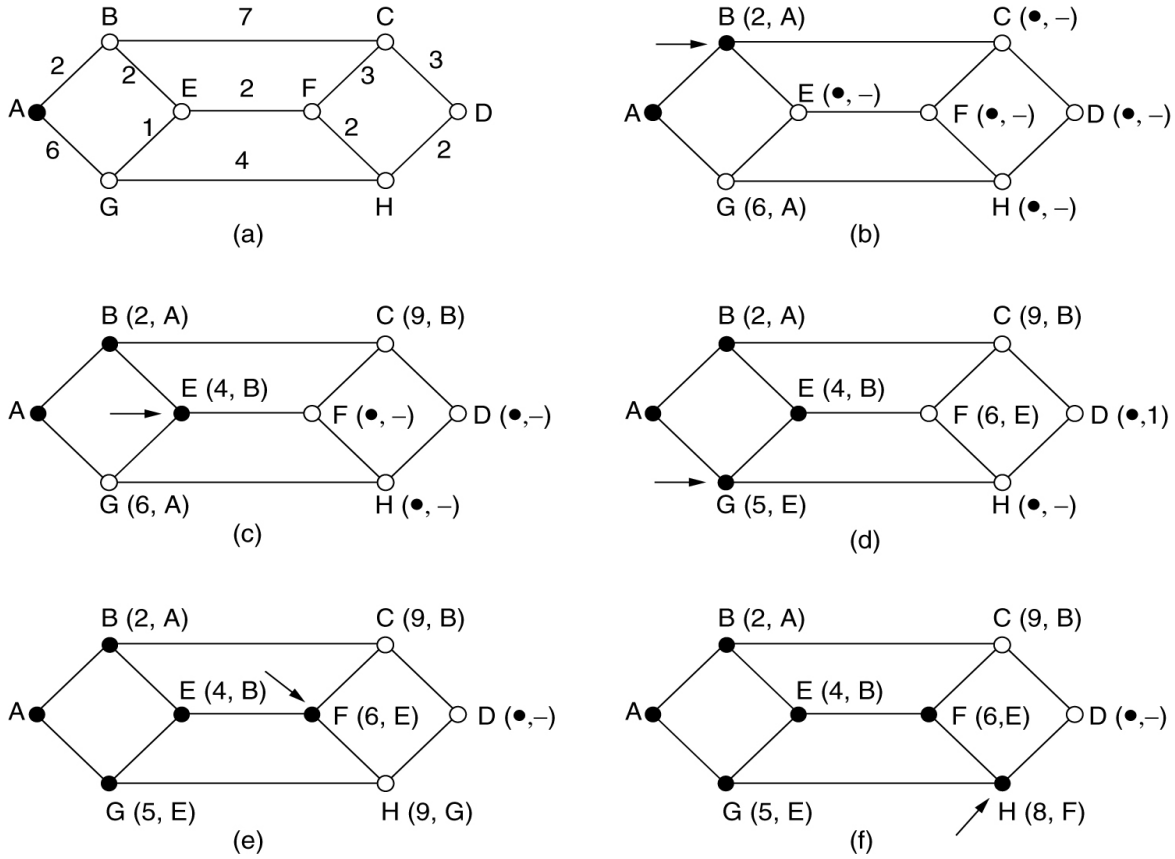
Konflikt mezi spravedlností a optimálností.

Princip optimálnosti



(a) Podsíť. (b) minimální strom pro uzel B.

Směrování podle nejkratší cesty



Prvních 5 kroků použitých při výpočtu nejkratší cesty z A do D (Dijkstrův algoritmus). Šipkou je označen pracovní uzel.

Záplavové směrování

```
#define MAX_NODES 1024                  /* maximum number of nodes */
#define INFINITY 1000000000             /* a number larger than every maximum path */
int n, dist[MAX_NODES][MAX_NODES];/* dist[i][j] is the distance from i to j */

void shortest_path(int s, int t, int path[])
{ struct state {                        /* the path being worked on */
      int predecessor;                  /* previous node */
      int length;                       /* length from source to this node */
      enum {permanent, tentative} label; /* label state */
  } state[MAX_NODES];

  int i, k, min;
  struct state *p;

  for (p = &state[0]; p < &state[n]; p++) {  /* initialize state */
      p->predecessor = –1;
      p->length = INFINITY;
      p->label = tentative;
  }
  state[t].length = 0;  state[t].label = permanent;
  k = t;                                /* k is the initial working node */
```

Dijkstrův algoritmus pro výpočet nejkratší cesty v grafu.

Záplavové směrování (2)

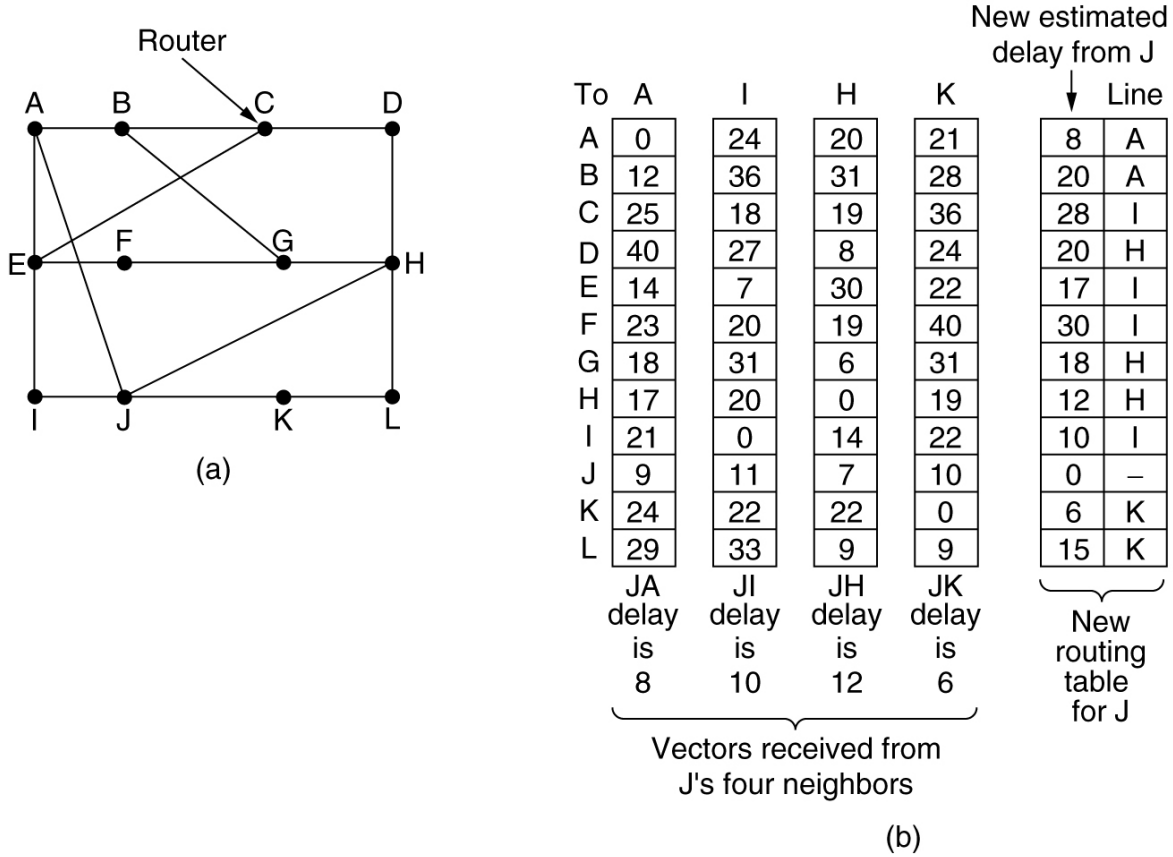
```
do {                                        /* Is there a better path from k? */
    for (i = 0; i < n; i++)                 /* this graph has n nodes */
        if (dist[k][i] != 0 && state[i].label == tentative) {
            if (state[k].length + dist[k][i] < state[i].length) {
                state[i].predecessor = k;
                state[i].length = state[k].length + dist[k][i];
            }
        }

    /* Find the tentatively labeled node with the smallest label. */
    k = 0; min = INFINITY;
    for (i = 0; i < n; i++)
        if (state[i].label == tentative && state[i].length < min) {
            min = state[i].length;
            k = i;
        }
    state[k].label = permanent;
 } while (k != s);

 /* Copy the path into the output array. */
 i = 0;  k = s;
 do {path[i++] = k; k = state[k].predecessor; } while (k >= 0);
}
```

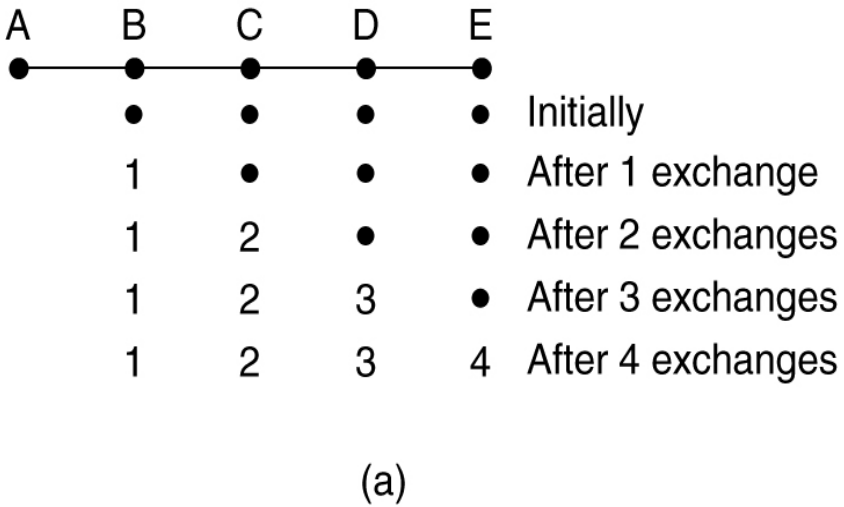
Dijkstrův algoritmus pro výpočet nejkratší cesty v grafu.

Směrování podle vektoru vzdáleností

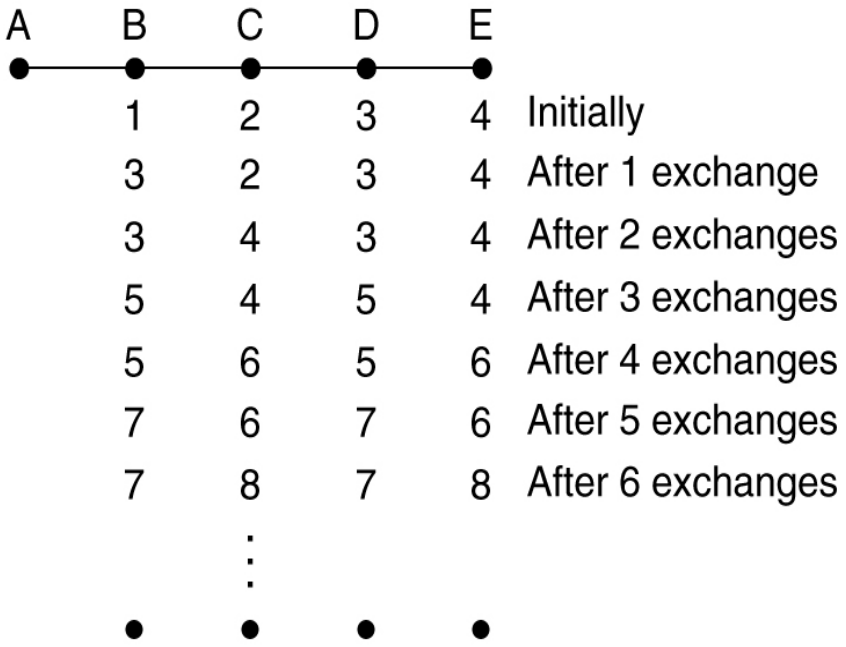


(a) Subsíť. (b) Vstup od A, I, H, K a nová směrovací tabulka.

Směrování podle vektoru vzdáleností (2)



(a)



(b)

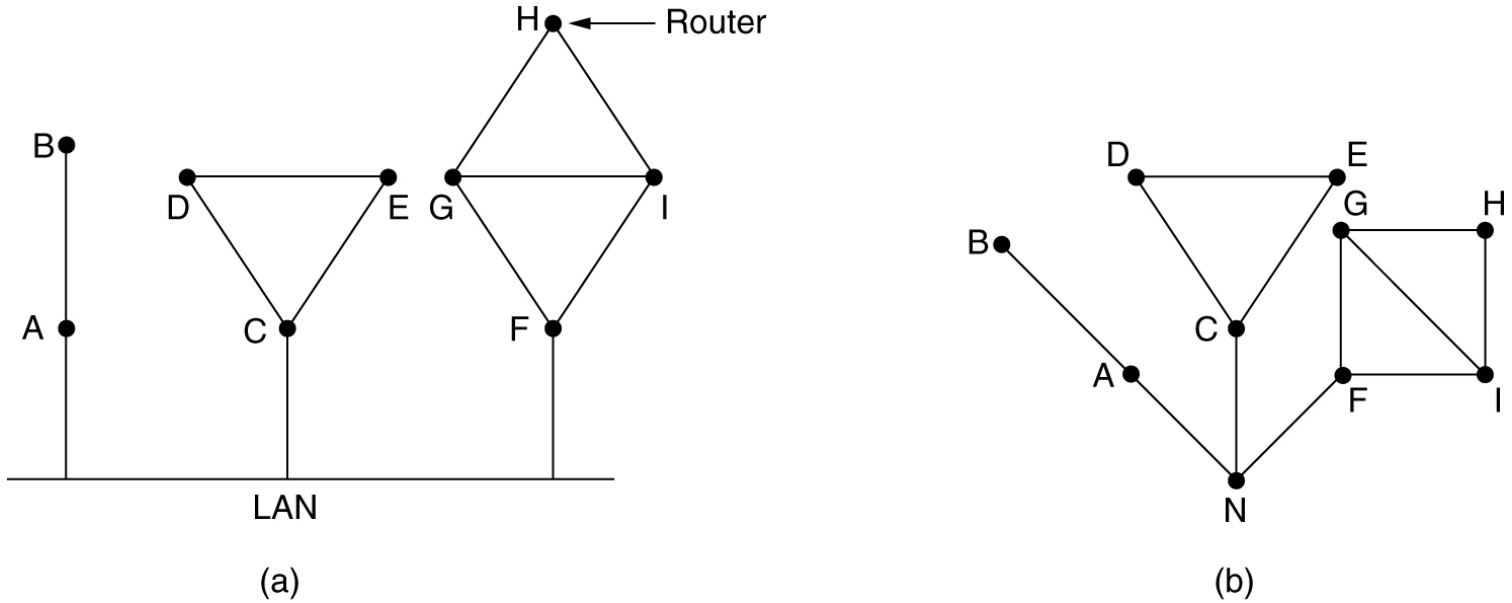
Problém počítání do nekonečna.

Směrování podle stavu linek (spojení)

Každý uzel musí dělat následující:

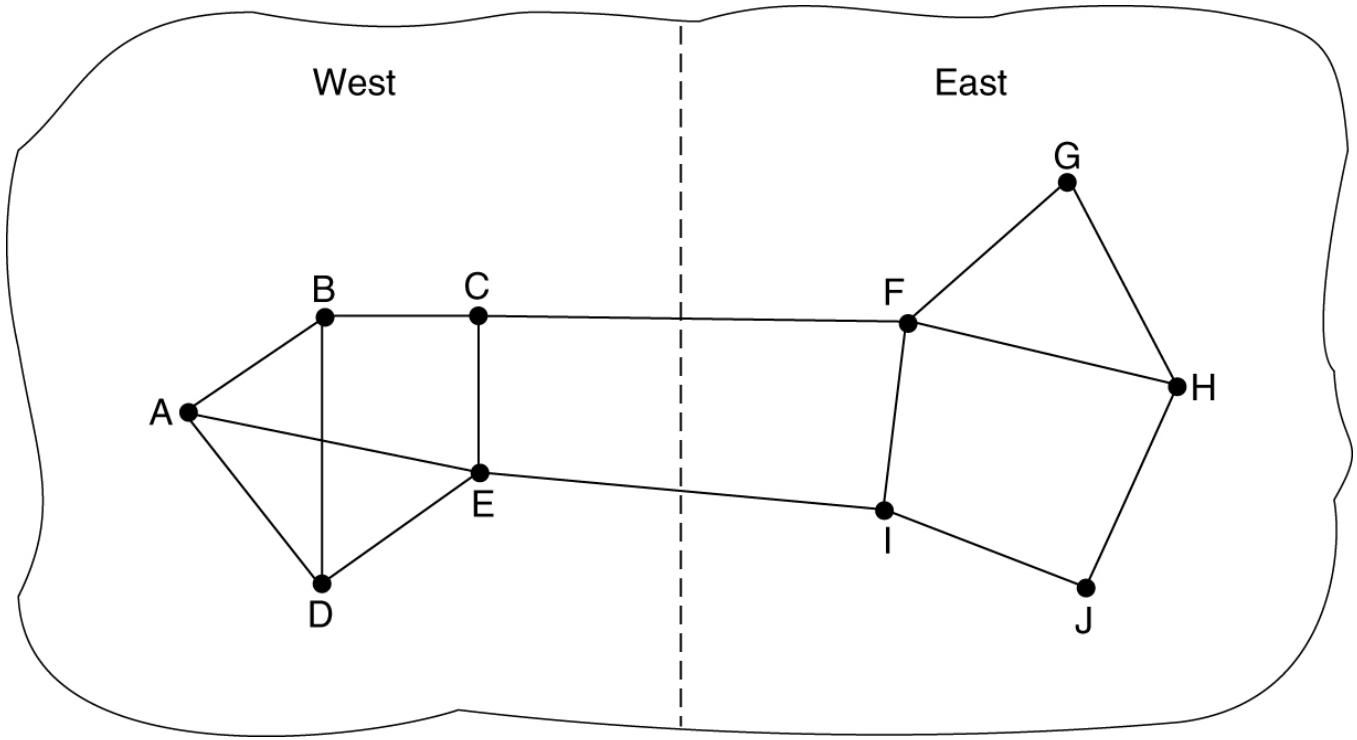
- Vyhledávat sousedy a znát jejich síťové adresy.
- Měřit zpoždění nebo cenu ke každému sousedovi.
- Vytvořit paket s informací, kterou se uzel naučil od sousedních směrovačů.
- Poslat paket ostatním směrovačům.
- Vypočítat nejkratší cestu k ostatním směrovačům.

Učení se o sousedech



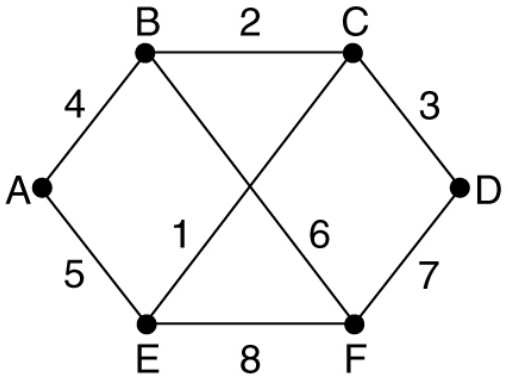
(a) Devět směrovačů a LAN. (b) model grafu ad (a).

Měření ceny linky



Podsíť, ve které jsou levá s provou částí propojeny dvěma linkami.

Vytváření paketů stavu linky



(a)

Link State Packets

A	B	C	D	E	F
Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.
Age	Age	Age	Age	Age	Age
B 4	A 4	B 2	C 3	A 5	B 6
E 5	C 2	D 3	F 7	C 1	D 7
	F 6	E 1		F 8	E 8

(b)

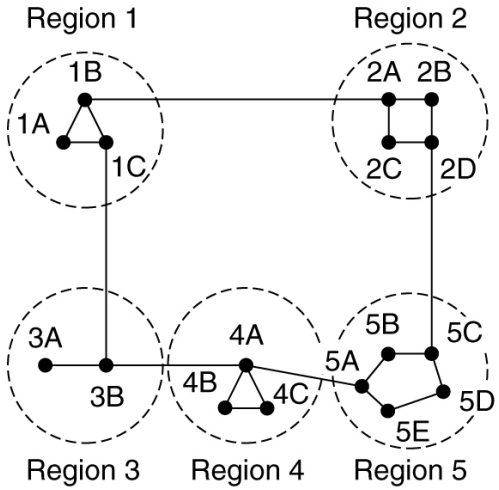
(a) podsíť (b) pakety stavu linek pro tuto podsíť

Distribuce paketů stavu linky

Source	Seq.	Age	Send flags A	Send flags C	Send flags F	ACK flags A	ACK flags C	ACK flags F	Data
A	21	60	0	1	1	1	0	0	
F	21	60	1	1	0	0	0	1	
E	21	59	0	1	0	1	0	1	
C	20	60	1	0	1	0	1	0	
D	21	59	1	0	0	0	1	1	

Soubor paketů pro směrovač B z předchozího příkladu.

Hierarchické směrování



(a)

Full table for 1A

Dest.	Line	Hops
1A	–	–
1B	1B	1
1C	1C	1
2A	1B	2
2B	1B	3
2C	1B	3
2D	1B	4
3A	1C	3
3B	1C	2
4A	1C	3
4B	1C	4
4C	1C	4
5A	1C	4
5B	1C	5
5C	1B	5
5D	1C	6
5E	1C	5

(b)

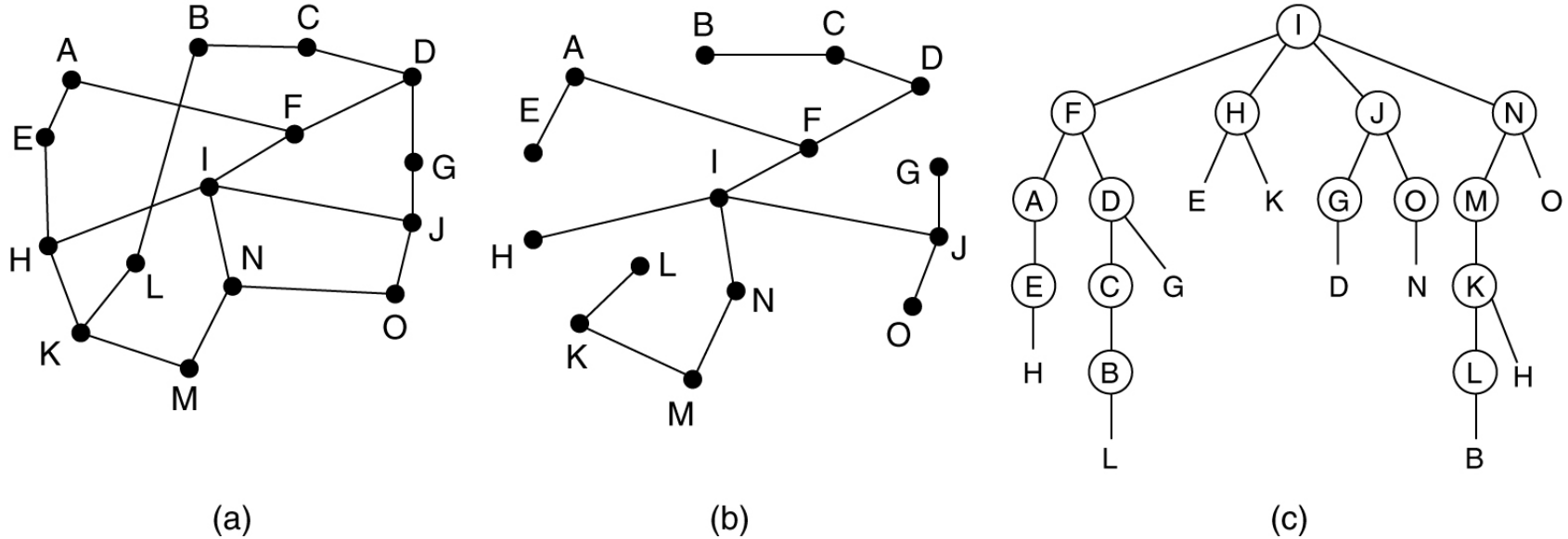
Hierarchical table for 1A

Dest.	Line	Hops
1A	–	–
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3
5	1C	4

(c)

Hierarchické směrování

Celoplošné (broadcast) směrování

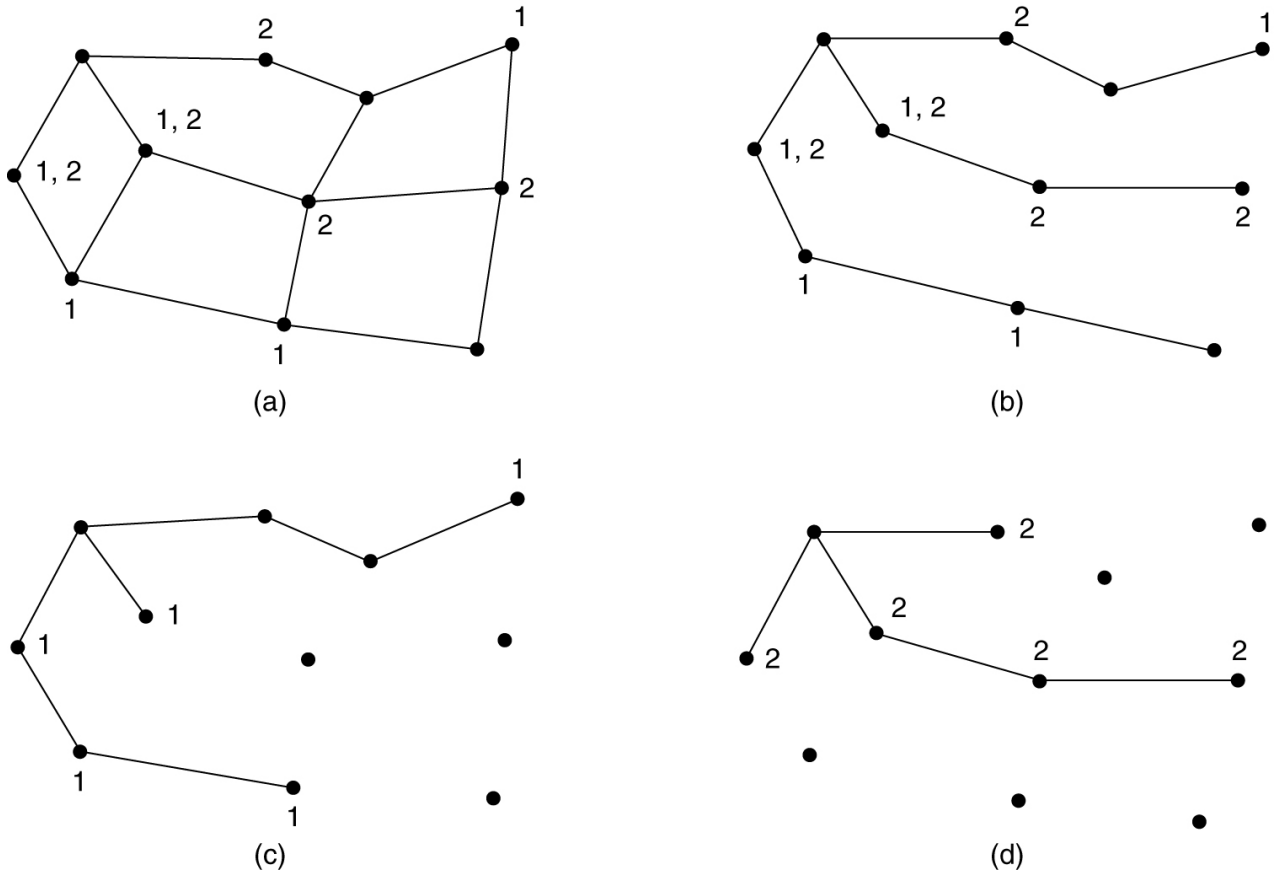


Zasílání (forwardování) paketů podle zpětné cesty.

(a) Podsíť. (b) Minimální strom.

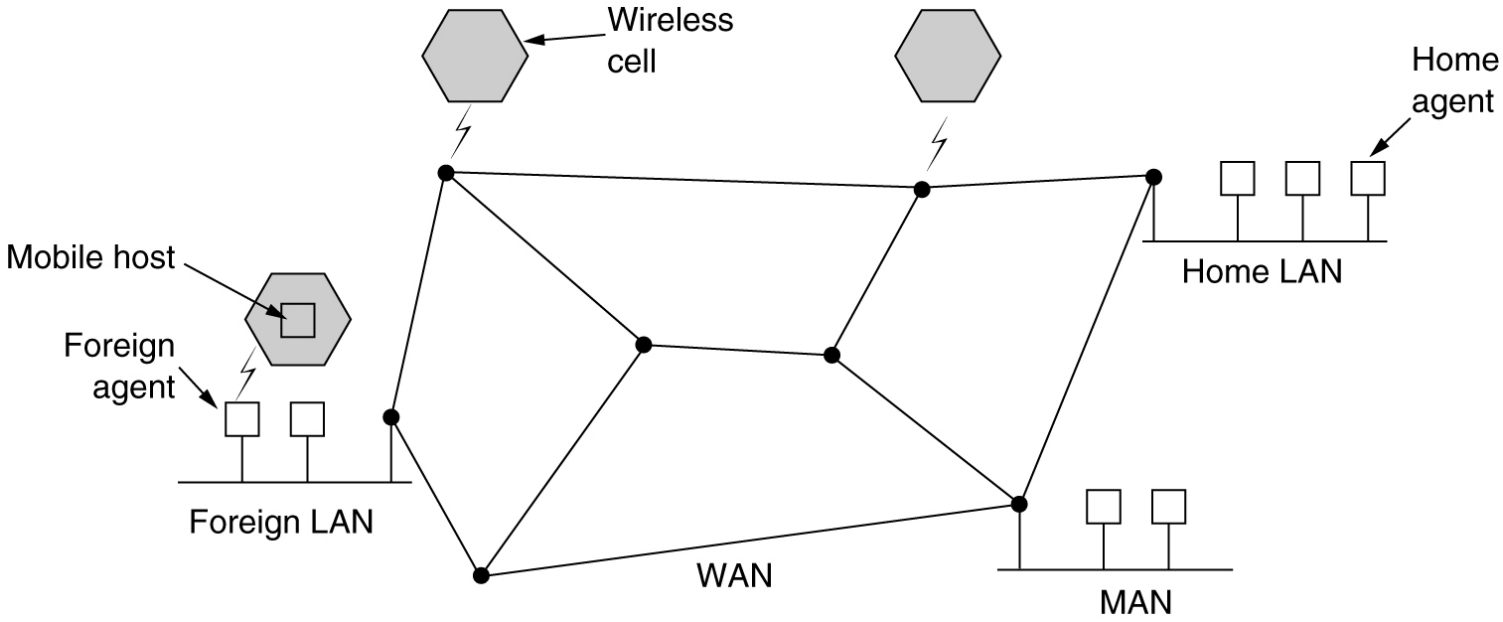
(c) Strom vytvořený zasíláním podle zpětné cesty.

Skupinové (multicast) směrování



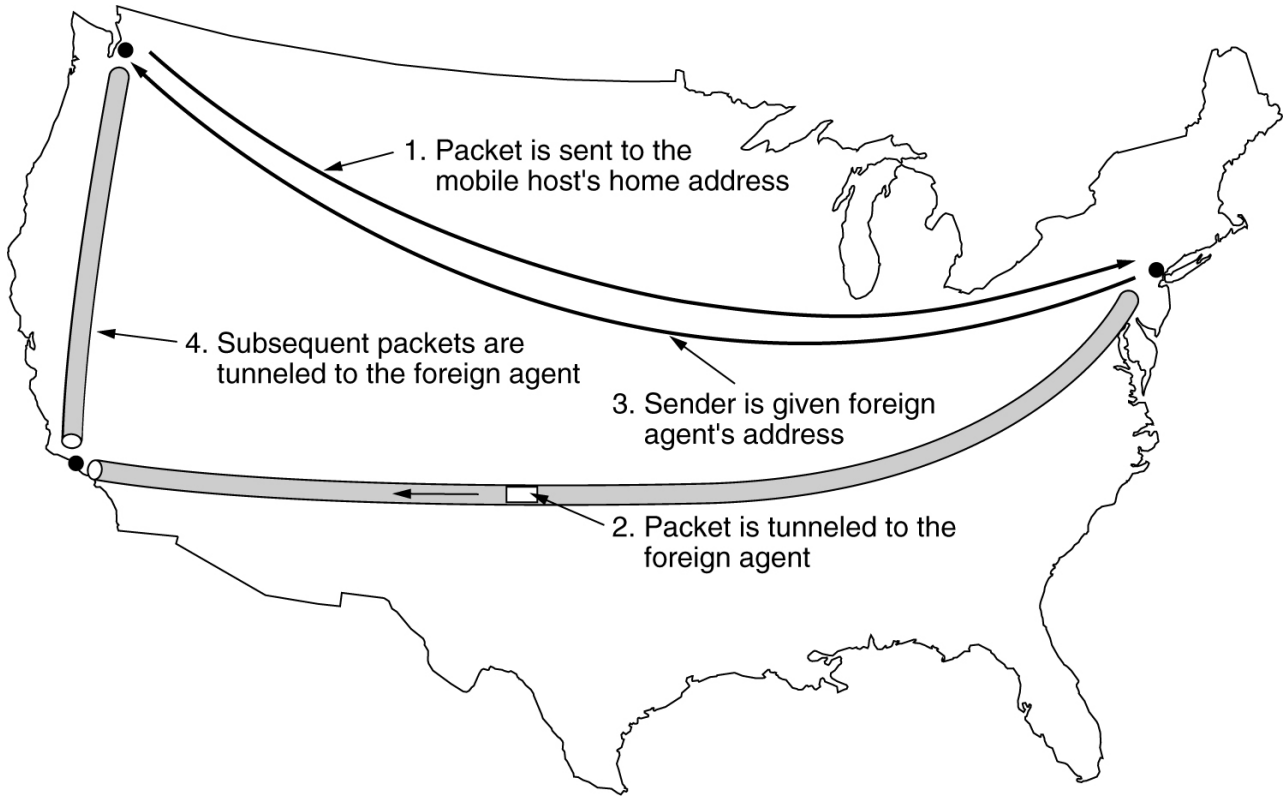
(a) Síť. (b) Minimální strom pro nejlevější směrovač.
(c) Doručovací strom pro skup. 1. (d) Doručovací strom pro skup. 2.

Směrování pro mobilní stanice



WAN do které jsou připojeny LAN, MAN a buňky bezdrátových sítí.

Směrování pro mobilní stanice (2)



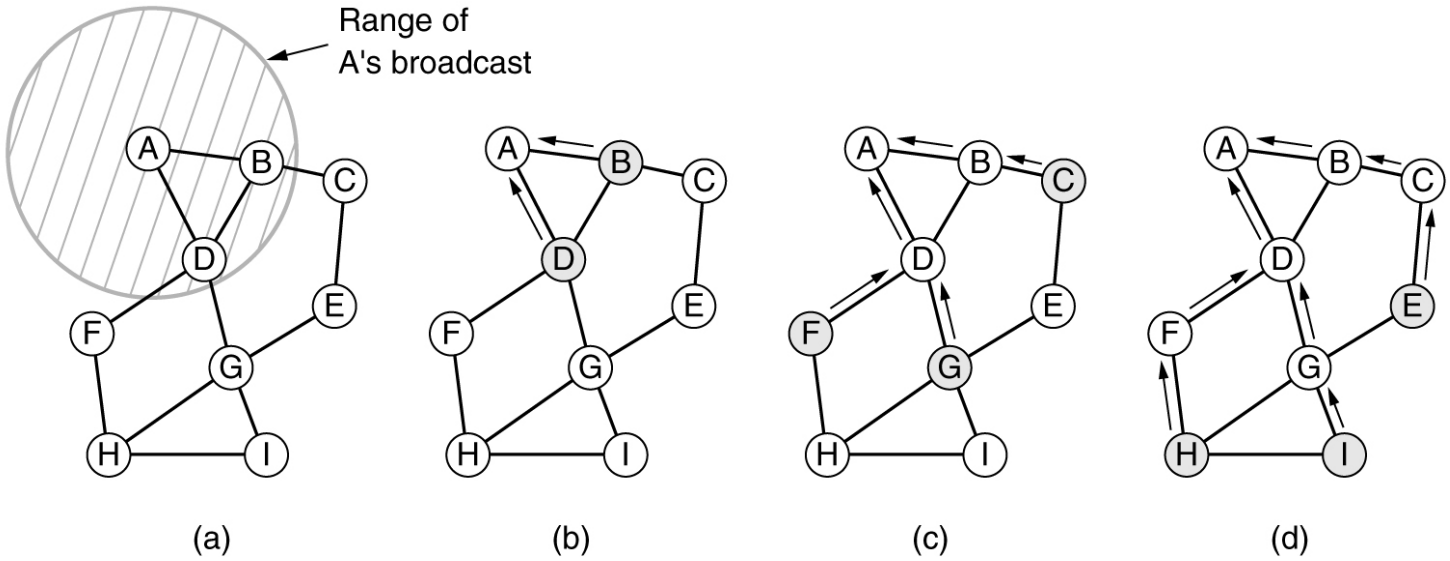
Směrování paketů pro mobilní uživatele.

Směrování v Ad Hoc (účelových) sítích

Případy mobilních směrovačů:

- Vojenská bojová vozidla.
  - Bez infrastruktury.
- Flotila lodí na moři.
  - Všechny se neustále pohybují
- Záchranné práce při zemětřesení .
  - Ve zničené infrastruktuře.
- Propojování lidí s notebooky .
  - V oblasti bez sítě 802.11.

Vyhledání cesty



(a) Oblast broadcastu A.

(b) poté co B a D přijme broadcast od A.

(c) Poté co C, F a G přijme broadcast od A.

(d) Poté co E, H a I přijme broadcast od A.

Šedé uzly jsou noví příjemci, Šipky ukazují možné zpětné cesty.

Vyhledání cesty (2)

Source address	Request ID	Destination address	Source sequence #	Dest. sequence #	Hop count

Formát paketu ROUTE REQUEST.

Vyhledání cesty (3)

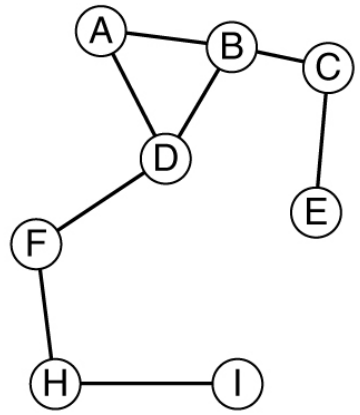
Source address	Destination address	Destination sequence #	Hop count	Lifetime

Formát paketu ROUTE REPLY.

Udržování cesty

Dest.	Next hop	Distance	Active neighbors	Other fields
A	A	1	F, G	
B	B	1	F, G	
C	B	2	F	
E	G	2		
F	F	1	A, B	
G	G	1	A, B	
H	F	2	A, B	
I	G	2	A, B	

(a)

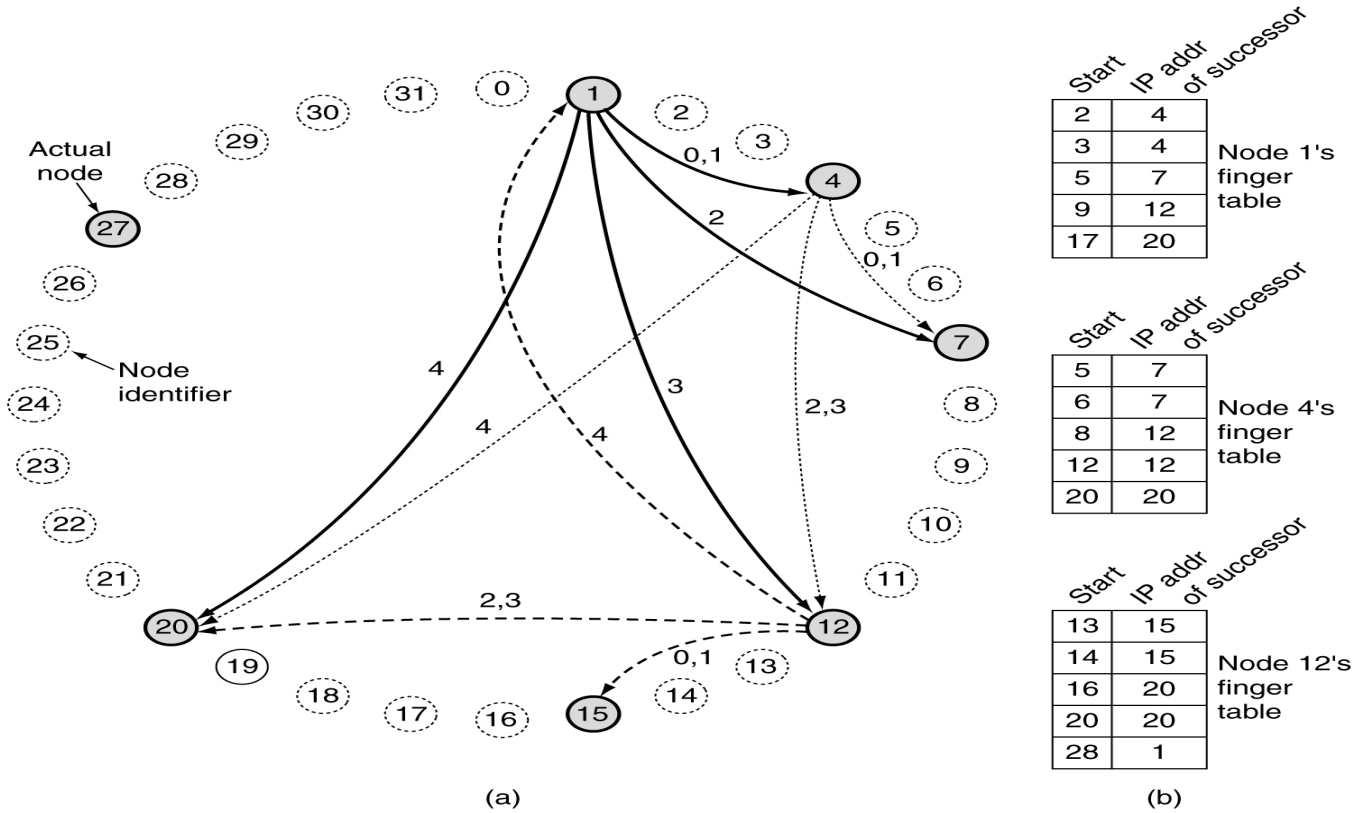


(b)

(a) Směrovací tabulka uzlu D předtím, než se odmlčel uzel G.

(b) Graf po odmlčení se uzlu G.

Vyhledání uzlů v Peer-to-Peer sítích



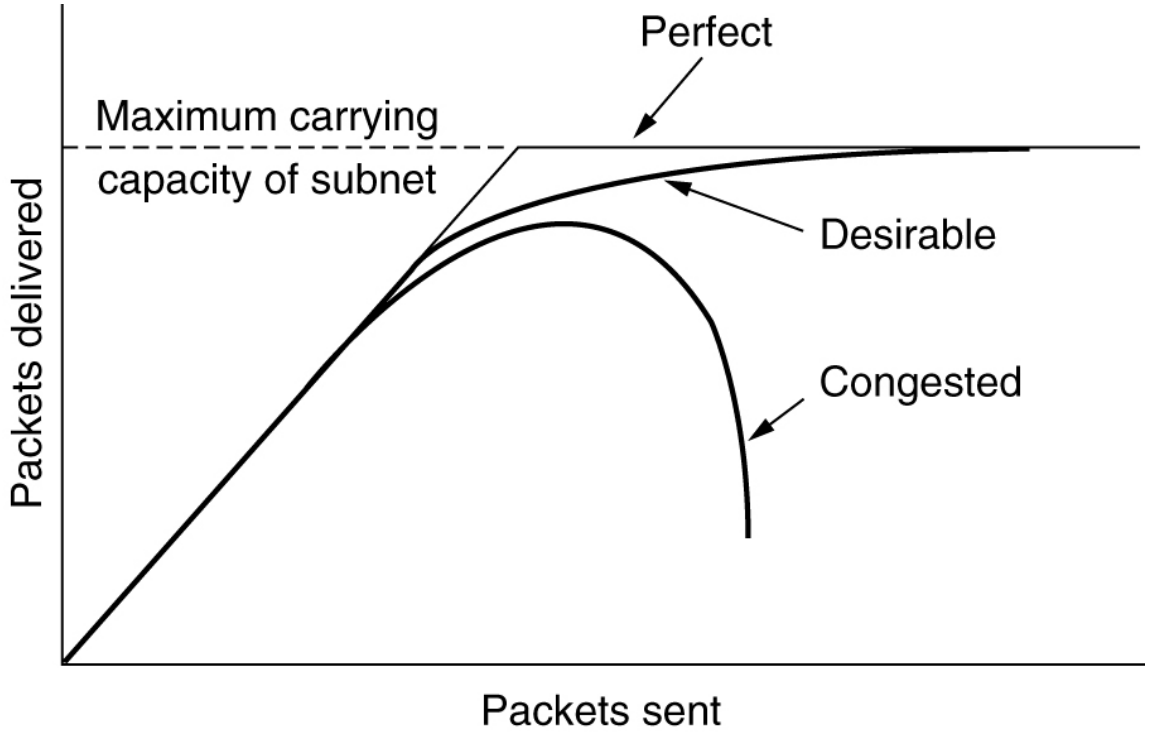
(a) Množina 32 identifikátorů uzlů uspořádaná do kruhu. Šedé odpovídají aktuálním počítačům. Oblouky ukazují propojení mezi uzly 1, 4, a 12. Návěští jsou indexy v tabulkách.

(b) Příklady propojovacích tabulek.

Algoritmus řízení zahlcení

- Obecné principy řízení zahlcení
- Zásady prevence zahlcení
- Řízení zahlcení v podsítích s virtuálními okruhy
- Řízení zahlcení v datagramových sítích
- Uvolnění zatížení
- Ovládání rozptylu zpoždění

Zahlcení



Při velkém zatížení dochází k zahlcení a propustnost prudce klesá.

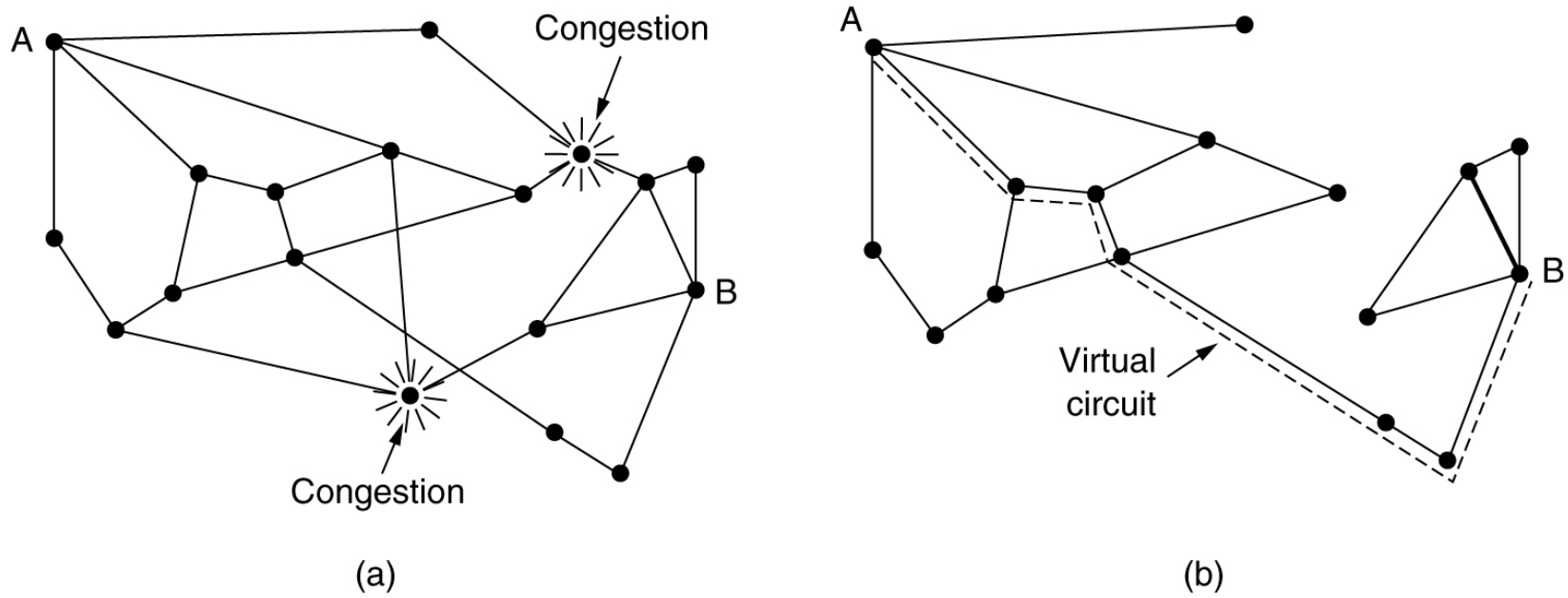
Obecné principy řízení zahlcení

- Monitorování systému .
  - Detekce kdy a kde se objevilo zahlcení.
- Poslání informace tam, kde může být provedena nějaké akce.
- Provedení operací, které zahlcení pomohou odstranit.

Zásady prevence zahlcení

Layer	Policies
Transport	• Retransmission policy • Out-of-order caching policy • Acknowledgement policy • Flow control policy • Timeout determination
Network	• Virtual circuits versus datagram inside the subnet • Packet queueing and service policy • Packet discard policy • Routing algorithm • Packet lifetime management
Data link	• Retransmission policy • Out-of-order caching policy • Acknowledgement policy • Flow control policy

Řízení zahlcení v subsítích s virtuálními okruhy

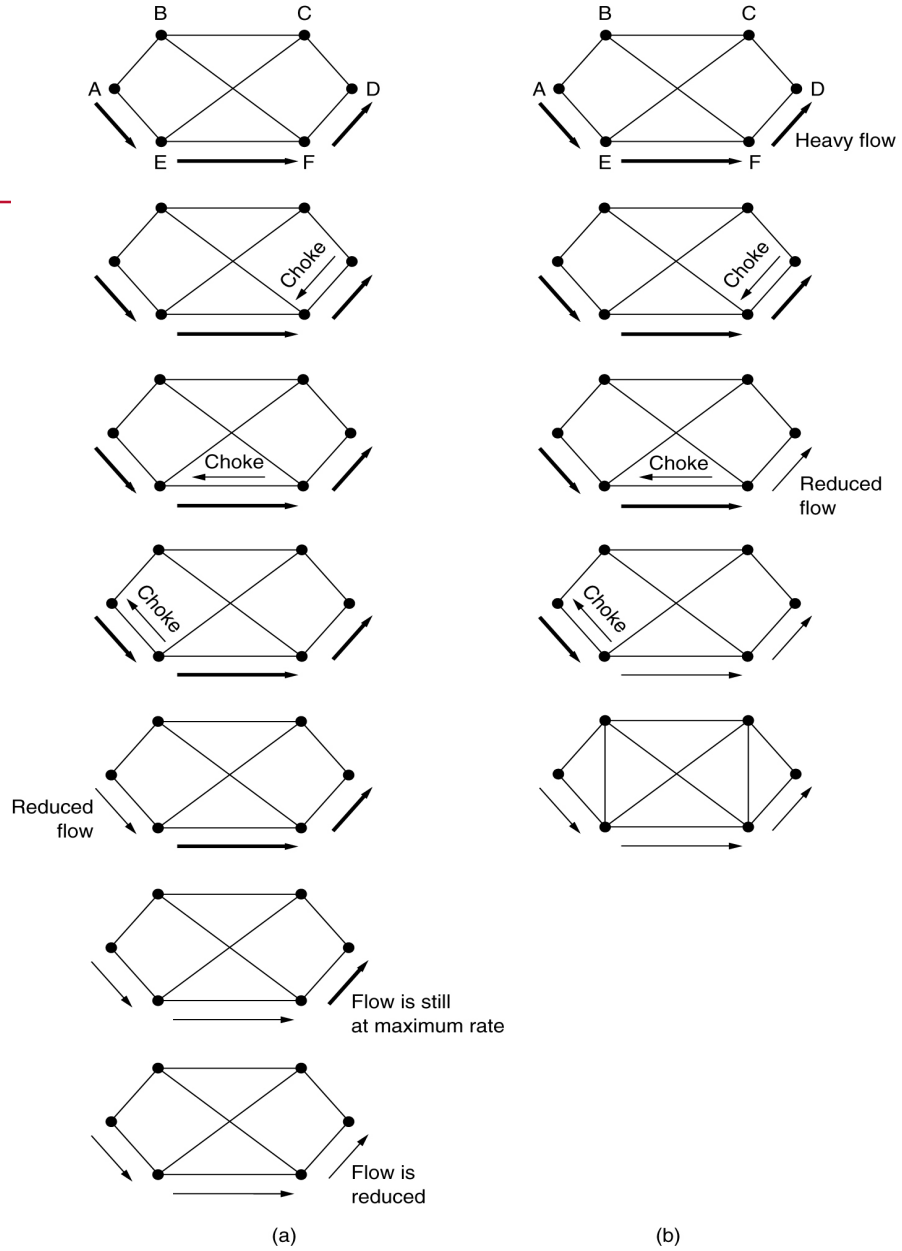


(a) Zahlcená subsíť. (b) Subsíť s odstraněnými místy zahlcení, virtuální spojení A a B.

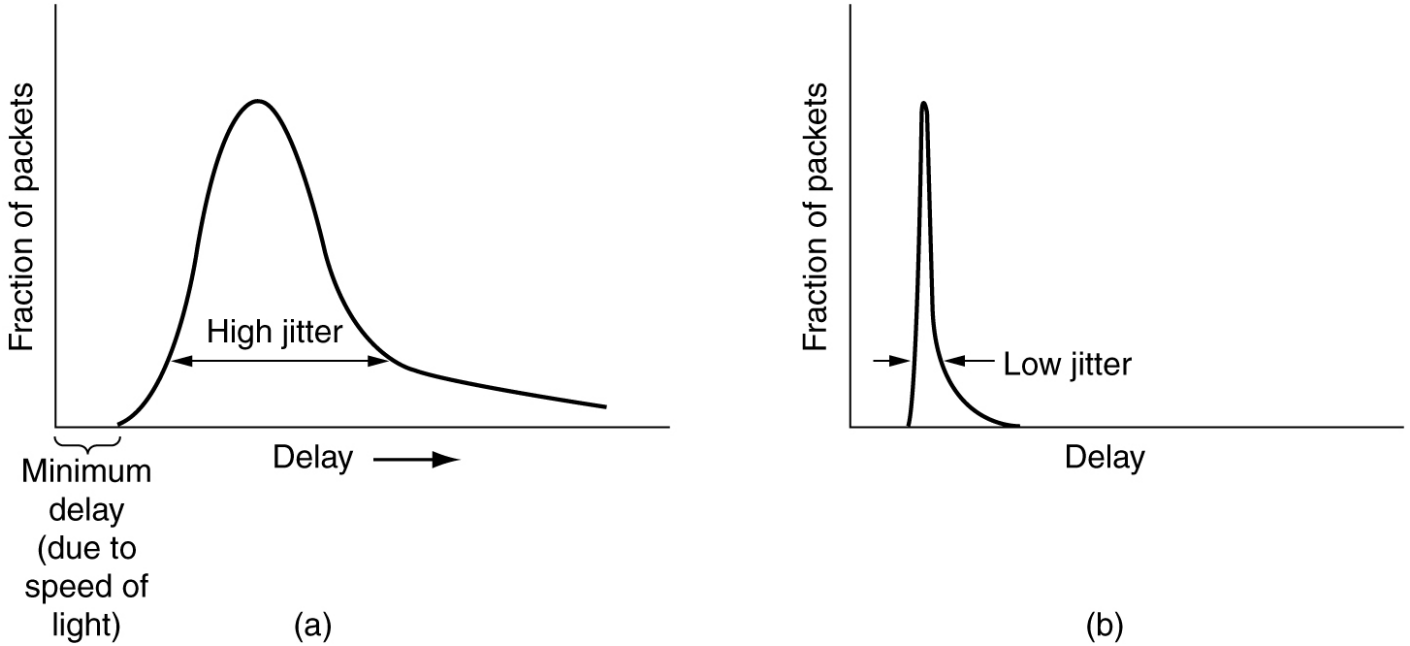
Metoda škrtících paketů

(a) Škrtící paket ovlivňující pouze zdroj.

(b) Škrtící paket ovlivňující každý uzel, přes který je přenášen.



Řízení rozptylu zpoždění



V digitální technice se termínem jitter (rozptyl hodnot) označuje obecná chyba časování signálu, která je všudypřítomná, protože žádný signál není ideálně pravoúhlý a žádný obvod nemá ideální vlastnosti.

(a) Velký rozptyl. (b) malý rozptyl.

Kvalita služeb (Quality of Service)

- Požadavky
- Techniky pro dosažení požadované QoS
- Integrované (jednotné, sdružené) služby
- Odlišované (diferencované) služby
- Label Switching and MPLS (multiprotocol label switching)

Kvalita služeb (2)

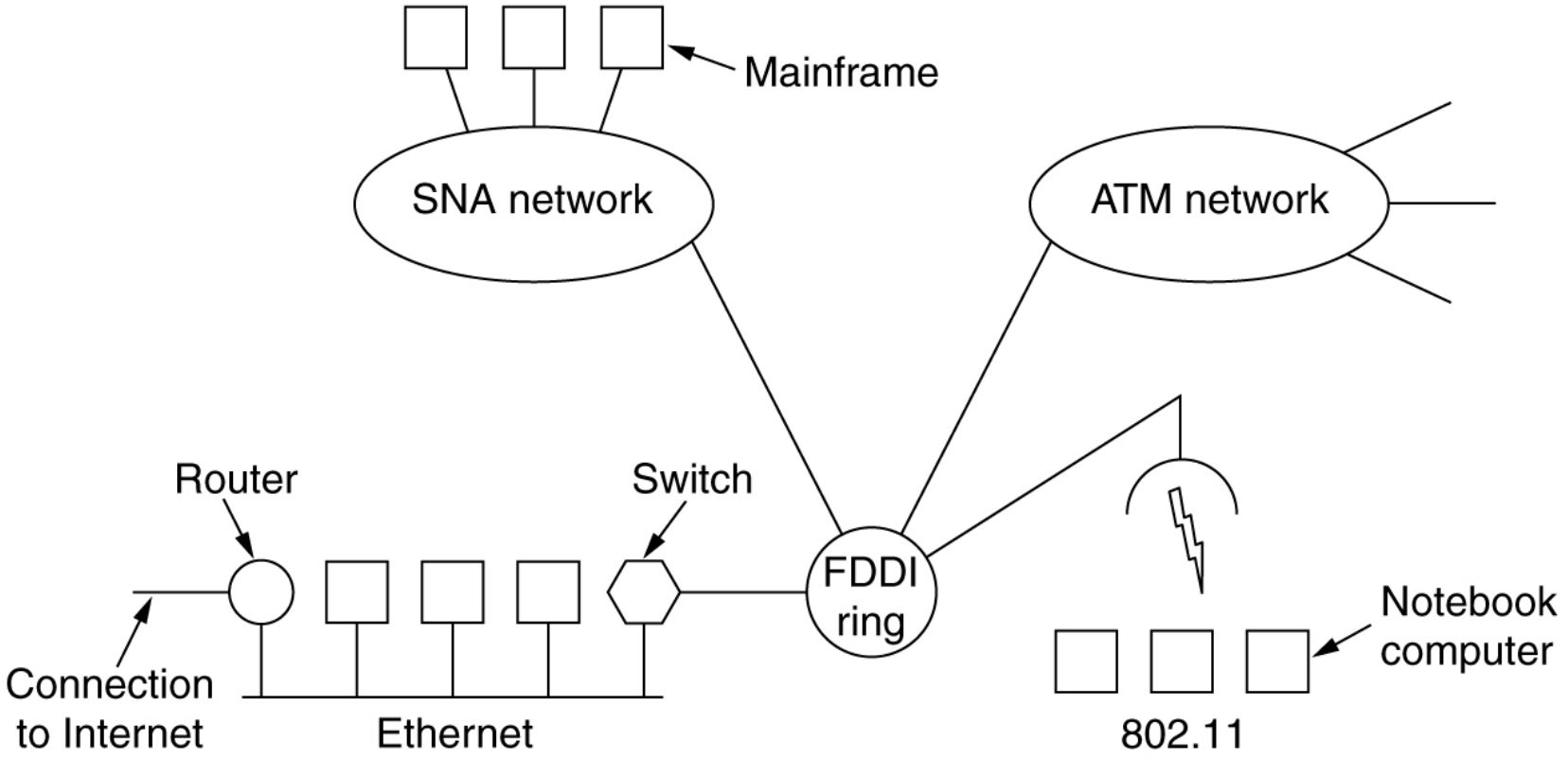
Application	Reliability	Delay	Jitter	Bandwidth
E-mail	High	Low	Low	Low
File transfer	High	Low	Low	Medium
Web access	High	Medium	Low	Medium
Remote login	High	Medium	Medium	Low
Audio on demand	Low	Low	High	Medium
Video on demand	Low	Low	High	High
Telephony	Low	High	High	Low
Videoconferencing	Low	High	High	High

Požadavky na služby sítě – požadovaná kvalita služeb.

Internetworking

- Čím se liší sítě
- Jak mohou být sítě propojeny
- Propojované virtuální okruhy
- Propojení sítí nespojovanými službami
- Tunelování
- Směrování mezi sítěmi
- Fragmentace

Propojování sítí



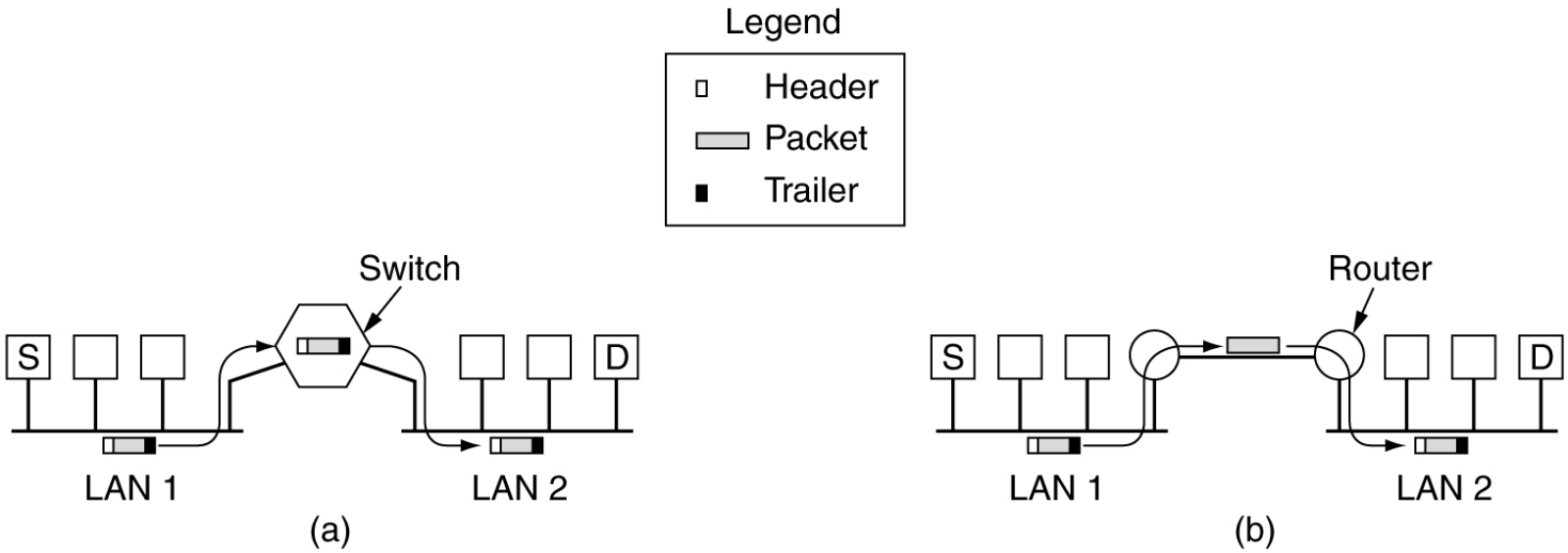
Soubor propojených sítí.

Čím se sítě liší

Item	Some Possibilities
Service offered	Connection oriented versus connectionless
Protocols	IP, IPX, SNA, ATM, MPLS, AppleTalk, etc.
Addressing	Flat (802) versus hierarchical (IP)
Multicasting	Present or absent (also broadcasting)
Packet size	Every network has its own maximum
Quality of service	Present or absent; many different kinds
Error handling	Reliable, ordered, and unordered delivery
Flow control	Sliding window, rate control, other, or none
Congestion control	Leaky bucket, token bucket, RED, choke packets, etc.
Security	Privacy rules, encryption, etc.
Parameters	Different timeouts, flow specifications, etc.
Accounting	By connect time, by packet, by byte, or not at all

Některé odlišnosti sítí.

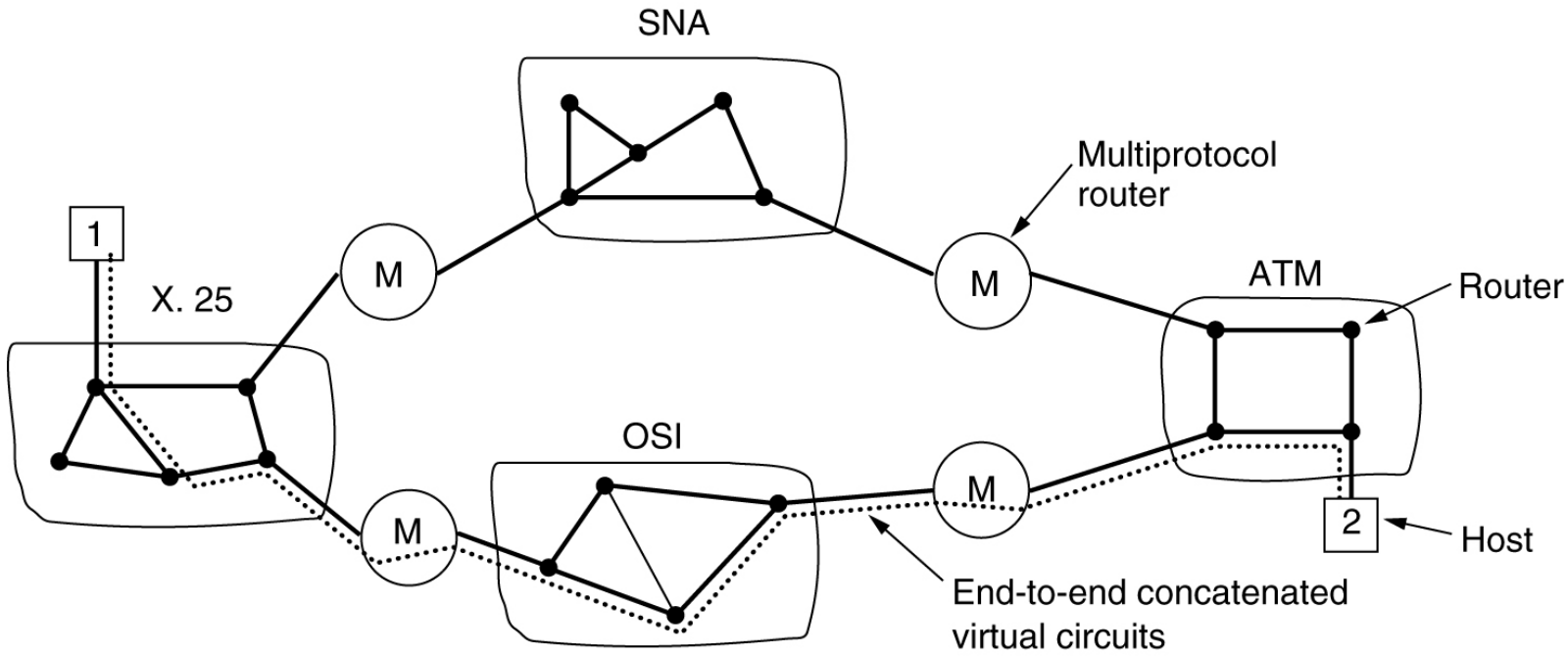
Způsoby propojení sítí



(a) Propojení sítí typu Ethernet přepínači.

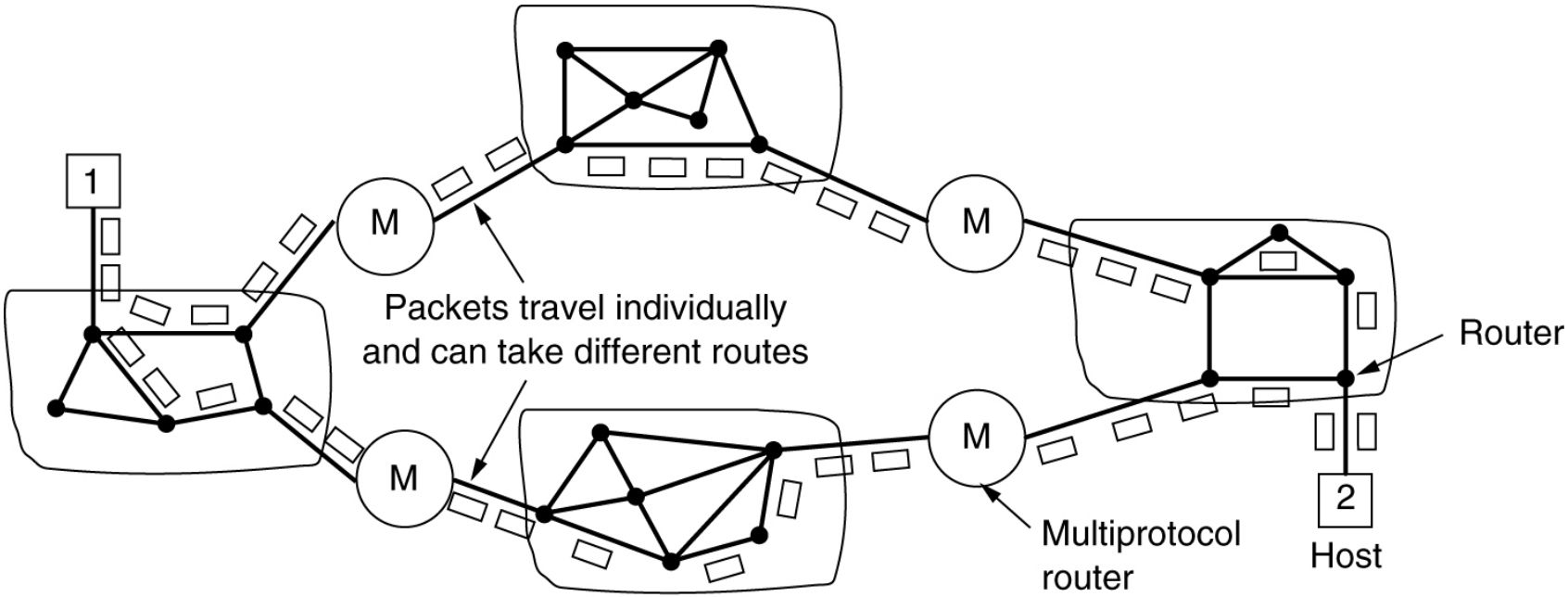
(b) Propojení sítí typu Ethernet směrovači.

Propojené virtuální okruhy



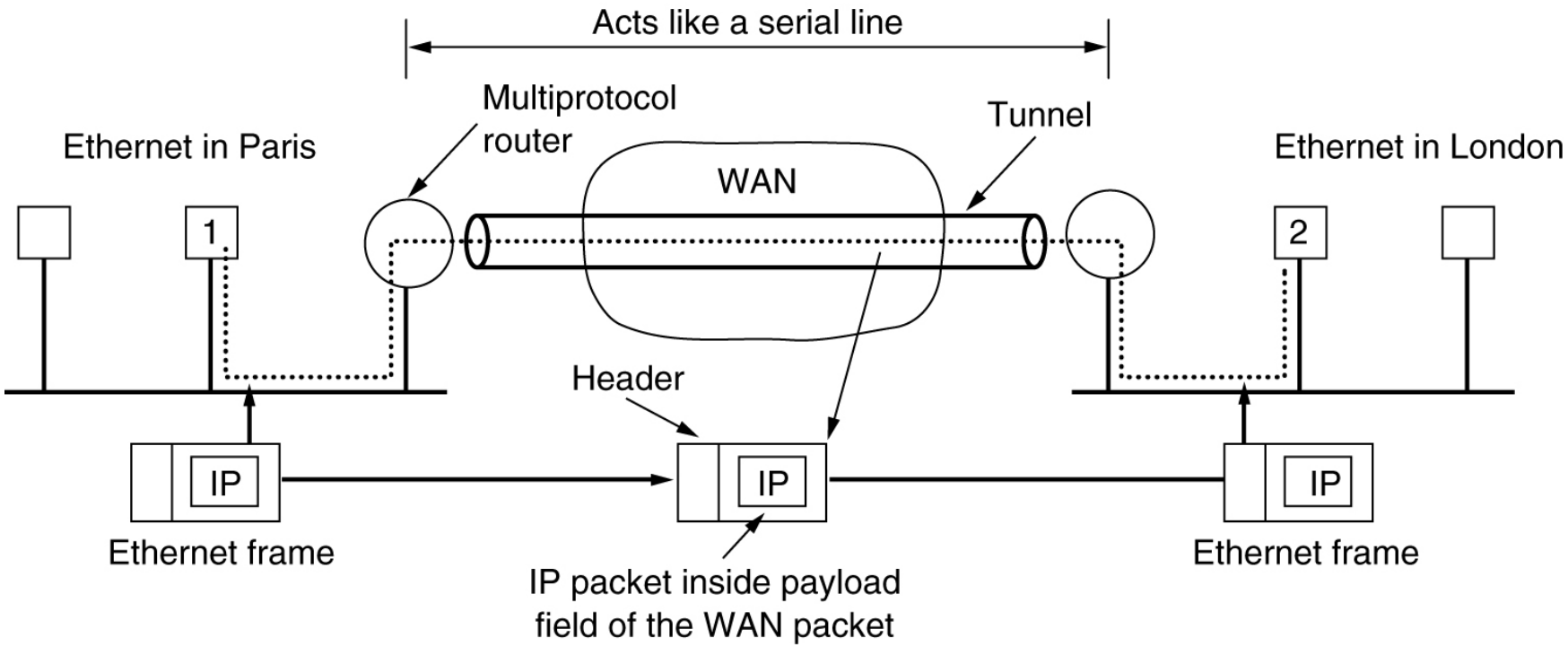
Propojení sítí s použitím virtuálních okruhů.

Propojení sítí nespojovanými službami



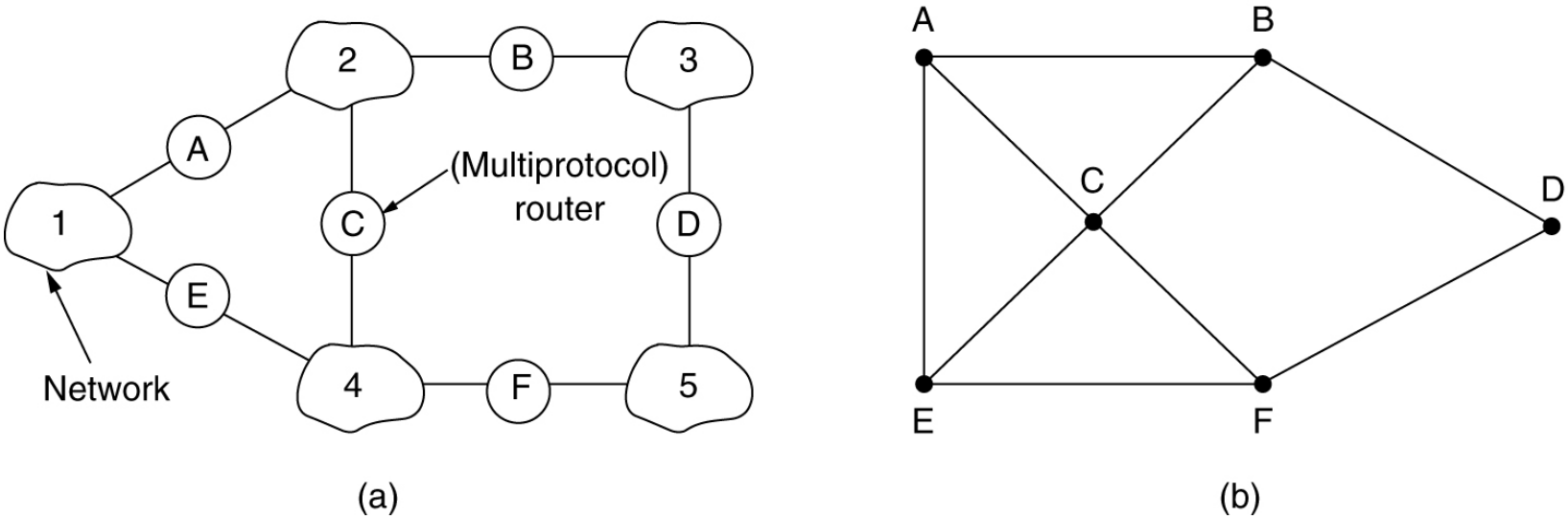
Internet.

Tunelování



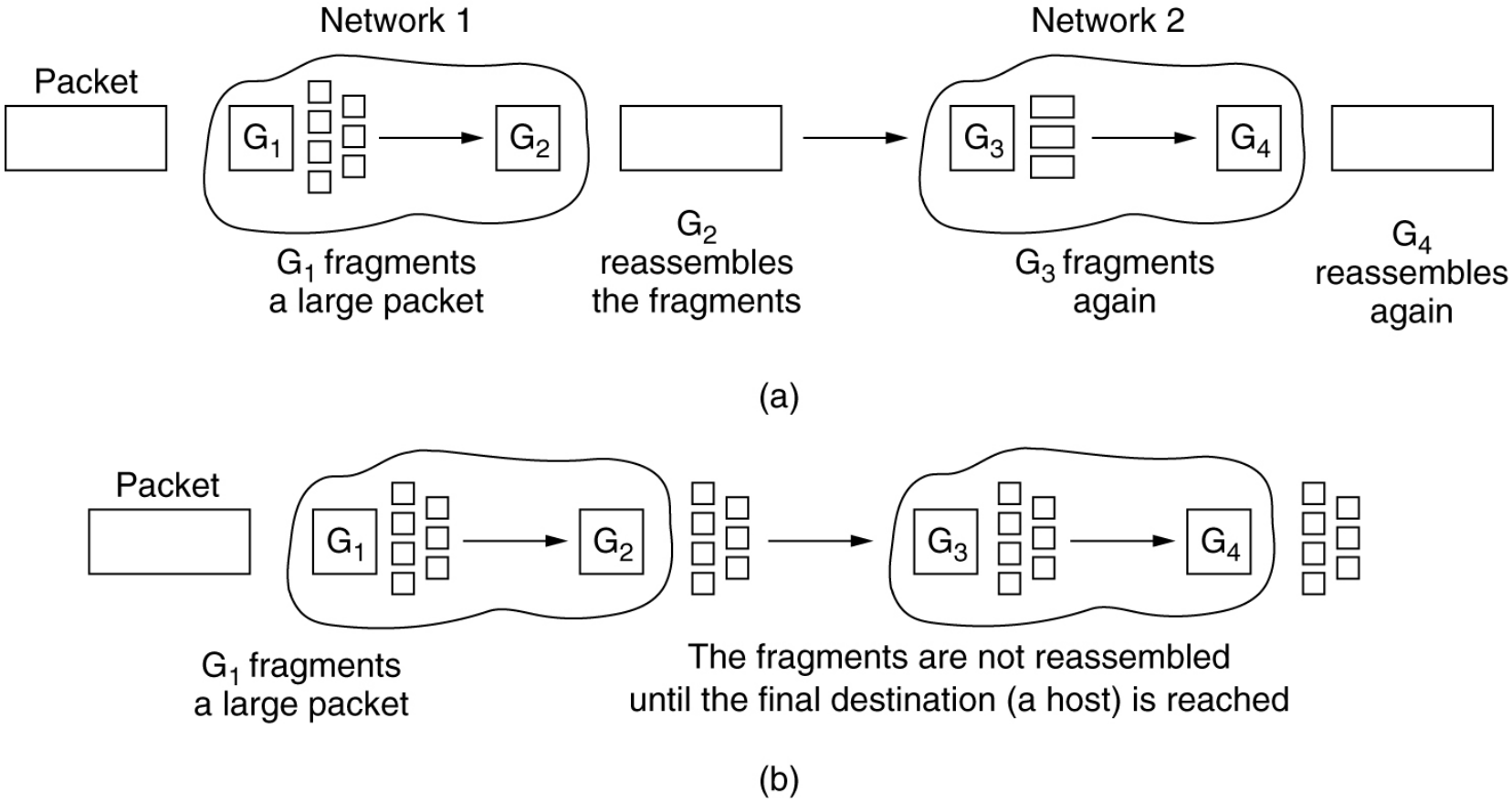
Příklad tunelování.

Směrování mezi sítěmi



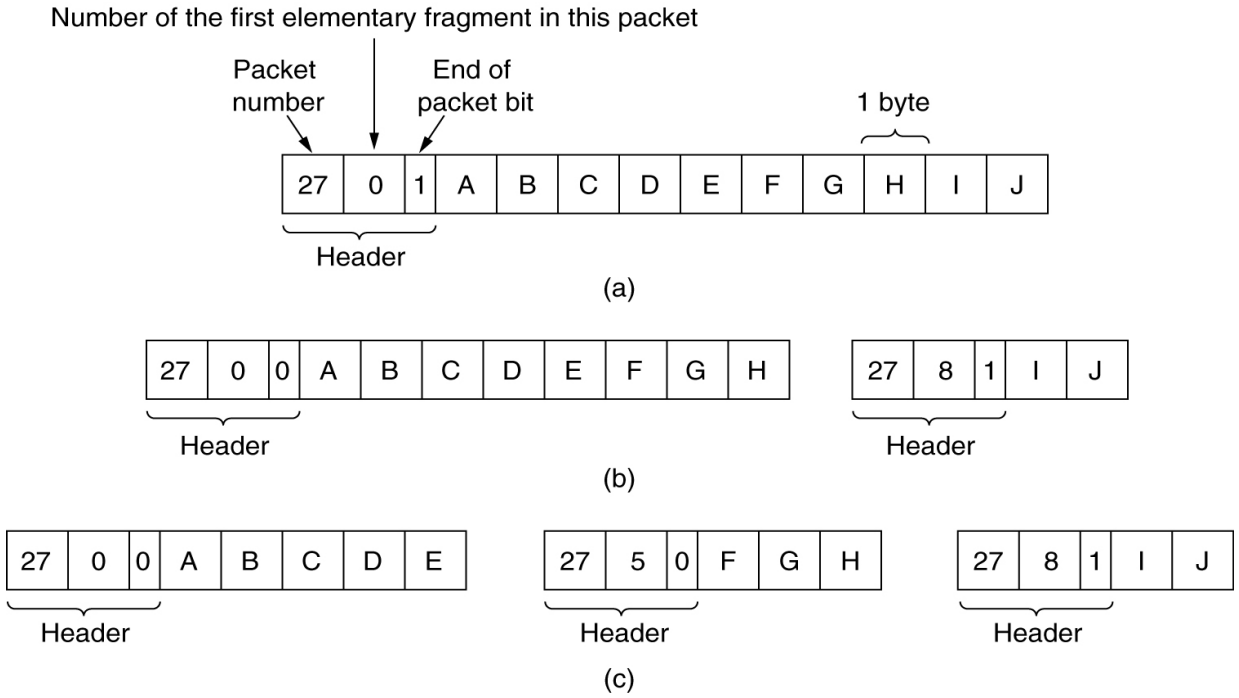
(a) Propojení sítí. (b) Znázornění v podobě grafu.

Fragmentace



(a) Transparentní fragmentace. (b) Netransparentní fragmentace

Fragmentace (2)



Fragmentace v případě, kdy je délka fragmentu 1.

(a) Původní paket délky 10.

(b) Fragmenty po přenosu sítí s maximální délkou paketu 8 (plus délka záhlaví).

(c) Situace po průchodu směrovačem s délkou paketu 5.

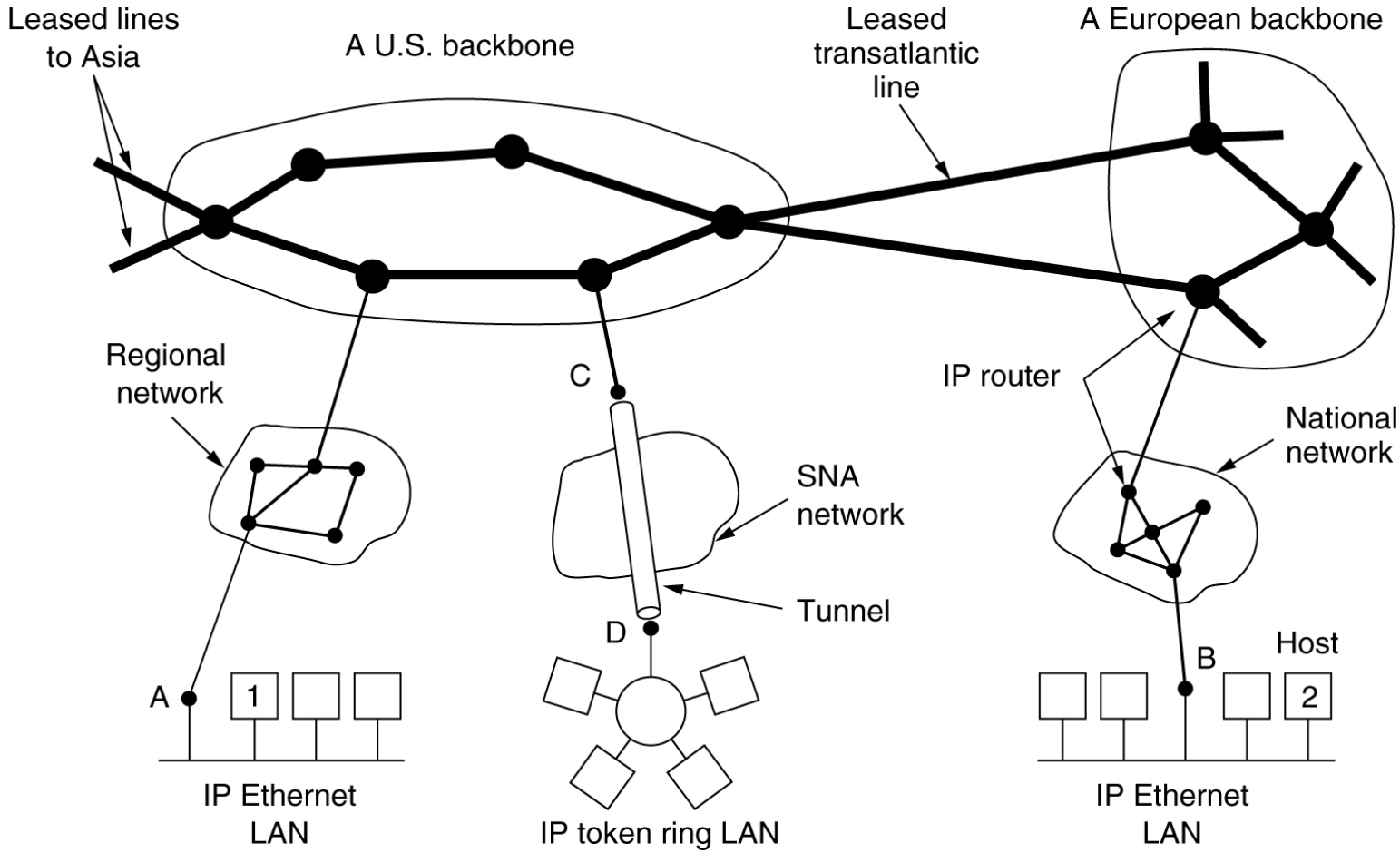
Síťová úroveň v Internetu

- Protokol IP
- IP adresy
- Řídicí protokoly Internetu
- OSPF – The Interior Gateway Routing Protocol
- BGP – The Exterior Gateway Routing Protocol
- Internet Multicasting
- Mobile IP
- IPv6

Návrhové principy Internetu

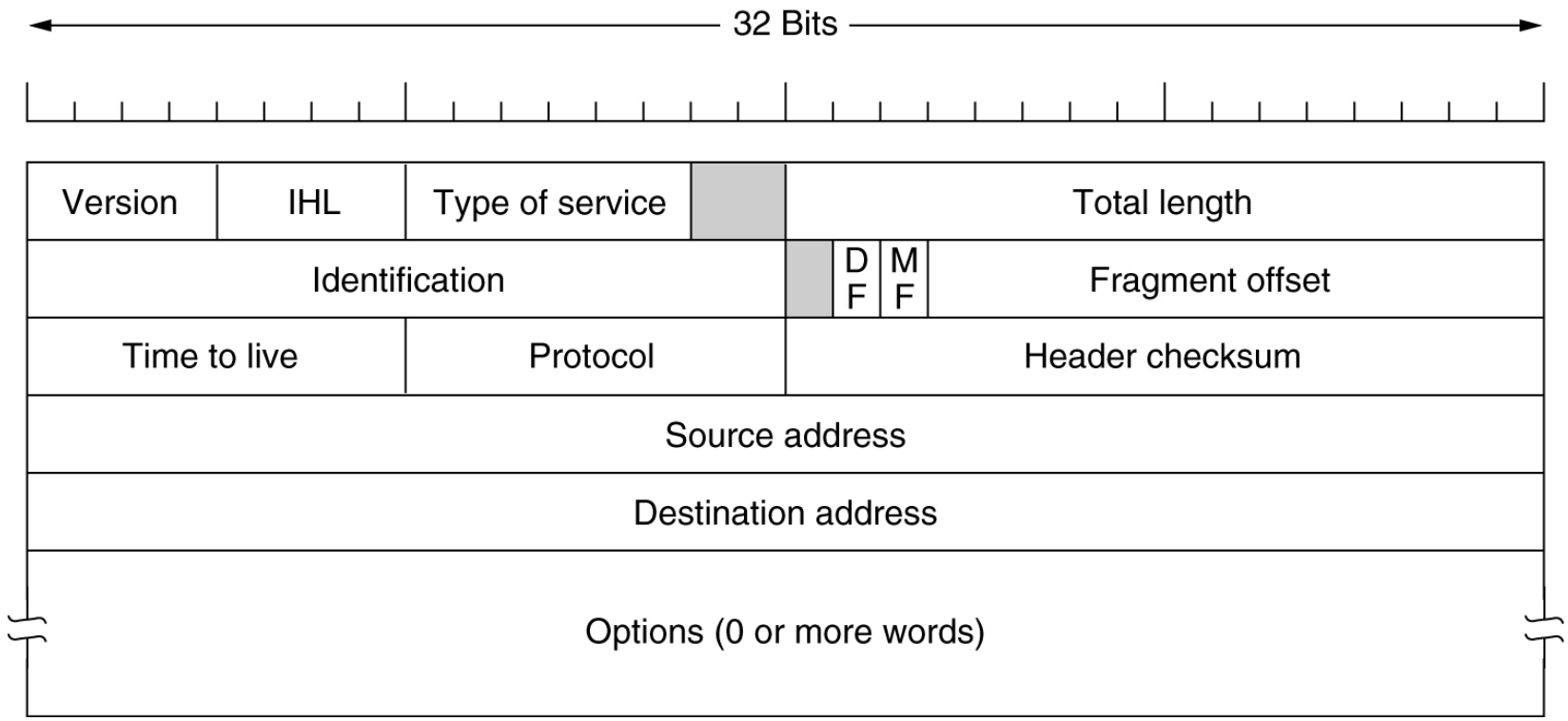
- Ujistit se, že pracuje.
- Volit jednoduchá řešení.
- Vytvářet průhledné volby.
- Využívat modularitu.
- Očekávat heterogenitu.
- Předcházet statickým volbám a parametrům.
- Očekávat dobrý návrh, nemusí být perfektní.
- Být přísný při posílání a tolerantní při příjmu.
- Přemýšlet nad škálovatelností.
- Brát v úvahu výkonnost a cenu.

Soubor podsítí



Internet je soubor mnoha propojený sítí.

Protokol IP



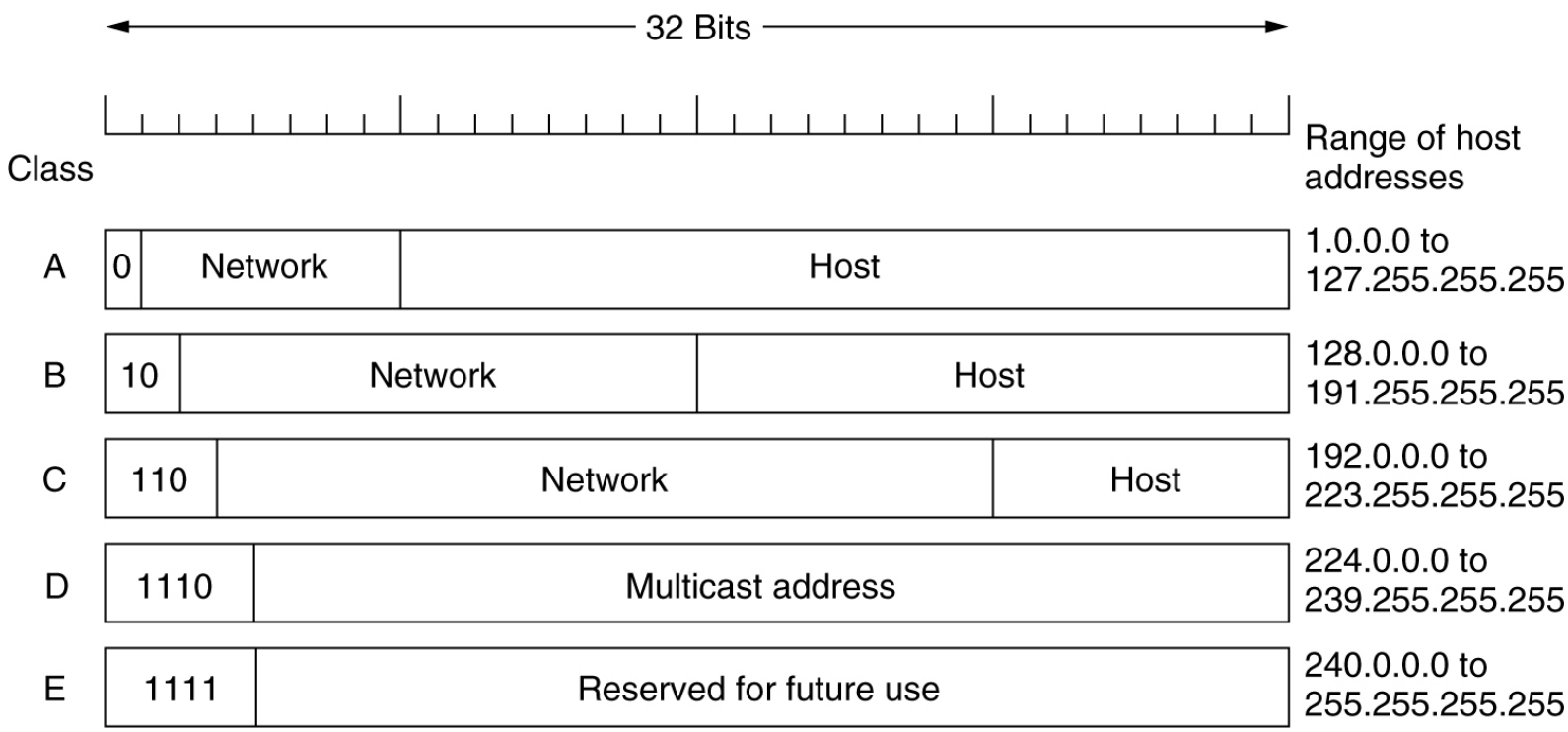
Záhlaví protokolu IPv4.

Protokol IP (2)

Option	Description
Security	Specifies how secret the datagram is
Strict source routing	Gives the complete path to be followed
Loose source routing	Gives a list of routers not to be missed
Record route	Makes each router append its IP address
Timestamp	Makes each router append its address and timestamp

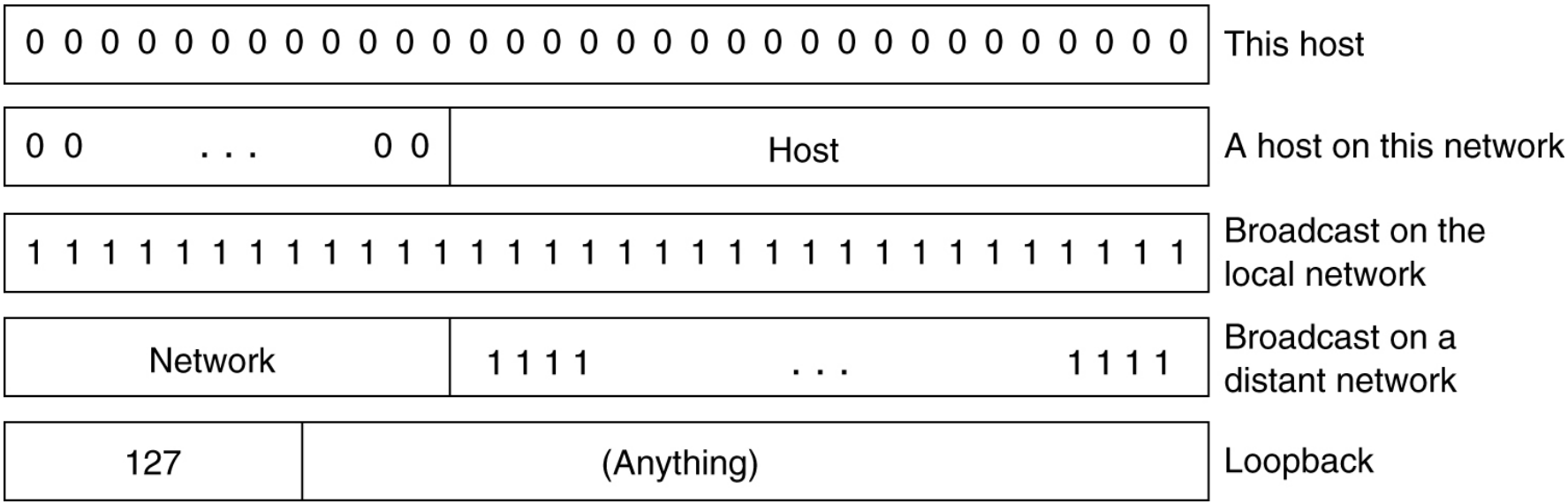
Příklady volitelných parametrů IP.

IP adresy



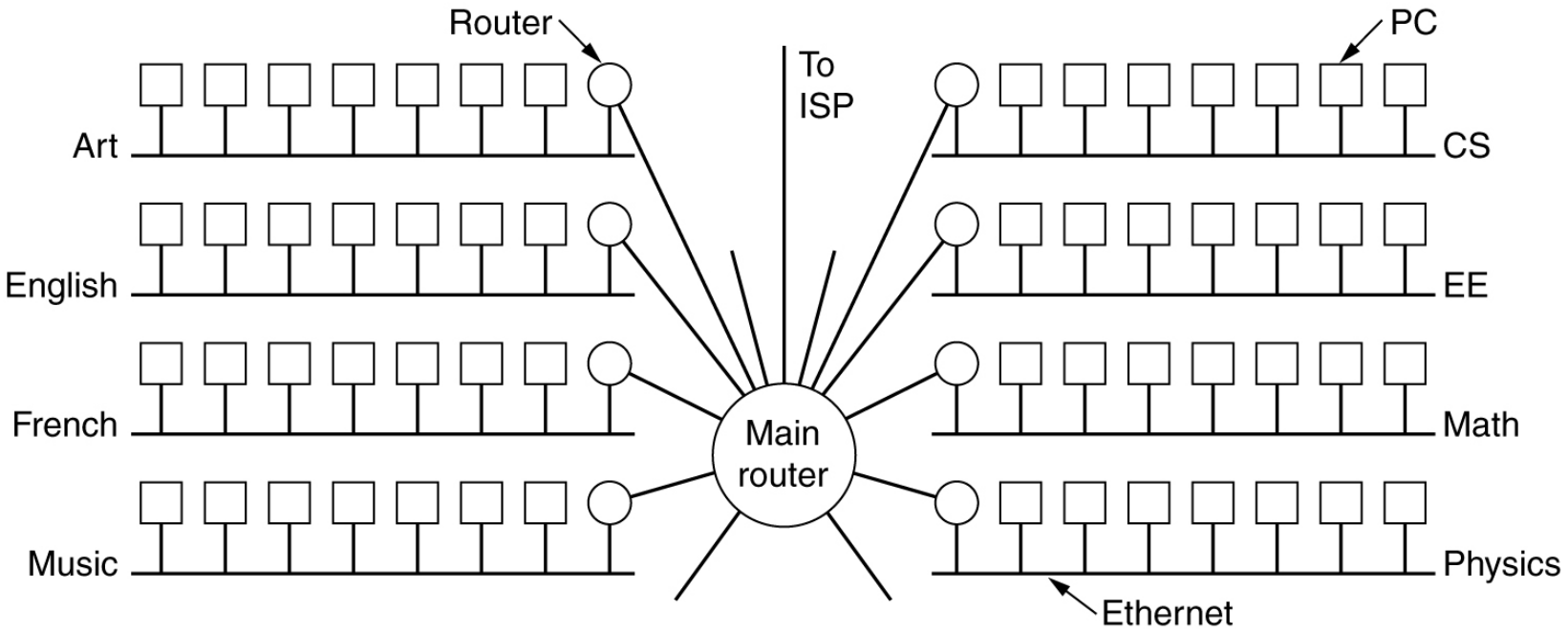
Formáty IP adres.

IP adresy (2)



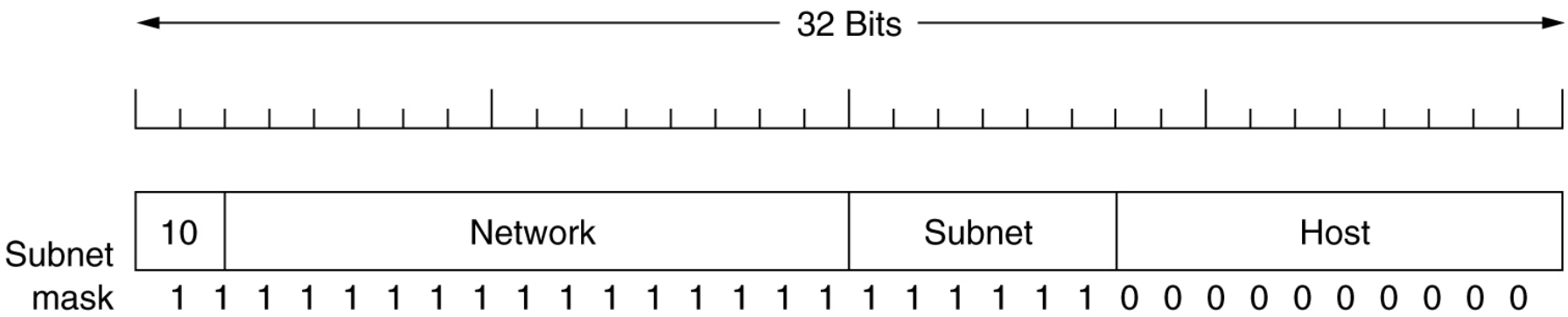
Speciální IP adresy.

Podsítě



Propojení sítí LAN.

Podsítě (2)



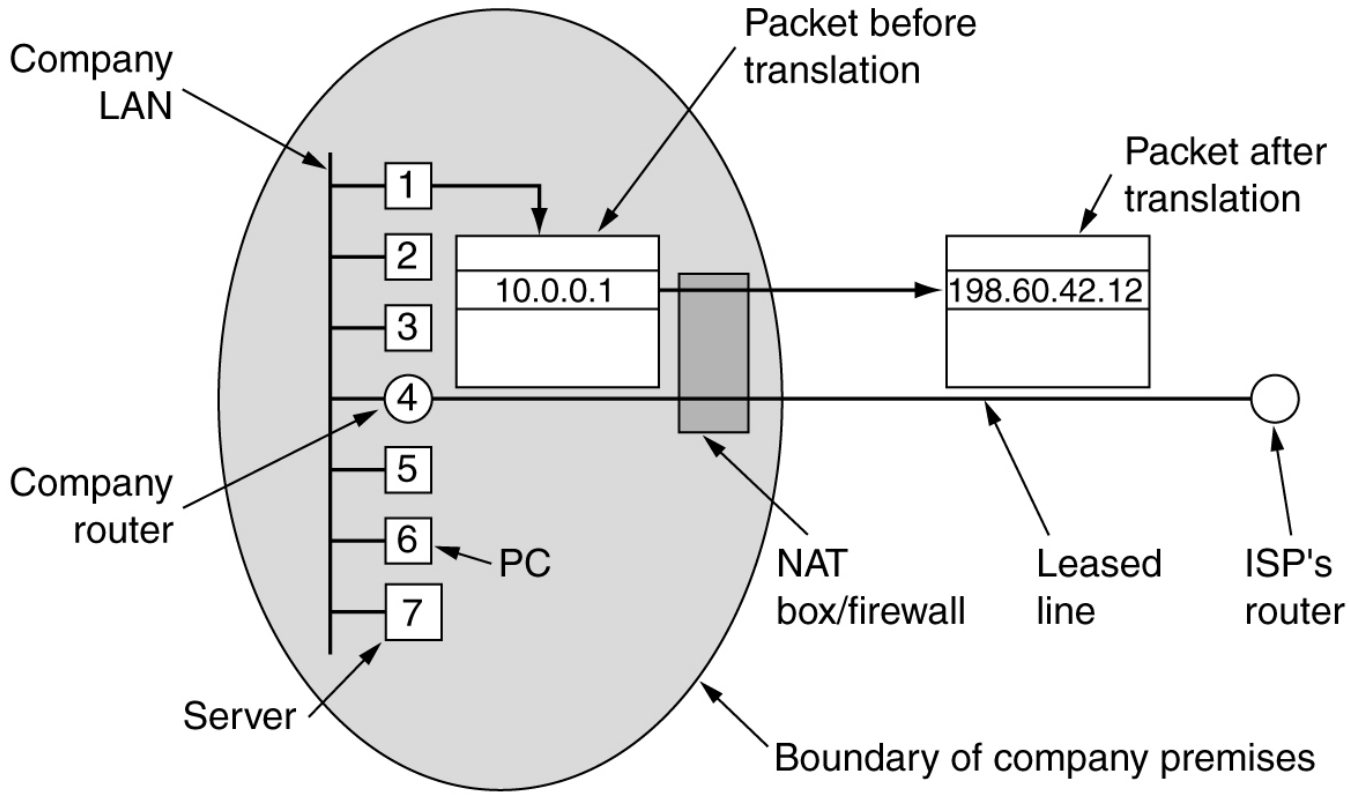
Třída B rozdělená do 64 subsítí.

CIDR – Classless InterDomain Routing

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

Přiřazení množiny IP adres.

NAT – Network Address Translation



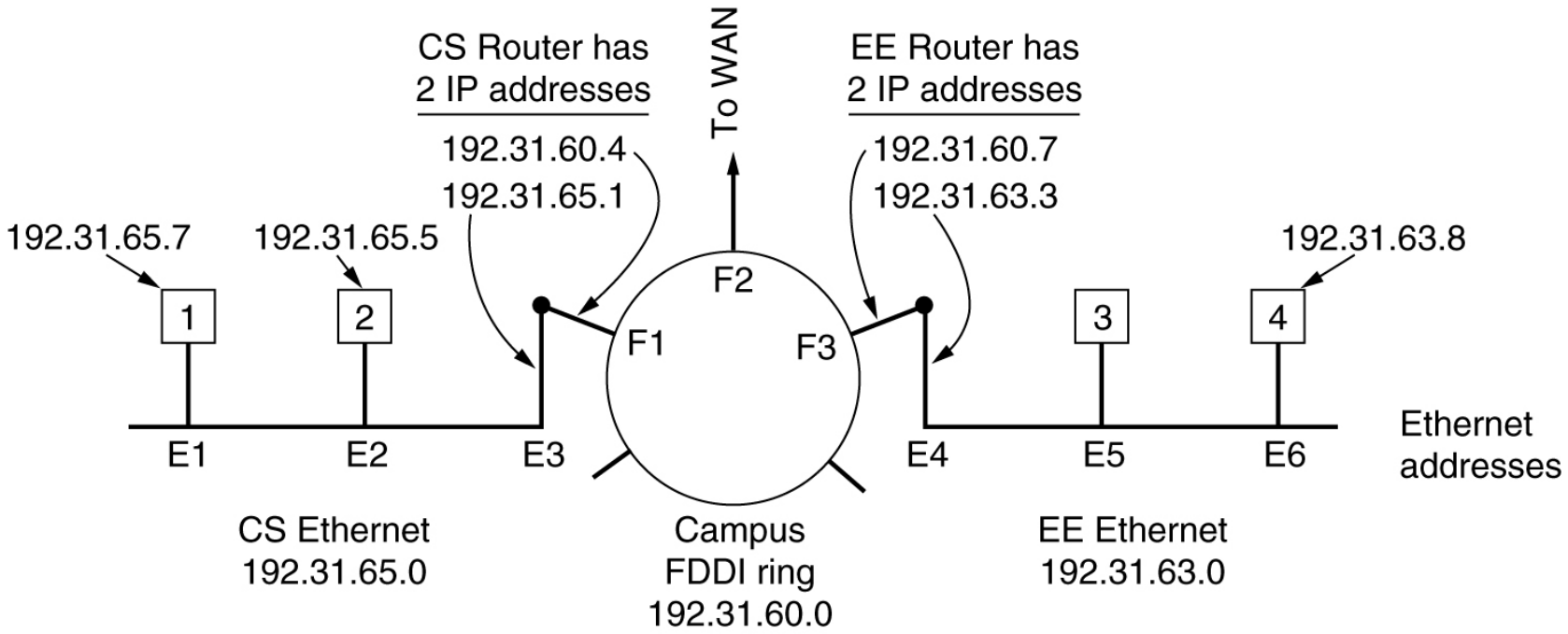
Operace NAT směrovače (firewallu).

Internet Control Message Protocol

Message type	Description
Destination unreachable	Packet could not be delivered
Time exceeded	Time to live field hit 0
Parameter problem	Invalid header field
Source quench	Choke packet
Redirect	Teach a router about geography
Echo request	Ask a machine if it is alive
Echo reply	Yes, I am alive
Timestamp request	Same as Echo request, but with timestamp
Timestamp reply	Same as Echo reply, but with timestamp

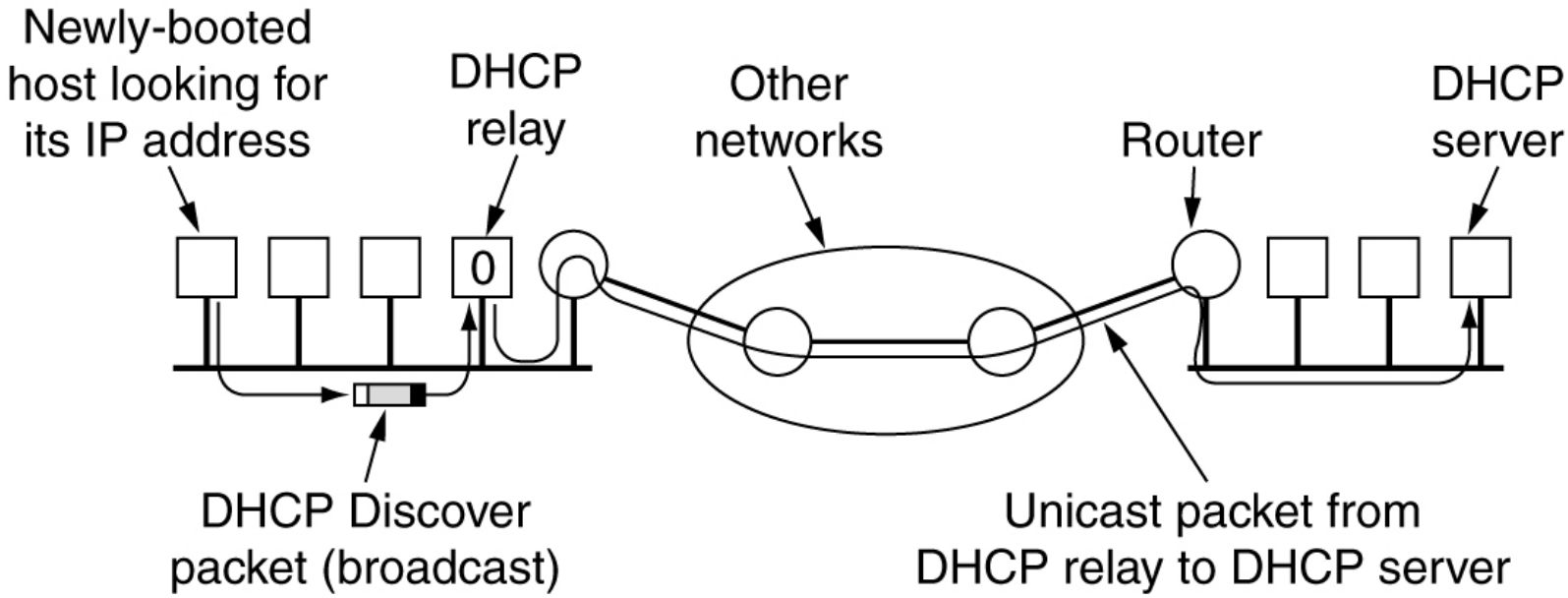
Základní typy zpráv ICMP.

ARP– The Address Resolution Protocol



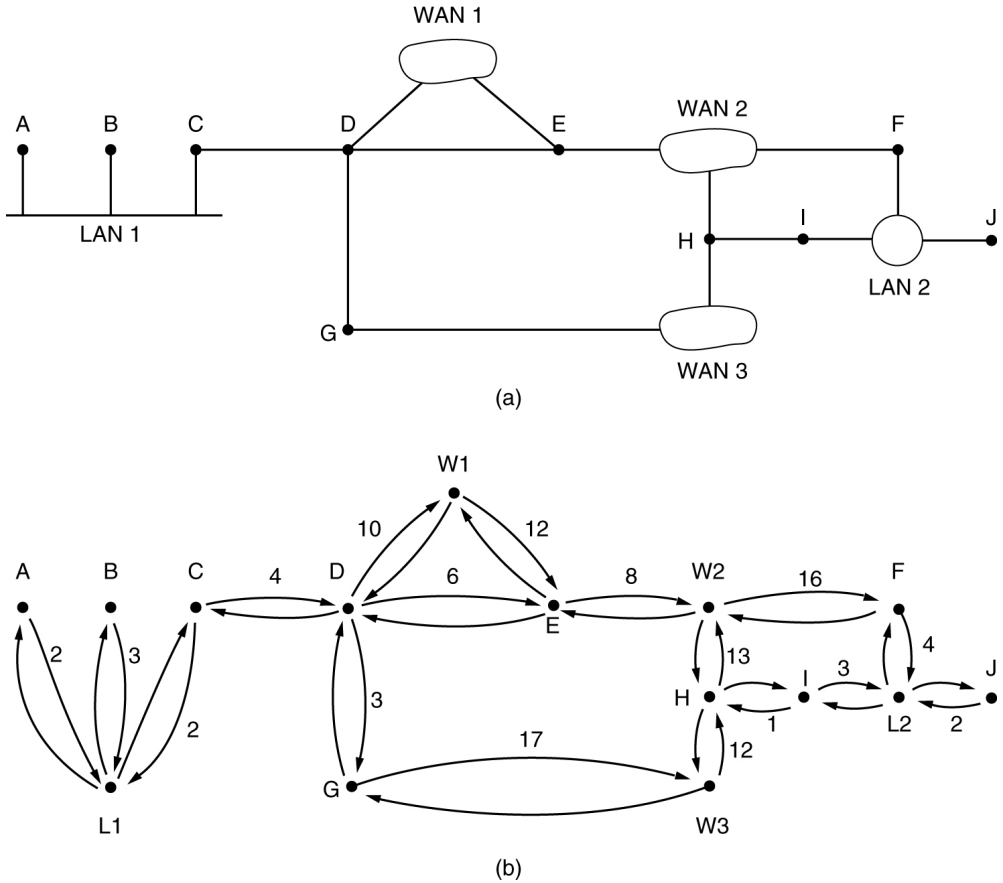
Propojení tří sítí třídy C: dvou Ethernetových a jedné FDDI.

Dynamic Host Configuration Protocol



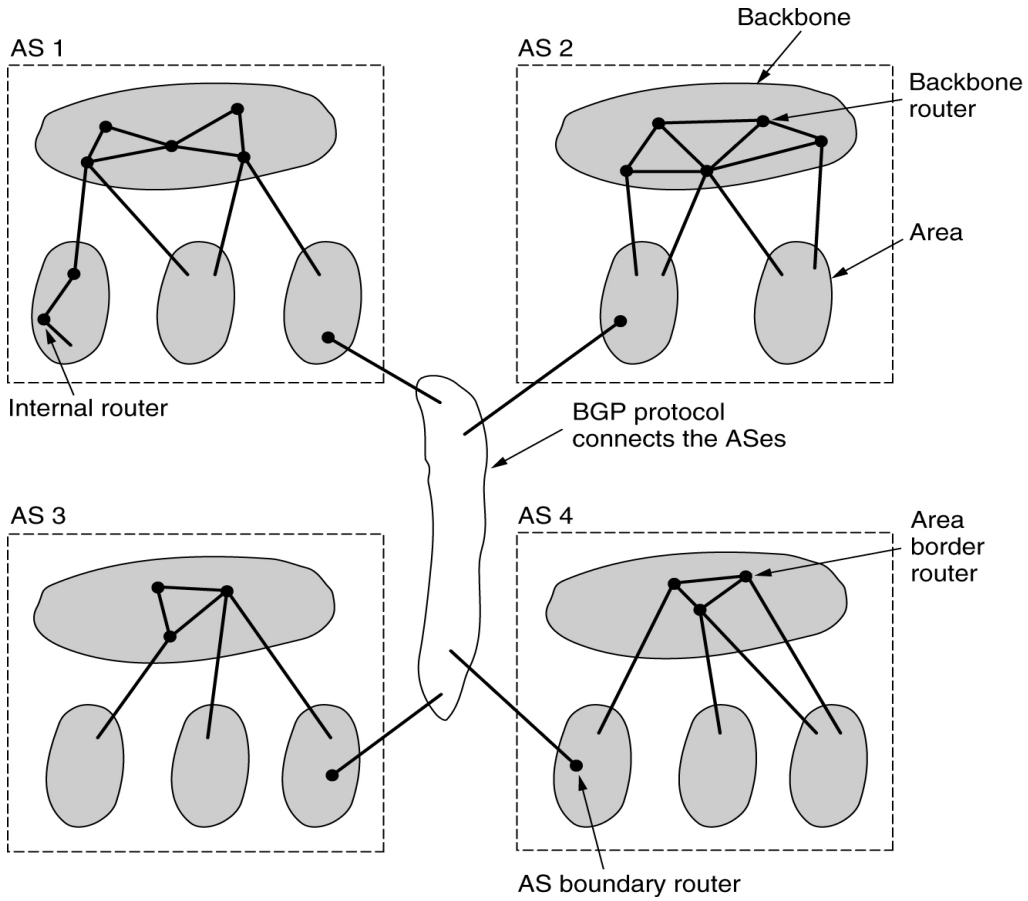
Podporované operace.

OSPF – Protokol pro vnitřní směrování



(a) Autonomní systém. (b) reprezentace grafem (a).

OSPF (2)



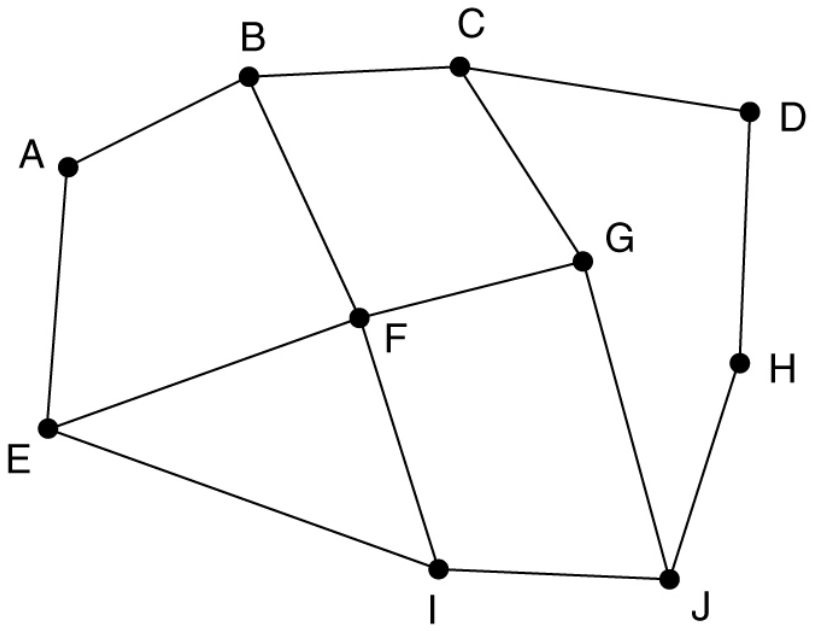
Vztah mezi AS, páteří a oblastmi v OSPF.

OSPF (3)

Message type	Description
Hello	Used to discover who the neighbors are
Link state update	Provides the sender's costs to its neighbors
Link state ack	Acknowledges link state update
Database description	Announces which updates the sender has
Link state request	Requests information from the partner

Typy zpráv OSPF.

BGP – protokol pro externí směrování



(a)

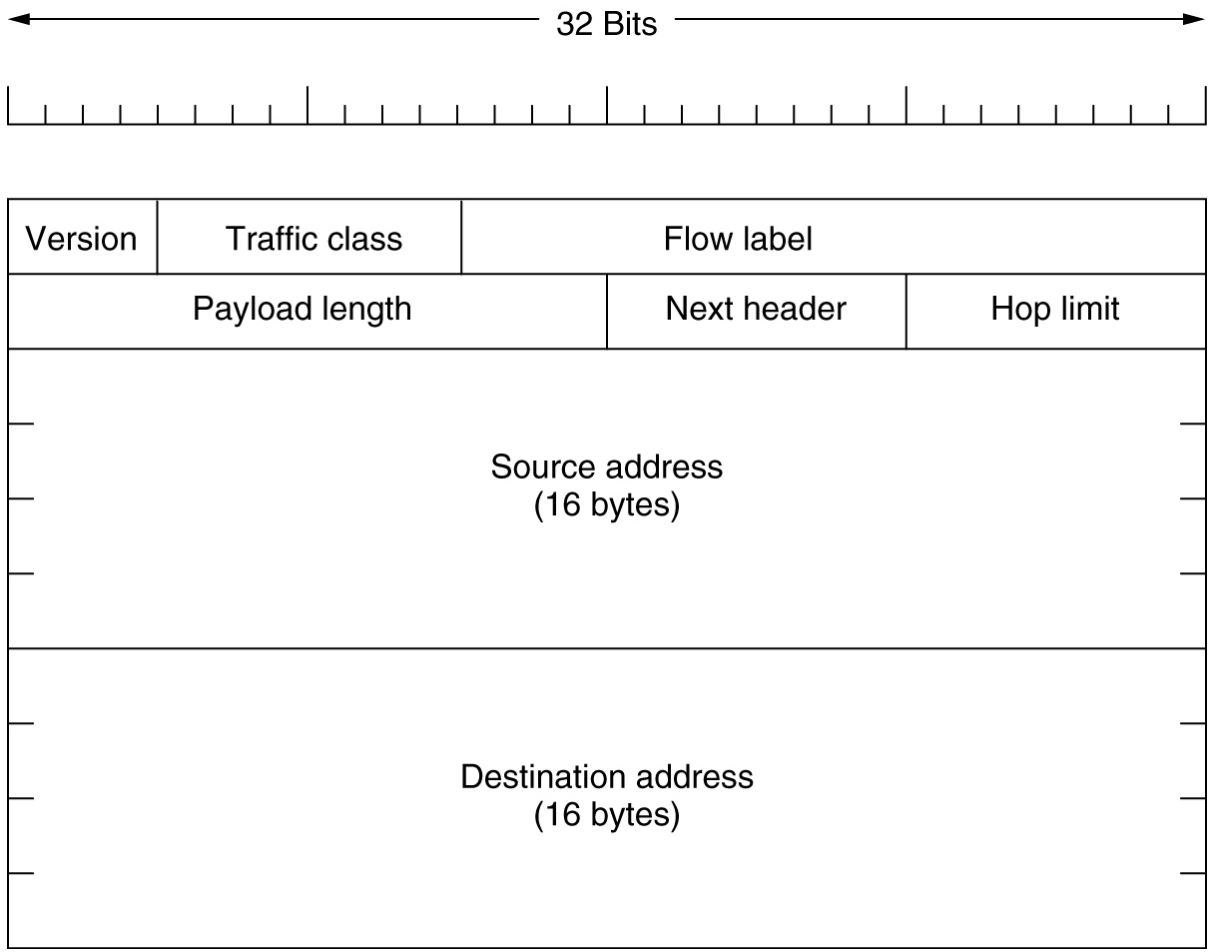
Information F receives
from its neighbors about D

From B: "I use BCD"
From G: "I use GCD"
From I: "I use IFGCD"
From E: "I use EFGCD"

(b)

(a) Množina BGP směrovačů. (b) Informace posílaná do F

Hlavní záhlaví IPv6



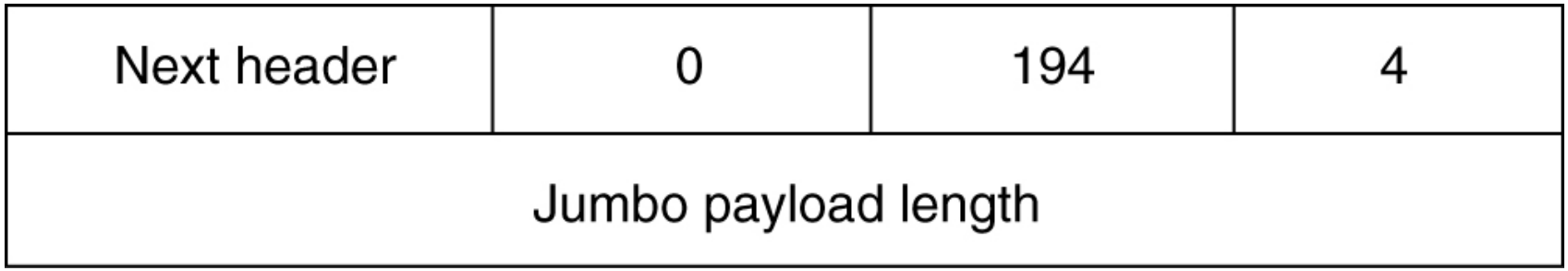
Fixní záhlaví IPv6 (povinné).

Rozšířená záhlaví

Extension header	Description
Hop-by-hop options	Miscellaneous information for routers
Destination options	Additional information for the destination
Routing	Loose list of routers to visit
Fragmentation	Management of datagram fragments
Authentication	Verification of the sender's identity
Encrypted security payload	Information about the encrypted contents

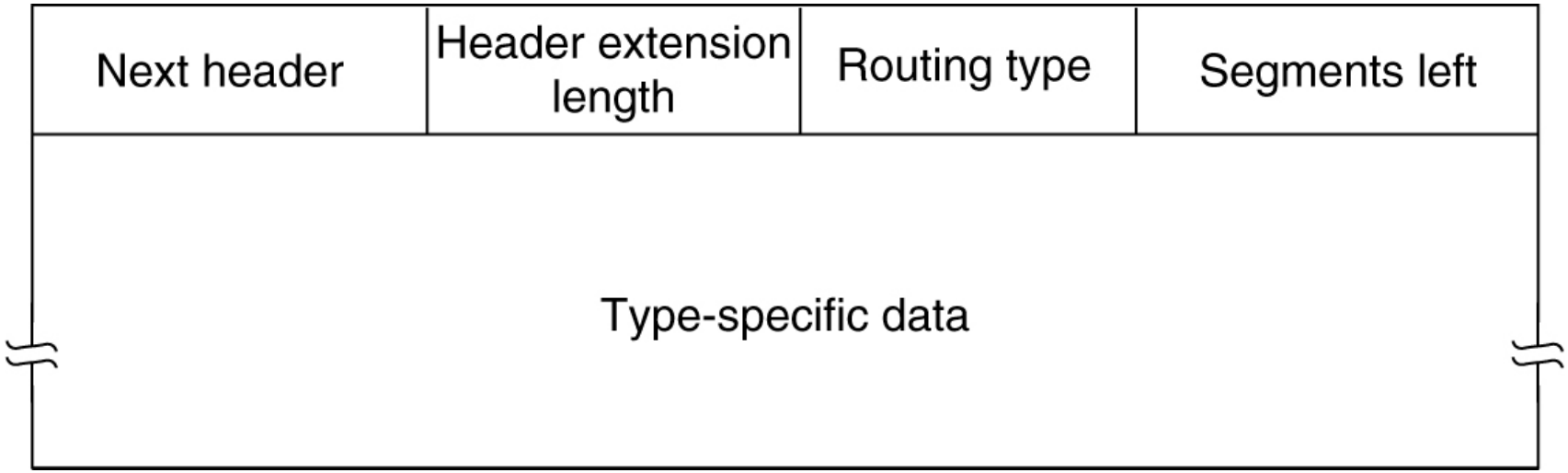
Rozšířená záhlaví IPv6.

Rozšířená záhlaví (2)



Rozšířené záhlaví pro postupné směrování (hop-by-hop) určené pro velké datagramy (jumbograms).

Rozšířená záhlaví (3)



Rozšířené záhlaví pro směrování.