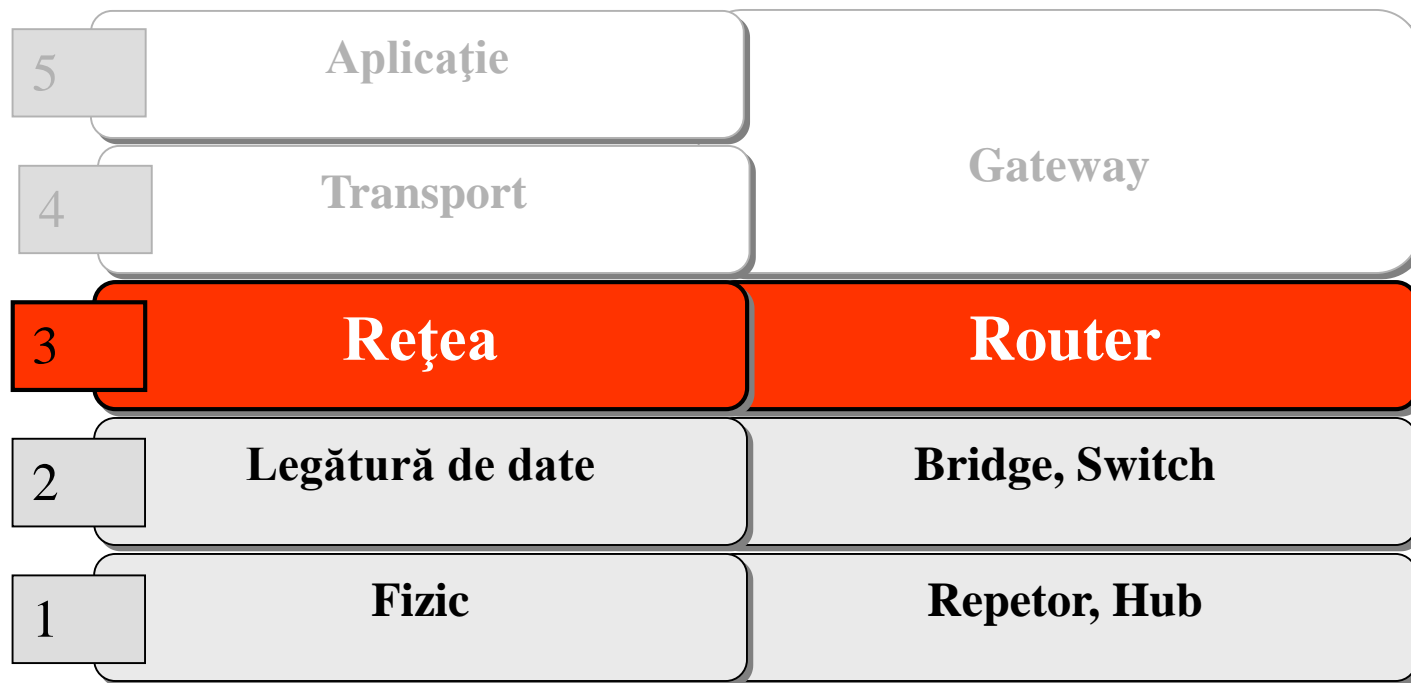


4. Nivelul Rețea



Cuprins

4.1. Antetul IP

4.2. Protocolul ICMP

4.3. Adrese IP

- clase de adrese IP
- adrese IP private
- adrese IP broadcast

4.4. Asignarea adreselor IP

4.5. Rutarea

4.6. Tabele de rutare

4.7. Algoritmi de rutare: Dijkstra și Bellman Ford

4.8. Protocolul de rutare RIP

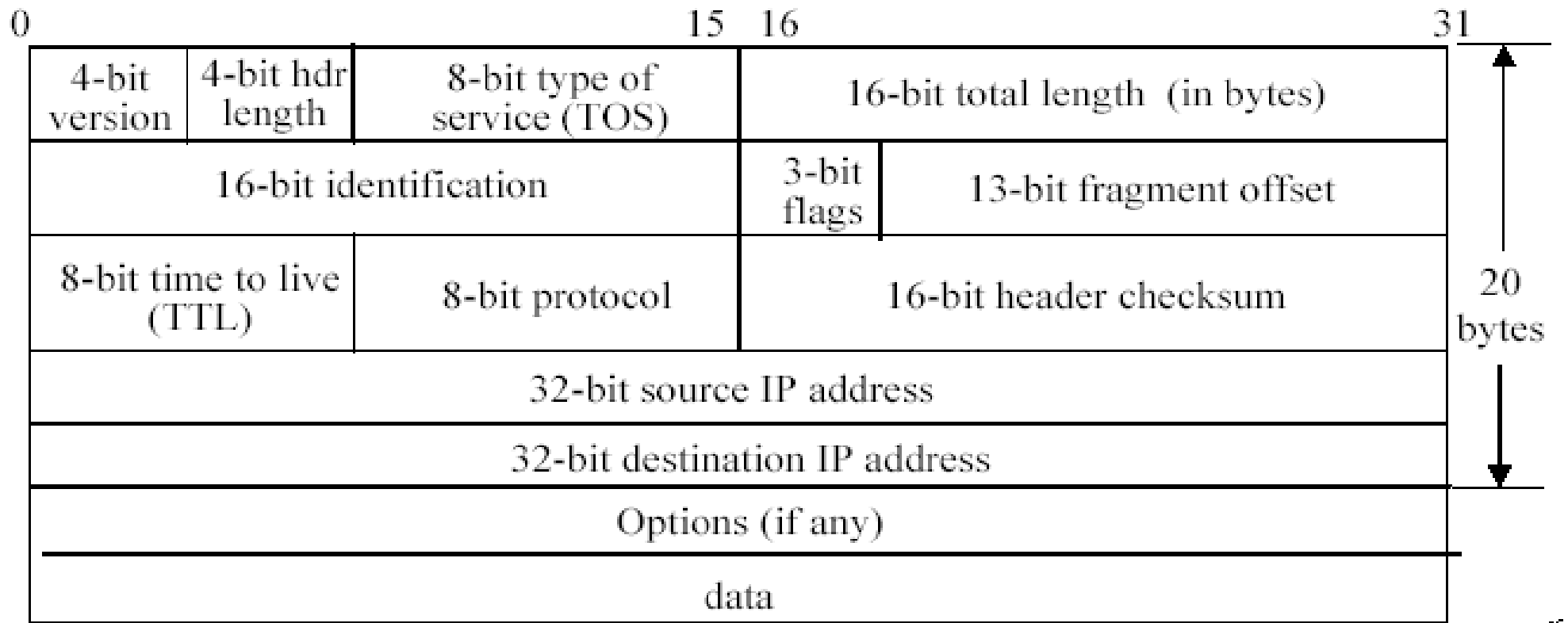
Nivelul rețea:

- gestionează transmiterea pachetelor de la sistemul sursă la sistemul destinație, independent de conexiune.
- are rolul de a permite gazdelor să emită pachete în orice rețea și de a face ca pachetele să circule independent până la destinație.
- definește un format de pachet și un protocol numit IP (Internet Protocol)

Pachetele pot să sosească într-o ordine diferită față de cea în care au fost transmise, reordonarea lor fiind sarcina nivelurilor superioare

4.1. Antetul protocolului IP

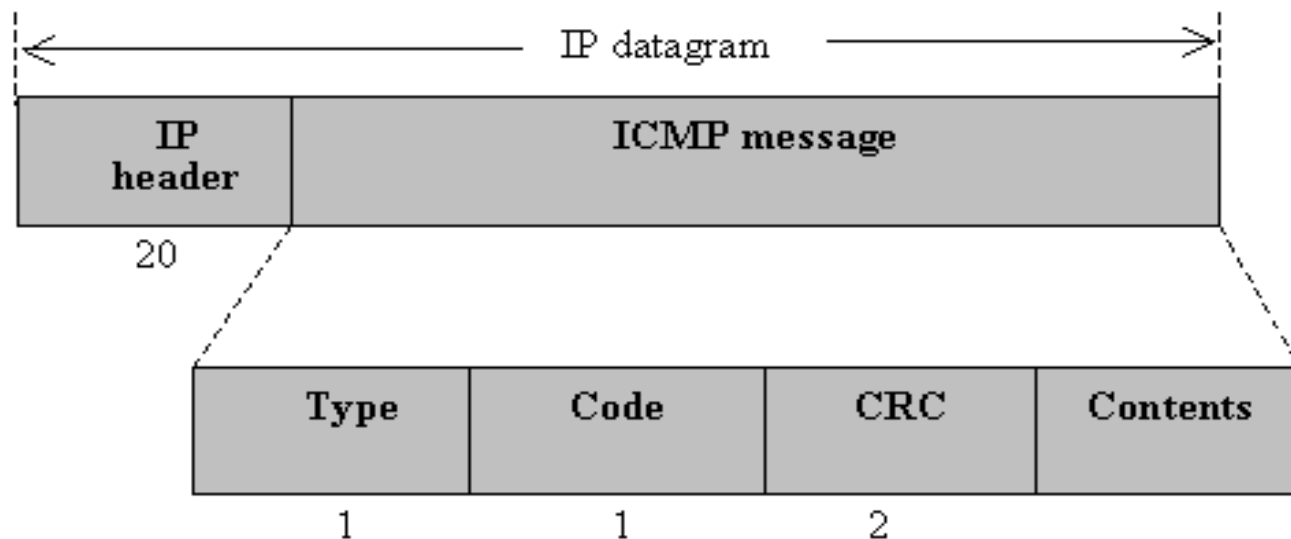
IP (Internet Protocol) asigură rutarea pachetelor de la o adresă sursă la o adresă destinație, folosind și unele protocoale adiționale, precum [ICMP](#) sau [IGMP](#).
Determinarea drumului optim între cele două rețele se face la nivelul rețea.



- Versiune: 4 – IPv4, 6 – IPv6
- Lungimea antetului - indică lungimea antetului măsurată în cuvinte de 32 biți; lungimea minima a antetului este 5 (20 octeți) și corespunde cazului când acesta nu conține câmpul opțiuni.
- Flags (3 biți):
 - 1 bit - nefolosit
 - DF (Don't fragment) bit – datagrama nu poate fi fragmentată. Dacă ruterul nu poate transmite pachetul nefragmentat, îl va distruge.
 - MF (more fragments) bit – semnalează că pachetul este un fragment, urmat de altele. Ultimul fragment are MF=0.
- TTL (Time To Live) – specifică timpul de viață al pachetului. Acest număr va fi decrementat de fiecare ruter prin care trece pachetul. Dacă ajunge la 0, pachetul este aruncat și se va transmite un ICMP Time To Live Exceeded in Transit la sursă. Valori uzuale: 64, 32 sau 15.
- Protocol – specifică protocolul de nivel superior căruia îi este destinată informația inclusă în datagramă:
 - 1: ICMP, 2: IGMP, 4: IP, 6: TCP, 8: EGP, 17: UDP, 46: RSVP, 89: OSPF

4.2. ICMP (Internet Control Message Protocol)

- utilizat pentru schimbul de mesaje de control și informații privind situațiile de funcționare defectuasă



- **Type** - tipul mesajului ICMP: **Echo Reply** (0), **Echo Request** (8), **Redirect** (5), **Destination Unreachable** (3), **Traceroute** (30), **Time Exceeded** (11).
- **Code** – subtipul mesajului ICMP
- **CRC** – suma de control al întregului mesaj ICMP
- **Contents** – conținutul mesajului, care este de lungime variabilă în funcție de tipul mesajului

Tipuri de mesaj ICMP

<i>type</i>	<i>code</i>	<i>Description</i>	<i>Query</i>	<i>Error</i>
0	0	echo reply (Ping reply, Chapter 7)	•	
3		destination unreachable:		
	0	network unreachable (Section 9.3)		•
	1	host unreachable (Section 9.3)		•
	2	protocol unreachable		•
	3	port unreachable (Section 6.5)		•
	4	fragmentation needed but don't-fragment bit set (Section 11.6)		•
	5	source route failed (Section 8.5)		•
	6	destination network unknown		•
	7	destination host unknown		•
	8	source host isolated (obsolete)		•
	9	destination network administratively prohibited		•
	10	destination host administratively prohibited		•
	11	network unreachable for TOS (Section 9.3)		•
	12	host unreachable for TOS (Section 9.3)		•
	13	communication administratively prohibited by filtering		•
	14	host precedence violation		•
	15	precedence cutoff in effect		•
4	0	source quench (elementary flow control, Section 11.1)		•

4.3. Adrese IP

Adresa IP / IP Address (Internet Protocol Address): este un număr utilizat în exclusivitate de către toate echipamentele ce țin de tehnologia informației (imprimante, routere, telefoane, calculatoare etc.) ce le permite să se identifice și să comunice între ele într-o rețea de calculatoare (Internet).

O adresă IP are o lungime de 32 de biți (versiunea 4).

11000000 10101000 01101000 00010100

192.168.104.20

Această notație poartă numele de “reprezentare zecimală cu punct”.

Adresa IP are două componente principale: un număr ce constituie **identificatorul de rețea** și unul ce constituie **identificatorul de host**.

Adresa IP:	192.168.104.20
Mask:	255.255.255.0
	11111111.11111111.11111111.00000000 _b

Această delimitare între rețea și host se face cu ajutorul **network mask** – un număr pe 32 biți scris de obicei în format zecimal grupat pe cei patru octeți.

Clase de adrese IP

Clasă	Cod (nr. biți)	Rețea (nr. biți)	Gazdă (nr. biți)
Class A	0 (1)	Network (7)	Host (24)
Class B	10 (2)	Network (14)	Host (16)
Clasa C	110 (3)	Network (21)	Host (8)
Class D	1110 (4)	Multicast group (28)	
Class E	11110 (5)	Reserved	

Numărul maxim de noduri care pot fi identificate prin adrese IP în cadrul unei rețele este în funcție de numărul de biți alocați pentru gazde (hosts).

-clasa A - $2^{24}-2$, maxim 16777214 adrese de host-uri diferite cu masca 255.0.0.0

-clasa B - $2^{16}-2$, maxim 65534 adrese de host-uri diferite cu masca 255.255.0.0

-clasa C - 2^8-2 , maxim 254 adrese de host-uri diferite cu masca 255.255.255.0

Apartenența la una dintre clasele de adrese se poate stabili rapid prin încadrarea **primului octet** din cadrul adresei IP între unele limite. Cele cinci clase de adrese au următoarele limite pentru primul octet din adresă:

- între **1** și **126** pentru **clasa A**;
- între **128** și **191** pentru **clasa B**;
- între **192** și **223** pentru **clasa C**;
- între **224** și **239** pentru **clasa D**;
- între **240** și **247** pentru **clasa E**;

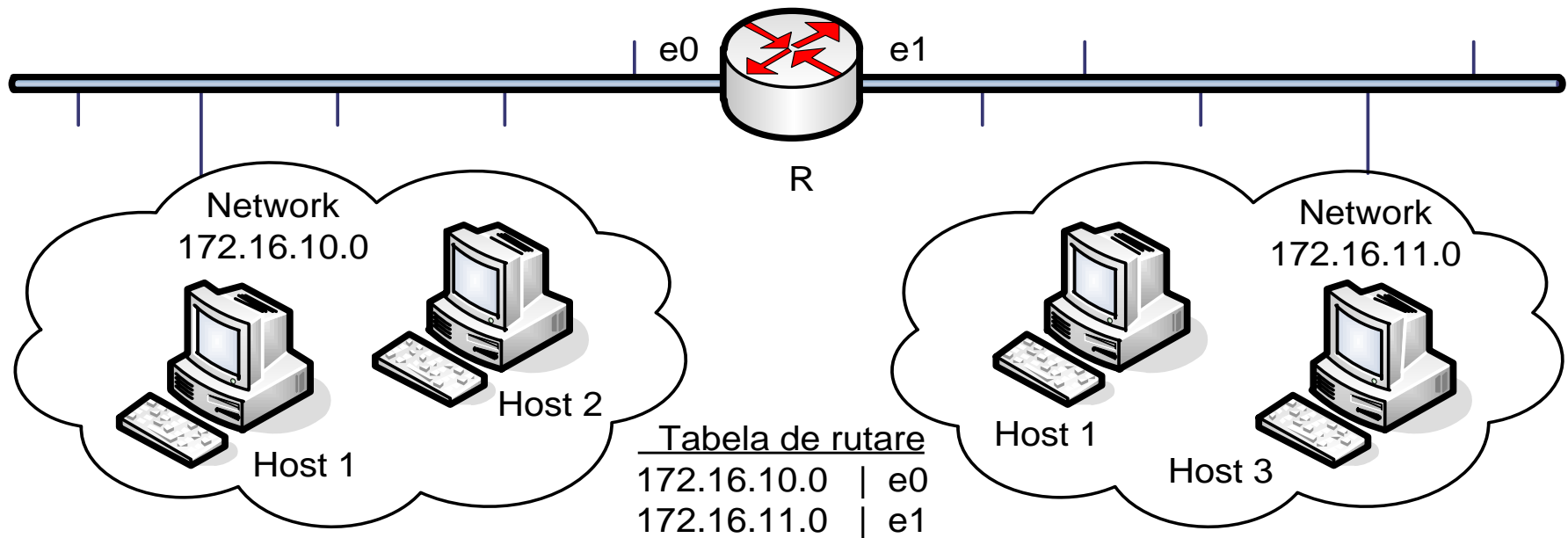
Adresa 127.0.0.1 este cunoscută ca și **adresă loopback**.

Orice dată care este trimisă la această adresă loopback de la un computer va fi returnată direct la acel computer.

Pentru fiecare clasă de adrese IP sunt stabilite domenii de adrese IP, numite adrese IP private, care nu sunt rutabile și sunt destinate pentru construirea rețelelor locale.

Fie ruterul R, care interconectează rețelele 172.16.10.0 și 172.16.11.0.

Două noduri se consideră în același rețea, dacă au același identificador de rețea. Identificatorul de nod este unic într-o rețea.



Masca implicită pentru o adresă IP de clasa B este 255.255.0.0. Acesta implică faptul că cele două subrețele se află de fapt în aceeași rețea 172.16.0.0. Deci, trebuie să definim explicit masca 255.255.255.0, pentru ca ruterul R să poată distinge subrețeaua 172.16.10.0 de subrețeaua 172.16.11.0.

Adrese IP private

Clasa	Spatiul de adrese	
A	10.0.0.0/8	10.0.0.0 - 10.255.255.255
B	172.16.0.0/12	172.16.0.0 - 172.31.255.255
C	192.168.0.0/16	192.168.0.0 - 192.168.255.255

- Aceste adrese IP private nu sunt unice la nivel global, nu sunt definite la nici unul dintre ruterii externi.
- Ruterii din cadrul domeniului unei organizații care folosesc adrese private vor limita referințele la adresele private numai la nivelul unor legături interne. De asemenea, acestea nu vor anunța în exterior rute către adrese IP private și nici nu vor redirecta datagrame IP conținând adrese IP private către ruterii externi.
- Sistemele care au doar o adresă IP privată nu vor avea acces direct, prin intermediul nivelului IP, la Internet, ci numai prin intermediul unor *dispozitive de nivel aplicație* (*application gateways*) care rulează un serviciu de *translatarea adreselor de rețea* NAT (*Network Address Translation*).

Adrese IP broadcast

O **adresă IP broadcast** are toți biții din cadrul câmpului pentru **identificatorul de host** egali cu 1. Ruterele nu permit trecerea acestor pachete broadcast, deci segmentează domeniile broadcast.

Adresa IP:	192.168.104.20
Mask:	255.255.255.0
Adresa Broadcast:	192.168.104. 1111111 _b 192.168.104. 255

Adrese de rețea

Pentru a calcula adresa de rețea se face operația AND logic între mască și adresa IP.

Adresa IP:	192.168.104.20	AND
Mask:	<u>255.255.255.0</u>	
Adresa de rețea:	192.168.104. 0	

Deci, **adresa de rețea** are toți biții din cadrul câmpului pentru **identificatorul de host** egali cu zero.

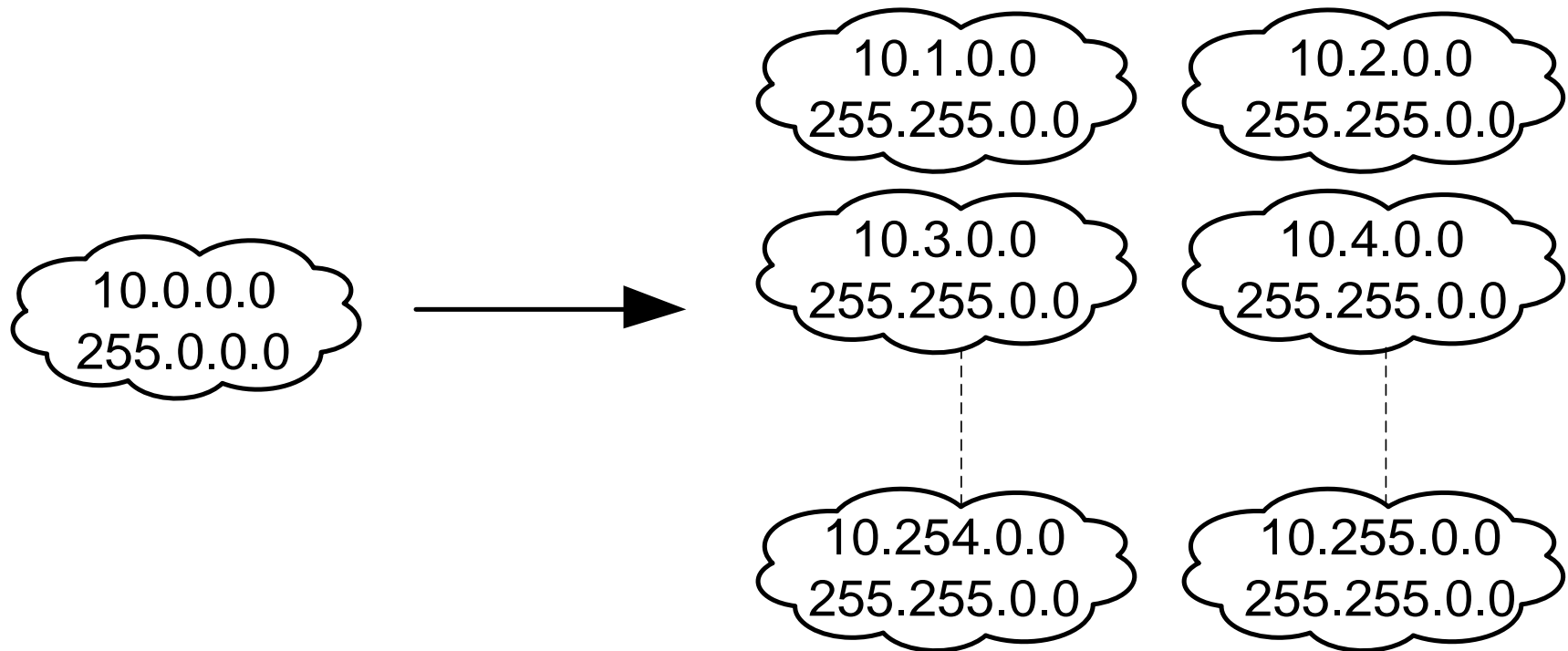
Calculul adresei de rețea

IP AND MASK = SUBNET ADDR

		Net ←	→ Host	
172. 16. 2.120 AND		10101100.00010000.00000010.	01111000	AND
255.255.255. 0		<u>11111111.11111111.11111111.</u>	00000000	
<u>172. 16. 2. 0</u>		<u>10101100.00010000.00000010.</u>	<u>00000000</u>	

		Net ←	→ Host	
172. 16. 83.120 AND		10101100.00010000.01010011.	01111000	AND
255.255.248.0		<u>11111111.11111111.11111</u>	000.00000000	
<u>172. 16. 80.0</u>		<u>10101100.00010000.01010000.</u>	<u>00000000</u>	

Segmentarea rețelei 10.0.0.0 cu masca 255.0.0.0 în 255 de subrețele cu masca 255.255.0.0



Segmentarea în subrețele a unei rețele de clasă B

10001101 . 01010101 . 00000000 . 00000000 = 141.85.0.0 (adresa rețelei de clasă B)
11111111 . 11111111 . 00000000 . 00000000 = 255.255.0.0 (masca rețelei de clasă B)

10001101 . 01010101 . 10100000 . 00000000 = 141.85.160.0 (adresa unei subrețele)
11111111 . 11111111 . 11110000 . 00000000 = 255.255.240.0 (masca subrețelor)

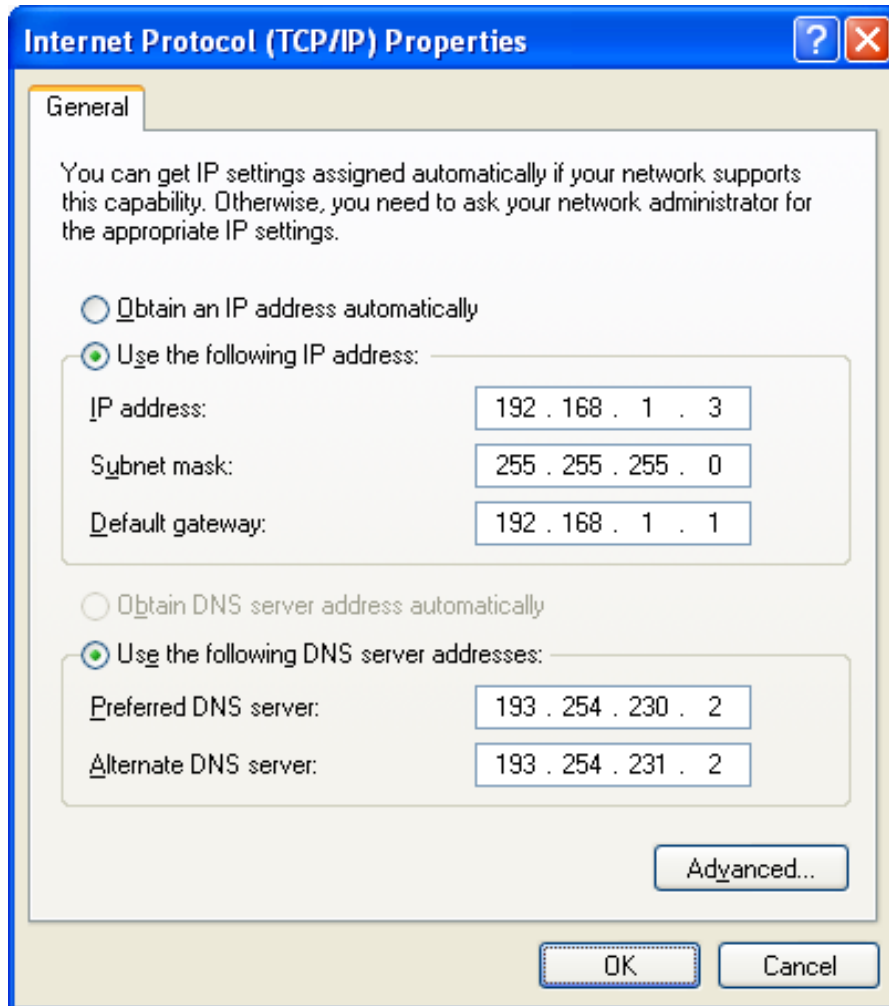
10001101 . 01010101 . 10101111 . 11111111 = 141.85.175.255 (adresa de difuzare în subrețea)
10001101 . 01010101 . 10100101 . 01011010 = 141.85.165.90 (adresa unui sistem din subrețea)

S-au obținut $2^4 = 16$ subrețele, fiecare având un număr maxim de $2^{12} - 2 = 4094$ sisteme.

4.4. Asignarea adreselor IP

- **Adresarea statică**
 - fiecare sistem trebuie să fie configurat cu o adresă IP, mască de subrețea, gateway IP, server DNS.
- **Adresarea dinamică**
 - nodurile de rețea utilizează una din cele 3 protocoale pentru asignarea adreselor IP: RARP, BOOTP și **DHCP**.

Adresare statică



Pentru configurarea adresei IP se accesează *Control Panel->Network Connections-> Properties*, pe sistemele de operare Windows, pentru interfața care se configurează. La proprietățile item-ului *Internet Protocol(TCP/IP)* se specifică adresa IP de 4 octeți, masca 255.255.255.0, default gateway și serverele DNS (Preferred și Alternate DNS Server).

Adresare dinamică

Internet Protocol (TCP/IP) Properties

General Alternate Configuration

You can get IP settings assigned automatically if your network supports this capability. Otherwise, you need to ask your network administrator for the appropriate IP settings.

☒ Obtain an IP address automatically

☐ Use the following IP address:

IP address:

Subnet mask:

Default gateway:

☒ Obtain DNS server address automatically

☐ Use the following DNS server addresses:

Preferred DNS server:

Alternate DNS server:

Advanced...

OK Cancel

Internet Protocol (TCP/IP) Properties

General Alternate Configuration

If this computer is used on more than one network, enter the alternate IP settings below.

☐ Automatic private IP address

☒ User configured

IP address:

Subnet mask:

Default gateway:

Preferred DNS server:

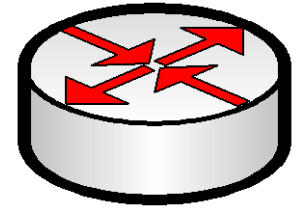
Alternate DNS server:

Preferred WINS server:

Alternate WINS server:

OK Cancel

4.5. Rutere

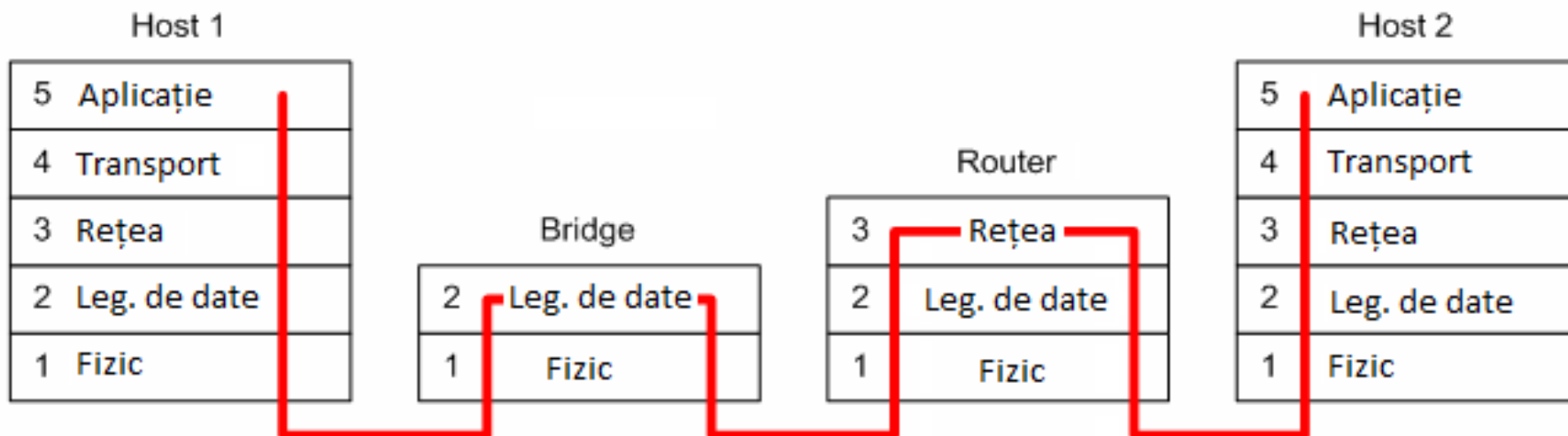


Ruterele operează la nivelul rețea al modelului OSI. Principala funcție a unui router este **comutarea pachetelor**. Routerul face următoarele acțiuni:

- examinarea pachetului recepționat, determinarea tipului acestuia precum și a adresei de destinație;
- determinarea următorului nod (next-hop) și a interfeței (portului) pe care urmează să fie transmis pachetul. Această determinare se face pe baza unei **tabele de routare**, stocată în memoria routerului și care este mult mai complexă decât tabela utilizată de un switch/bridge;
- determinarea adresei de nivel 2 a următorului nod;
- transmiterea pachetului pe interfața determinată anterior.

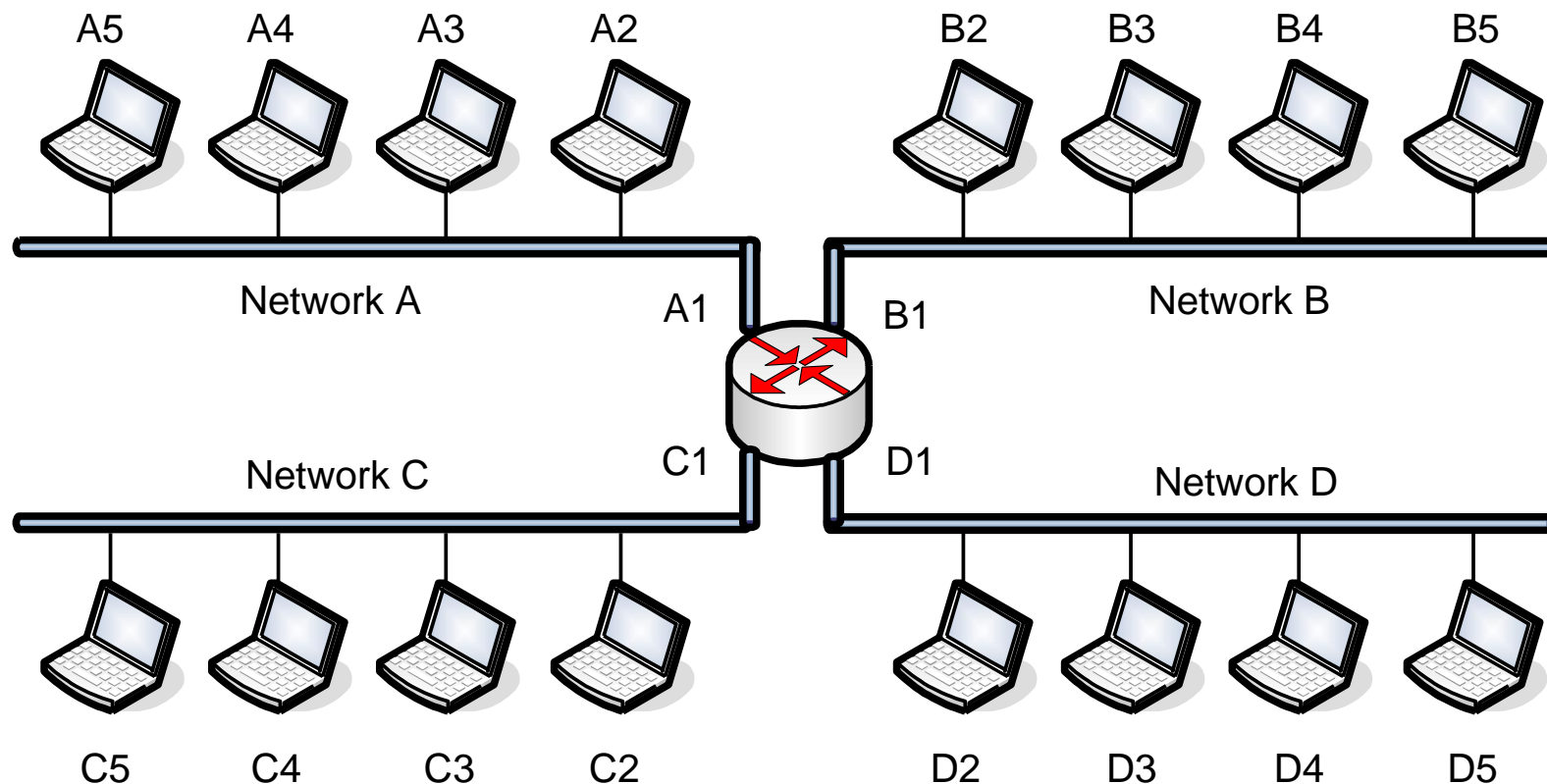
Ruter vs. Switch/bridge

	Ruter	Switch
OSI	nivel retea	nivel legatura de date
Latenta	mare	mica
Adresa	IP	MAC
domenii de coliziune	limiteaza	limiteaza
domenii de broadcast	limiteaza	extinde
securitate	ridicata	scazuta



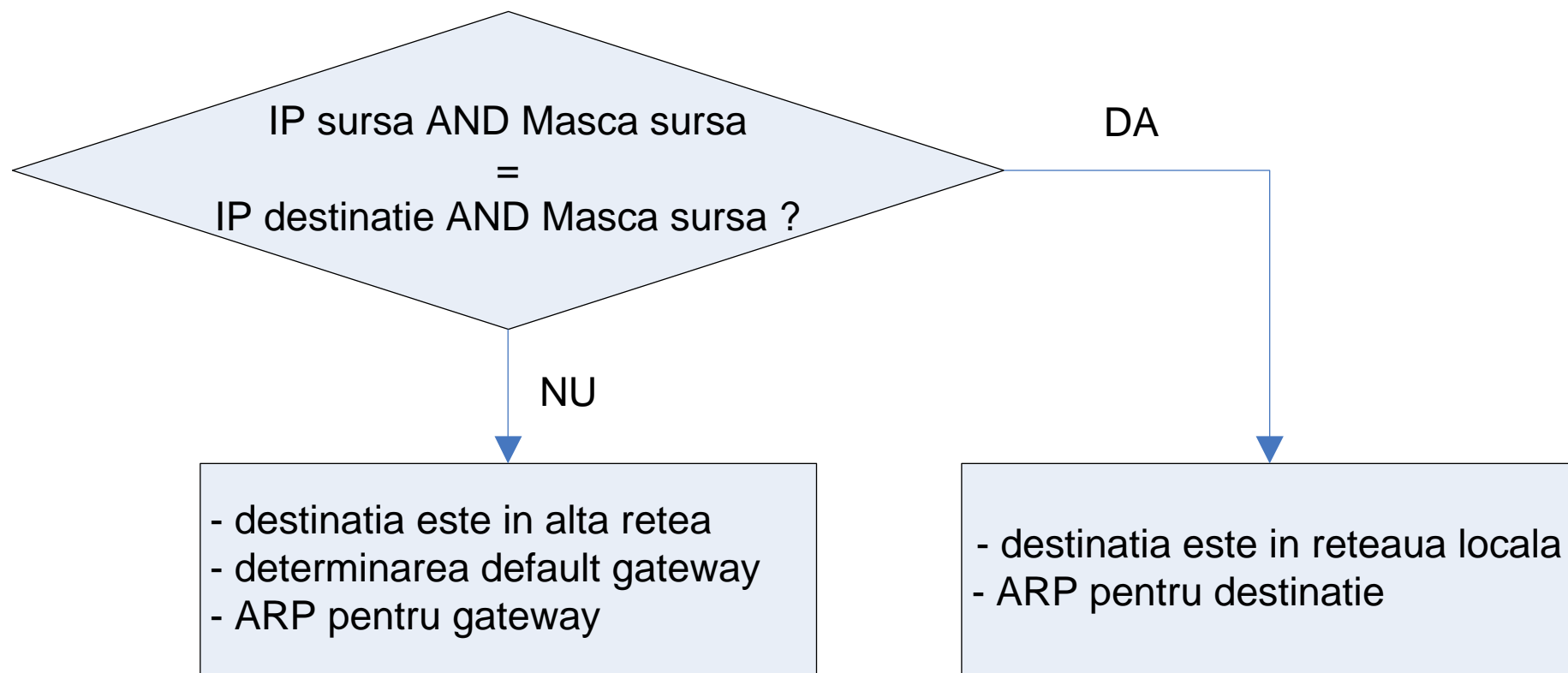
Fluxul de date de la Host1 la Host2, prin Bridge și Router

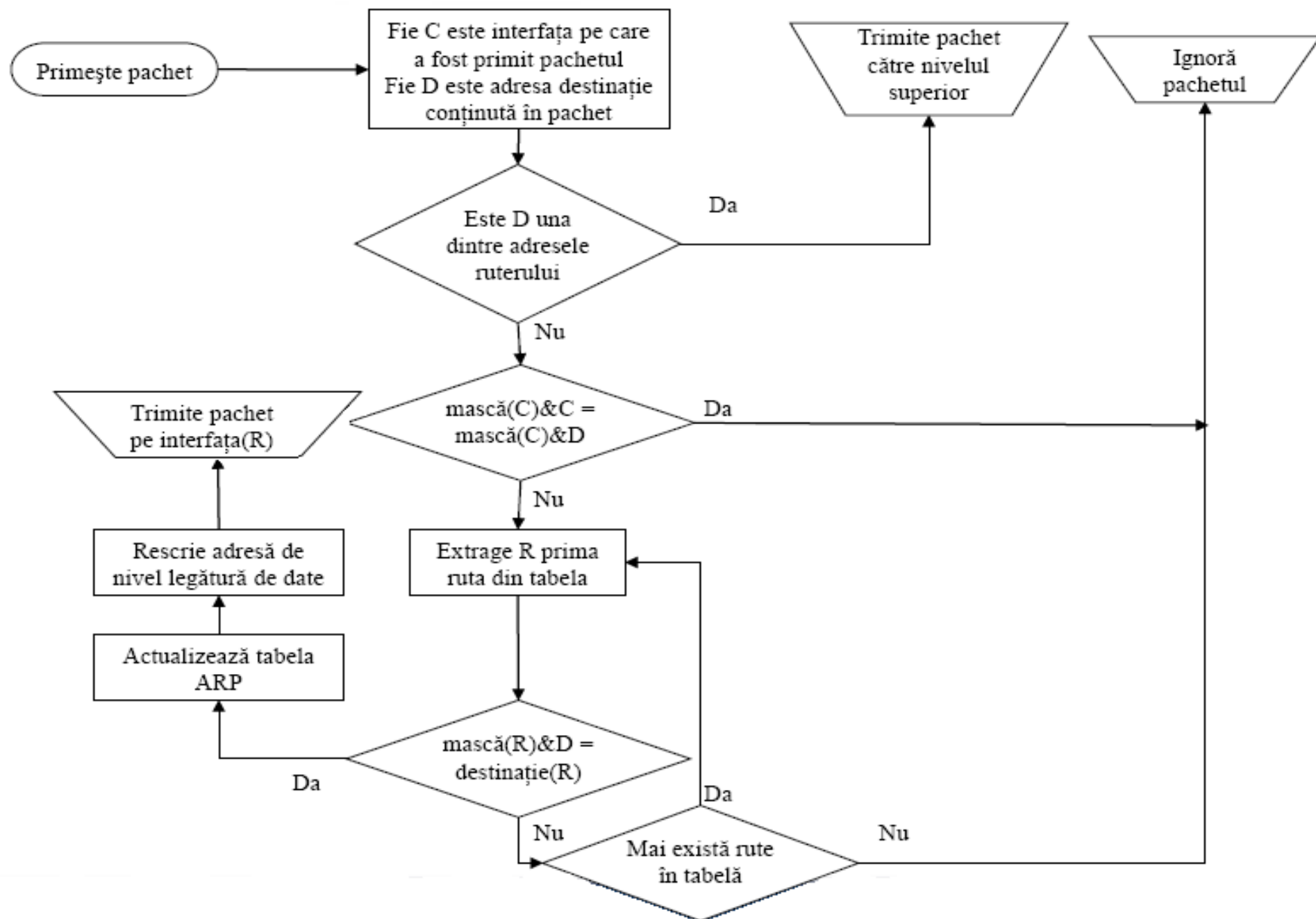
Exemplu de funcționare pentru un ruter



- Configurarea ruterului – asignarea de adrese IP pentru interfețe A1, B1, C1 și D1
- Construirea tabelului de rutare
- Sursa A2 și Destinatar A3
- Sursa A2 și Destinatar B2

Algoritmul de determinare a rutei





4.6. Tabele de rutare

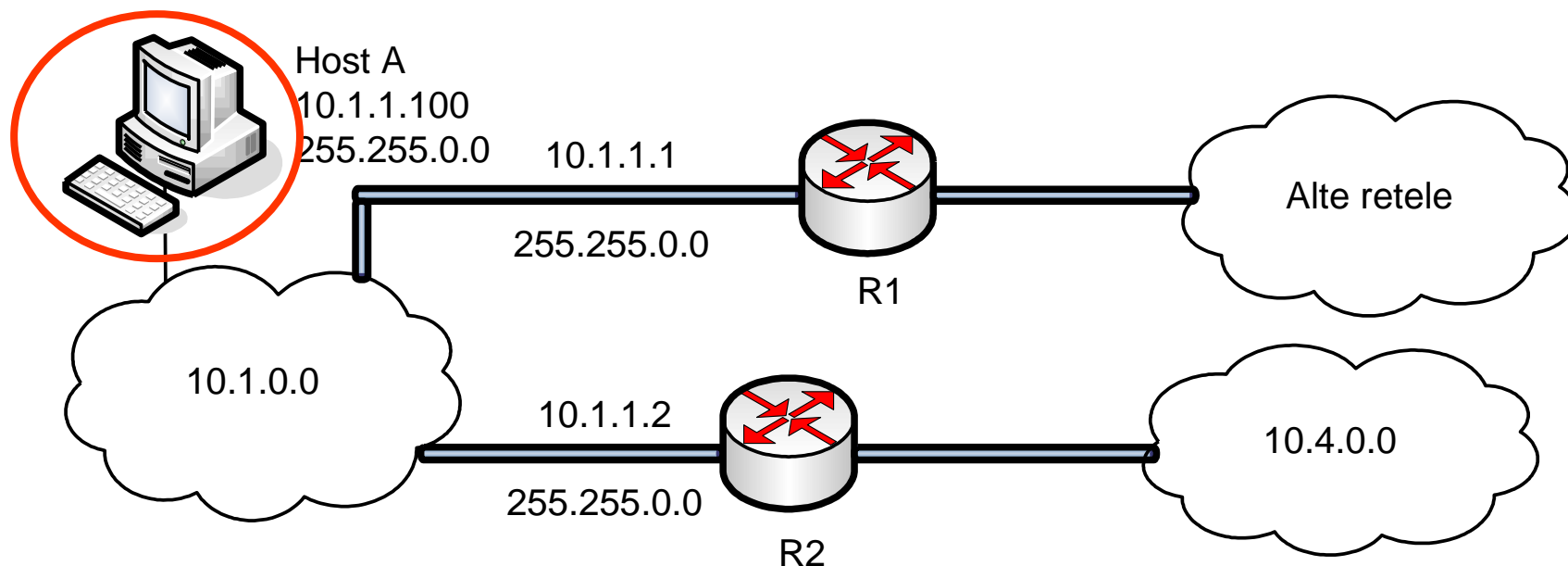
Ruterul folosește tabela de rutare pentru dirijarea pachetelor către destinație.

O intrare în tabela de rutare se mai numește și rută. O rută este o regulă ce cuprinde o parte de identificare (adresa rețelei destinație și masca) și una de acțiune (adresa următorului ruter și interfața de ieșire din ruter).

Fiecare intrare în tabela de rutare conține:

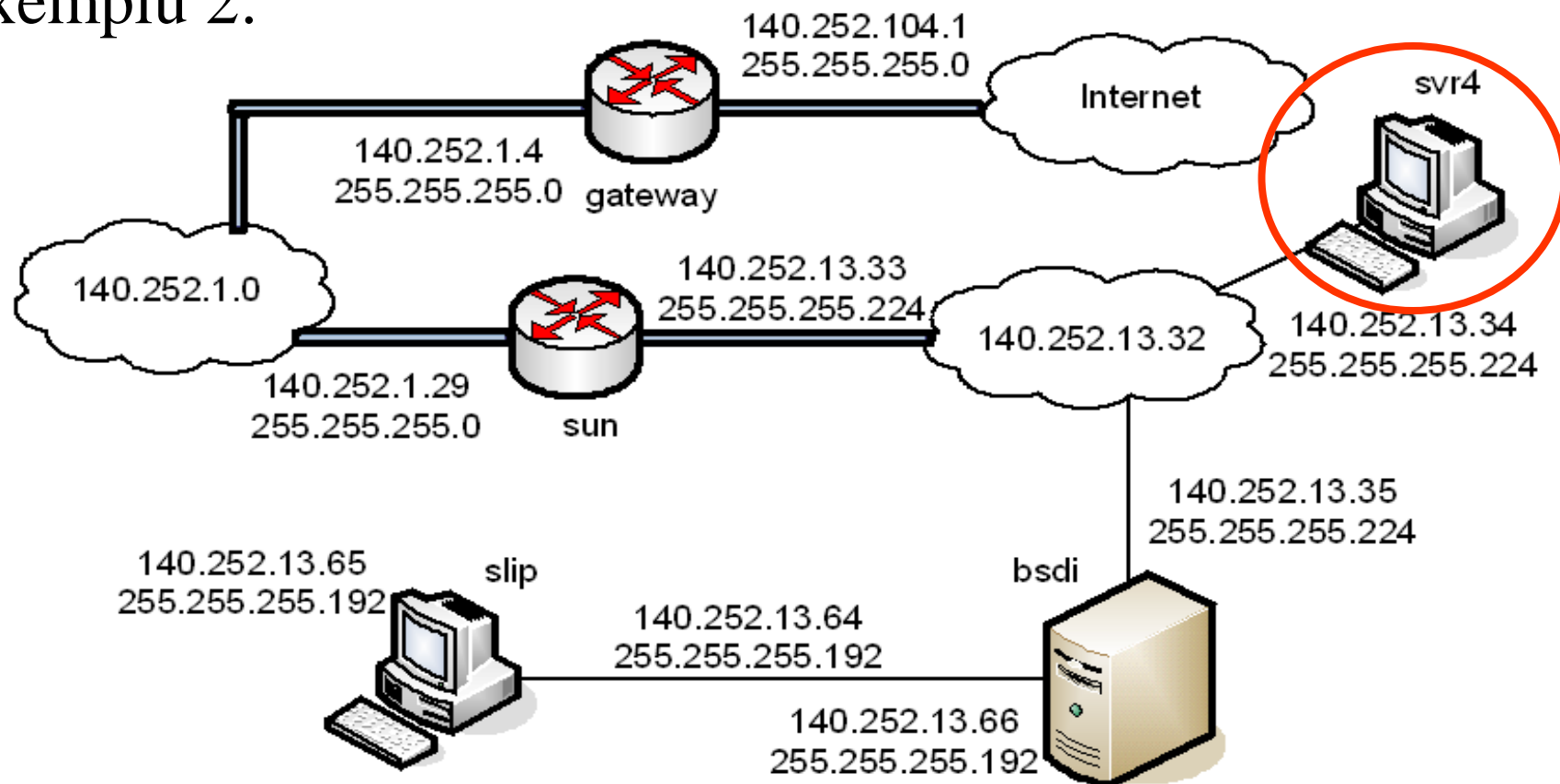
- **Destination IP address** – adresa IP al unui singur nod sau adresa IP a unei rețele
- **Gateway IP address** (next-hop router) – este adresa primului ruter la care se trimit datagramele care sunt destinate sistemelor care se află într-o altă rețea.
- **Flags**: **U** – ruta este activă;
G – ruta este la un router (gateway). Dacă nu este setat acest flag atunci este o conexiune directă;
H – ruta este la un host. Dacă nu este setat atunci ruta este la o subrețea.
- **Interface** - specifică interfața spre care sunt redirecționate pachetele.

Exemplu 1:



> netstat -rn			
Destination	Gateway	Flags	Interface
10.1.0.0	10.1.1.100	UH	eth0
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	lo
10.4.0.0	10.1.1.2	UGH	eth0
default	10.1.1.1	UG	eth0

Exemplu 2:



svr4 > netstat -rn			
Destination	Gateway	Flags	Interface
140.252.13.65	140.252.13.35	UGH	emd0
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	lo0
default	140.252.13.33	UG	emd0
140.252.13.32	140.252.13.34	U	emd0

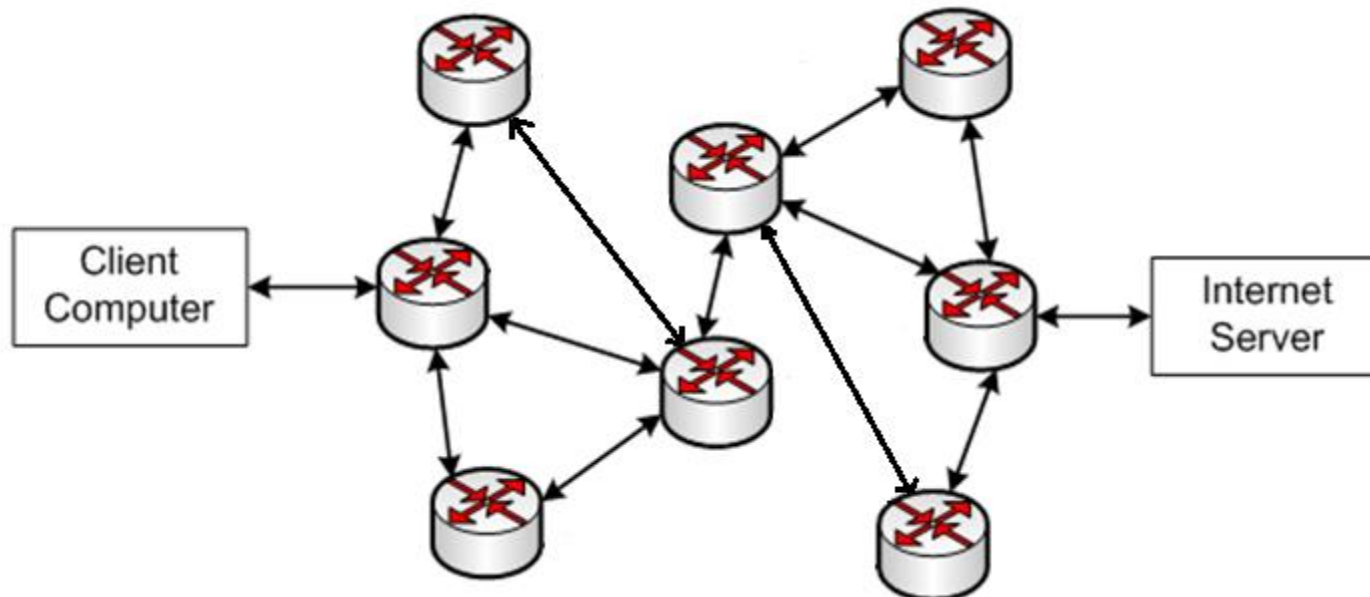
Exercițiu: să se întocmească tabela de rutare pentru ruterul **sun**.

Rețeaua Internet

Rețeaua Internet este alcătuită din nenumărate rutere interconectate între ele. Aceste rutere fac posibilă transmiterea și recepționarea pachetelor într-un timp cât mai scurt.

Sistemele conectate la o rețea:

- AS – Autonomous system – o parte dintr-o rețea unde se aplică aceleași reguli
- ES – End System – sisteme care nu pot ruta pachete
- IS – Intermediate Systems – sisteme care pot ruta pachete în subrețele
 - Intradomain IS
 - Interdomain IS



4.7. Protocoale de rutare

Protocoalele de rutare determină regulile prin care ruterele schimbă informații despre accesibilitatea rețelelor. În funcție de informațiile furnizate de aceste protocoale se construiește tabela de rutare, iar pe baza tabelii de rutare este determinat traseul pe care trebuie trimis fiecare pachet.

Clase de protocoale de rutare

- Protocoale cu rutare internă (Interior Routing Protocol)
 - RIP – Routing Information Protocol
 - IGRP – Interior Gateway Routing Protocol
 - EIGRP – Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
 - OSPF – Open Shortest Path First
 - IS-IS – Intermediate System to Intermediate System
- Protocoale cu rutare externă (Exterior Routing Protocols - ERP)
 - EGP – Exterior Gateway Protocol
 - BGP – Border Gateway Protocol – utilizat între sistemele autonome

Clasificare după mesajele de update dacă includ sau nu masca rețelei:

- nu includ masca - protocoale *classfull* (RIPv1, IGRP)
- includ masca - protocoale *classless* (RIPv2, EIGRP, OSPF, IS-IS)

Protocoale de rutare

Funcții ale protocoalelor de rutare dinamică:

- schimb de informații dinamic între rutere
- actualizare automată a tabelelor de rutare la modificarea rețelei
- determină cea mai bună cale spre destinație.

Scopul protocoalelor de rutare dinamică este să:

- descopere rețele de la distanță
- mențină tabele de rutare la zi
- aleagă cea mai bună cale spre rețelele destinație
- abilitatea de a găsi o cale alternativă dacă cea primară devine indisponibilă

Clasificarea protocoalelor de rutare:

-protocoale de tip link state

- au o imagine completă asupra topologiei rețelei
- actualizări neperiodice (la inițializare și la schimbări în topologie)
- folosesc Algoritmul lui Dijkstra

-protocoale de tip vector distanță (distance vector)

- au o imagine parțială asupra topologiei rețelei
- actualizări periodice (la 30 de sec), se trimite toată tabela de rutare
- folosesc Algoritmul Bellman Ford

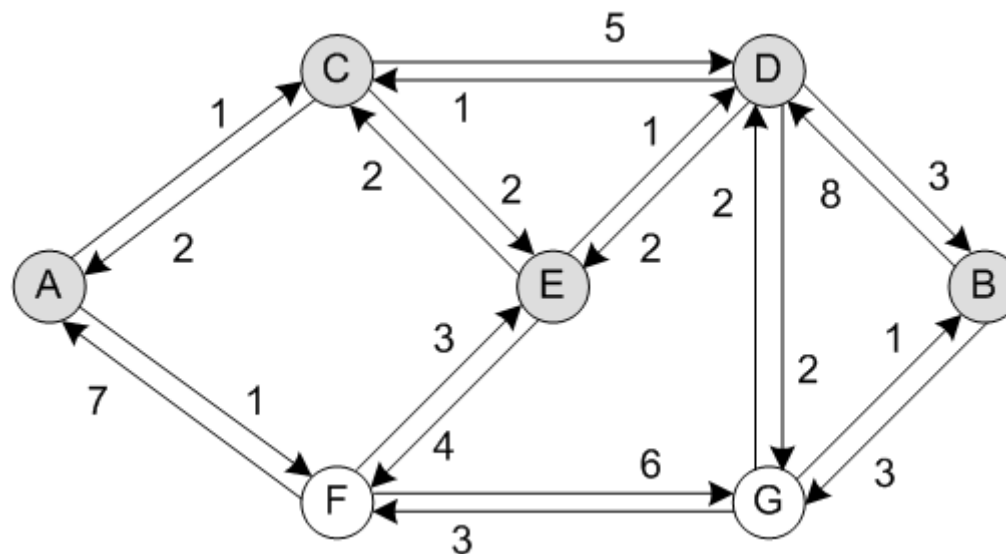
4.8. Algoritmul lui Dijkstra

Obiectivul acestui algoritm este de a găsi costul minim de la un anumit nod sursă la toate nodurile. Algoritmul determină calea cu costul minim de la nodul sursă la nodul destinație optimizând costul în iterații multiple.

Descrierea algoritmului Dijkstra:

1. definim:
 s = nodul sursă iar k = nodurile vizitate
 α_{ij} = costul legăturii de la nodul i la nodul j
 β_{ij} = costul minim al legăturii de la nodul i la j
2. inițializarea:
 $k = \{s\}$
 $\beta_{si} = \alpha_{si}$ pentru $j \neq s$
3. nodul următor:
caută $x \notin k$ pentru care $\beta_{sx} = \min \beta_{sj}$ cu $j \notin k$ și adaugă x la k .
4. legătura cu cost minim:
 $\beta_{si} = \min(\beta_{sj}, \beta_{sx} + \alpha_{xi})$ pentru $j \notin k$

nodul sursă = A, nodul destinație = B



k	β_{AC}	β_{AF}	β_{AE}	β_{AD}	β_{AG}	β_{AB}
{A}	AC(1)	AF(1)	x	x	x	x
{A,C}	AC(1)	AF(1)	ACE(3)	ACD(6)	x	x
{A,C,F}	AC(1)	AF(1)	ACE(3)	ACD(6)	AFG(7)	x
{A,C,F,E}	AC(1)	AF(1)	ACE(3)	ACED(4)	AFG(7)	x
{A,C,F,E,D}	AC(1)	AF(1)	ACE(3)	ACED(4)	ACEDG(6)	ACEDB(7)
{A,C,F,E,D,G}	AC(1)	AF(1)	ACE(3)	ACED(4)	ACEDG(6)	ACEDB(7)
{A,C,F,E,D,G,B}	AC(1)	AF(1)	ACE(3)	ACED(4)	ACEDG(6)	ACEDB(7)

Algoritmul Bellman-Ford

Algoritmul Bellman-Ford determină legătura cu costul minim de la nodul sursă la destinație parcurgând nu mai mult de l legături.

Descrierea algoritmului Bellman-Ford:

1. Definiție:

s = nodul sursă

α_{ij} = costul legăturii de la nodul sursă i la nodul j

$\beta_{ij}(\ell)$ = costul căii minime de la nodul i la j cu mai puțin de ℓ legături.

2. Inițializare:

$\beta_{si}(0)$	=	x , pentru toate nodurile $j \notin s$
$\beta_{ss}(\ell)$	=	0 , pentru toate legăturile ℓ

3. Legătura cu cost minim:

pentru orice nod $j \neq s$ cu nodul predecesor i :

$$\beta_{si}(\ell + 1) = \min_i [\beta_{si}(\ell) + \alpha_{ij}]$$

nodul sursă = A, nodul destinație = B

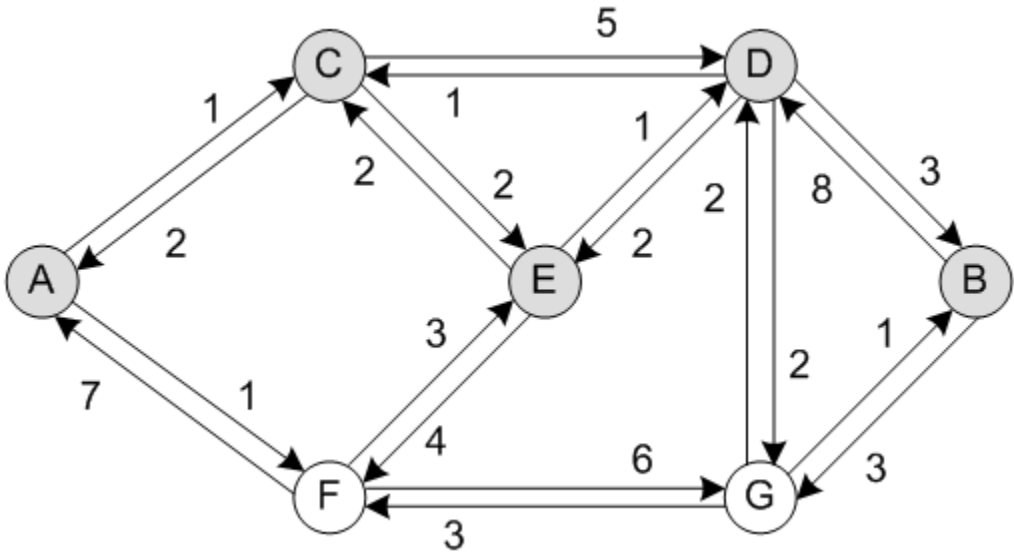
$l=0$: se determină costurile căilor minime de la nodul A de lungime 0 se inițializează cu x.

$l=1$: se determină costurile căilor minime de la nodul A la vecinii săi de lungime $l=1$ (C și F). $AC=1$ și $AF=1$. Se alege un nod dintre C și F (căile au lungimi egale).

$l=2$: se determină costurile căilor minime de la nodul A la vecinii săi de lungime $l=2$ (D, E și G). $ACD=6$, $ACE=3$ și $AFG=7$.

$l=3$: se determină costurile căilor minime de la nodul A la vecinii săi de lungime $l=3$ (B și D). $ACED=4$ și $ACDB=9$.

$l=4$: se determină costurile căilor minime de la nodul A la vecinii săi de lungime $l=4$ (B și G). $ACEDG=6$ și $ACEDB=7$.



Deci, drumul cu costul minim de la nodul A la nodul B este $ACEDB=7$.

ℓ	β_{AC}	β_{AF}	β_{AE}	β_{AD}	β_{AG}	β_{AB}
0	x	x	x	x	x	x
1	AC(1)	AF(1)	x	x	x	x
2	AC(1)	AF(1)	ACE(3)	ACD(6)	AFG(7)	x
3	AC(1)	AF(1)	ACE(3)	ACED(4)	AFG(7)	ACDB(9)
4	AC(1)	AF(1)	ACE(3)	ACED(4)	ACEDG(6)	ACEDB(7)

- Metrica - O valoare utilizată de un protocol de rutare pentru a determina care rută este mai bună decât alta.
- Metrice utilizate în protocoale de rutare pentru IP:
 - Bandwidth (OSPF, IGRP)
 - Cost (OSPF)
 - Delay (IGRP)
 - Hop count (RIP)
 - Load (IGRP)
 - Reliability (IGRP)

Bibliografie

- A. Tanenbaum, "*Rețele de calculatoare (ediția a patra)*", Byblos, Tg.Mures, 2003
- Behrouz A. Forouzan, "*TCP/IP Protocol Suite*", Mc Graw-Hill Higher Education, 2007
- Adrian Munteanu, Valerica Greavu Serban, "*Rețele Locale de Calculatoare - Proiectare și Administrare*", Polirom, 2003