

IP - Forgalomirányítás

Forgalomirányítási alapfogalmak

Forgalomirányítás (routing):

- Csomagok (IP datagramok) továbbítási irányának meghatározásával kapcsolatos döntések meghozatala.

Forgalomirányítási táblázat (routing table):

- A forgalomirányításhoz szükséges információkat tartalmazó táblázat. Tipikus (legfontosabb) mezők:

Célhálózat	Netmask	Kimenő int.	Következő hop	Metrika
------------	---------	-------------	---------------	---------

Forgalomirányítási alapfogalmak

Forgalomirányított protokoll (routed protocol):

- Olyan hálózati réteghez kötődő általános adatszállító protokoll, melyet a forgalomirányító (router) irányítani képes (pl. IP, IPX).

Forgalomirányítási protokoll (routing protocol):

- A forgalomirányítási táblázat(ok) felépítéséhez szükséges információk továbbítását (routerek közötti cseréjét) leíró protokoll (pl. RIP, OSPF, BGP).

Forgalomirányítási alapfogalmak

Autonóm rendszer (AS):

- Hálózatok forgalomirányítási adminisztrációs egysége, amelyben egy közös forgalomirányítási stratégia (routing protocol) érvényesül.

Metrika:

- Egy adott forgalomirányítás eredményeként előálló útvonal minőségének mérési módja, alapvetően két (egymásba transzformálható) kategória:
 - Távolság alapú (költség alapú) metrika.
 - Jóság alapú metrika.

Forgalomirányítók (alapvető) működése

- 1./ A router az input interfészen érkező csomagot fogadja.
- 2./ A router a csomag célcímét illeszti a routing táblázat soraira.
 - Ha a célcím több sorra illeszkedik, akkor a leghosszabb prefixű sort tekintjük illeszkedőnek.
- 3./ Ha nem létezik illeszkedő sor, akkor a cél elérhetetlen, a csomag nem továbbítható.
 - A csomagot a router eldobja és ICMP hibajelzést küld a feladónak.
- 4./ Ha létezik illeszkedő sor, akkor a csomagot az ebben szereplő kimeneti interfészen továbbítjuk (adatkapcsolati rétegbeli beágyazással) a következő hop-ként megadott szomszédhoz, ill. a célállomáshoz, ha már nincs több hop.

Forgalomirányítás – IP cím illesztés

- 1./ A routing tábla sorait prefix hossz szerint csökkenő sorrendbe rendezzük. $N=1$.
 - Ezzel biztosítjuk, hogy több illeszkedő sor esetén a leghosszabb prefixűt fogjuk eredményként kapni.
- 2./ Ha nem létezik a táblázatban az N . sor, akkor nincs illeszkedő sor és vége.
- 3./ A csomag célcíme és az N . sor hálózati maszkja között bitenkénti AND műveletet hajtunk végre.
- 4./ Ha a bitenkénti AND művelet eredménye megegyezik az N . sor célhálózat értékével, akkor a cím az N . sorra illeszkedik és vége.
- 5./ $N=N+1$, és folytassuk a 2. pontnál.

Forgalomirányítási konfigurációk osztályozása

Minimális routing:

- Teljesen izolált (router nélküli) hálózati konfiguráció.

Statikus routing:

- A forgalomirányítási táblázatot a rendszeradminisztrátor tartja karban.

Dinamikus routing:

- A forgalomirányítási táblázat(ok) valamilyen routing protocol segítségével kerülnek karbantartásra.
 - Belső forgalomirányítási protokollok (IGP - Pl. RIP, OSPF).
 - » Legfőbb alapelv a „legjobb útvonal” meghatározása ún. távolságvektor alapú vagy link állapot alapú módszerrel.
 - Külső forgalomirányítási protokollok (EGP - Pl. EGP, BGP).
 - » Nem feltétlenül a legjobb útvonal meghatározása a cél (politika alapú forgalomirányítás - BGP).

Távolságvektor alapú forgalomirányítás (Distance Vector Routing)

Távolságvektor alapú forgalomirányítás

Működési alapelv:

- A routerek minden elérhető célra (gép vagy hálózat) nyilvántartják, hogy a legjobb úton milyen irányban milyen távolsággal érhető el az adott cél (távolságvektor).
- A forgalomirányítók ezen információkat meghatározott időközönként kicserélik egymással.
- Az új információk birtokában a routerek ellenőrzik, hogy szükséges-e változás valamelyik eddig ismert legjobb úttal kapcsolatban.

Távolságvektor - matematikai háttér

Definíció: $d(i,j)$ jelölje az i és j entitások közvetlen elérési költségét (közvetlen távolságát):

$$d(i, j) = \begin{cases} \text{a hálózat használati költsége, ha } i \text{ és } j \text{ egy hálózatban vannak,} \\ \infty, \text{ egyébként.} \end{cases}$$

Definíció: $D(i,j)$ jelölje az i és j entitások legrövidebb úton történő elérésének távolságát.

$$D(i, j) = \begin{cases} 0, \text{ ha } i = j, \\ \min_k \{d(i, k) + D(k, j)\}, \text{ egyébként.} \end{cases} \quad (1)$$

- A minimumot elegendő a szomszédos k entitásokra számítani.
- $D(i,j)$ számítási formulájának helyessége indukcióval bizonyítható.

Routing tábla felépítés (Bellman-Ford)

Kiindulási helyzet:

- Legyen $D(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{ha } i = j, \\ \infty, & \text{egyébként.} \end{cases}$
- Minden i entitás ismeri a $d(i, k)$ távolságot minden k szomszédjára vonatkozóan.

Működési algoritmus (tetszőleges $i \rightarrow j$ útra vonatkoztatva):

- 1./ Minden i entitás minden k szomszédjától megkapja a $D(k, j)$ értéket.
- 2./ Az i entitás minden k szomszédjára vonatkoztatva kiszámítja az (1) formulában szereplő minimum értéket az 1./ pontban kapott információ segítségével.
Ha az új minimum érték kisebb, mint az eddigi $D(i, j)$, akkor a j entitás i -ből aktuálisan az új minimumot szolgáltató k entitás felé érhető el a számított minimum értéket használva $D(i, j)$ -ként.
- 3./ Folytassuk az 1./ pontnál.

Az eljárás véges sok lépés után az optimális utat szolgáltatja.

Távolságvекtor - routing tábla problémák

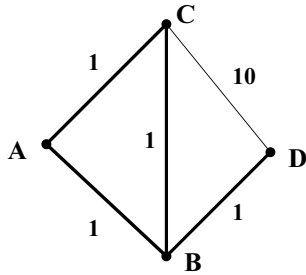
Túl kicsi kezdőérték probléma:

- Ha az optimális út „megsérül” nagyobb költségű (hosszabb) út nem léphet helyébe.
- Megoldás: Az optimális út irányából érkező nagyobb költség felülírja a (kisebb) költséget.

Végtelenig számlálás (Count to infinity) probléma:

- Az eljárás bizonyos esetekben igen lassan reagál a topológia változására.

Végtelenig számlálás - példa

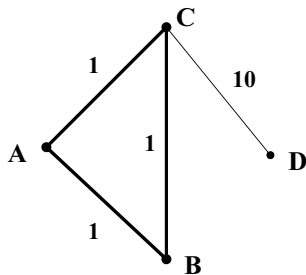


Tekintsük a „D”-be irányuló forgalomirányítást.

Kiinduló forgalomirányítási bejegyzések (optimális irányok D-be):

- A: B,2
- B: D,1
- C: B,2

Végtelenig számlálás - példa



Tekintsük a routing táblák alakulását a B-D link sérülése esetén:

A	B,2	C,3	C,4	C,5	...	C,10	C,11	C,11
B	---	C,3	C,4	C,5	...	C,10	C,11	C,11
C	B,2	A,3	A,4	A,5	...	A,10	D,10	D,10

Routing Information Protocol - RFC 1058

A Routing Information Protocol (RIP) jellemzői:

- Távolságvektor alapú IGP protokoll.
- Régi, de folyamatosan fejlesztik, javítják.
- Metrika: Hop-ok száma (16=végtelen távolság).
- Max. 15 router hosszúságú optimális útvonalak esetén használható.
- 30 másodpercenkénti routing információ küldés.
- „Triggerelt update” a végtelenig számlálás idejének csökkentésére.
- RIP V2 (RFC 1723) CIDR kompatibilis.

RIP Forgalmirányítási Táblázat

A RIP routing táblázatának legfontosabb elemei:

- A cél (gép vagy hálózat) IP száma.
- A célhoz vezető optimális út hossza.
- Az optimális út szerint következő router IP száma.
- A következő routerhez vezető interfész azonosítója.
- Időzítéssel kapcsolatos információk.
- Különböző jelzőbeállítások (Flag-ek).

Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)

- Cisco saját távolságvektor alapú routing protokollja.
- 90 sec-ként routing update.
- Sokcélú, flexibilis, skálázható.
- Metrika: összetett (öt változóból számított, súlyozható):
 - bandwidth
 - delay
 - load
 - reliability
 - MTU

Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)

Legfontosabb jellemzők:

- CIDR kompatibilis.
- A metrika alaphelyzetben „Bandwith”-re épül.
- Szomszéd felderítési mechanizmus (broadcast elkerülés).
- Végtelenig számlálás kezelése:
 - Split Horizon, Holddown Timer, Triggerelt update.
 - Potenciális helyettesítő útvonalak nyilvántartása.
- Update (nem teljes táblázat) küldés.
- Integrált routing (több irányított protokollra alkalmazható).

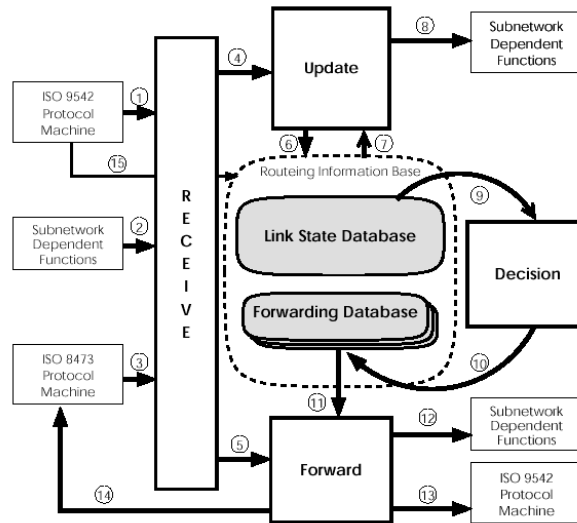
Link állapot alapú forgalomirányítás (Link State Routing)

Link állapot alapú forgalomirányítás

Link State Routing működési vázlat:

- 1./ Szomszédok felfedezése
- 2./ A szomszédok felé vezető út költségének (hosszának) mérése.
- 3./ Csomag készítés a mérési eredményekről.
- 4./ A készített csomag küldése a hálózati egység összes forgalomirányítójának.
- 5./ Minden router ismeri a hálózat topológiáját, s ki tudja számítani (pl. Dijkstra algoritmussal) az többi routerhez vezető optimális utat (feszítőfa, spanning tree).

Link állapot alapú routing – folyamatok (IS-IS)



Almási Béla – Debreceni Egyetem,
Informatikai Rendszerek és Hálózatok Tsz.

Számítógép-hálózatok – Hálózati réteg
V / 21

Legrövidebb út számítása (Dijkstra algoritmus)

```
#define MAXNODES 1024 /* maximum number of nodes */
#define INFINITY 100000000 /* larger than every maximum path */
int dist[MAXNODES][MAXNODES]; /* dist[i][j] is the distance from i to j */

void shortestpath(int n, 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: permanent, tentative */
    } state[MAXNODES];
    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 */
```

Almási Béla – Debreceni Egyetem,
Informatikai Rendszerek és Hálózatok Tsz.

Számítógép-hálózatok – Hálózati réteg
V / 22

Legrövidebb út számítása (Dijkstra algoritmus)

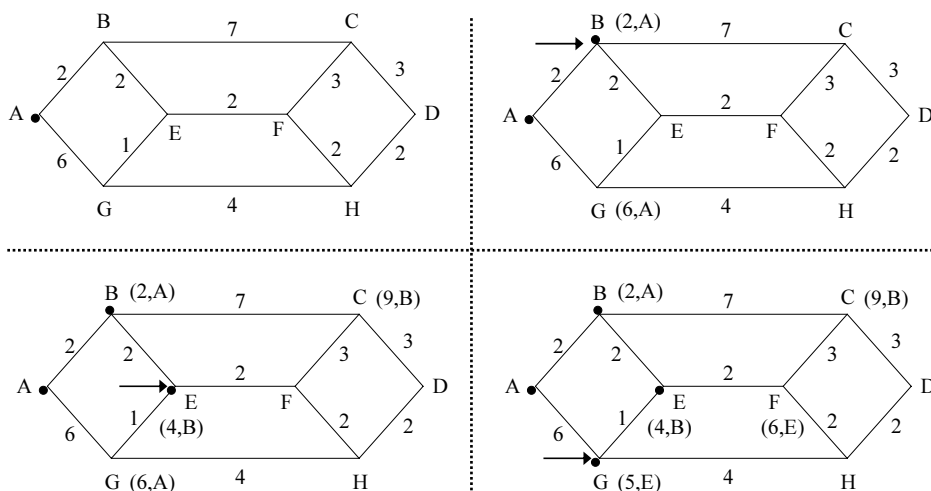
```

do {
    for (i = 0; i < n; i++)
        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);

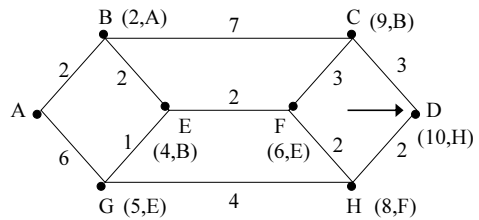
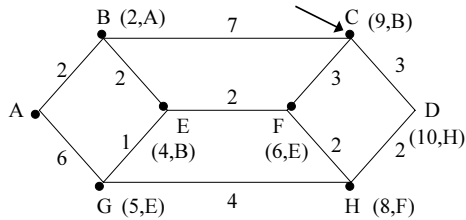
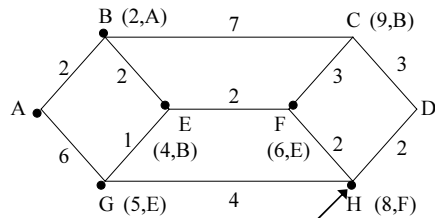
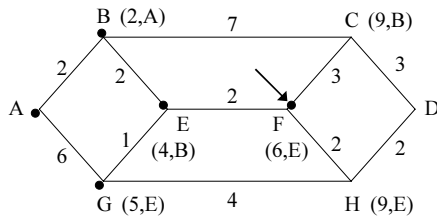
/****** Copy the path into the output array. *****/
i=0; k=s; do {path[i++] = k; k = state[k].predecessor; } while (k >= 0);
} /****** End of shortestpath *****/

```

Dijkstra algoritmus - példa



Dijkstra algoritmus - példa



Almási Béla – Debreceni Egyetem,
Informatikai Rendszerek és Hálózatok Tsz.

Számítógép-hálózatok – Hálózati réteg
V / 25

Open Shortest Path First - RFC 1131

Az Open Shortest Path First (OSPF) jellemzői:

- Link állapot alapú IGP protokoll.
- Új, 90'-es évektől alapértelmezettként javasolt.
- AS-nél kisebb hálózati egység, terület (area) használata.
- Forgalmirányítók (nem diszjunkt) osztályozása:
 - Területen belül működő forgalmirányítók.
 - Területek határán álló forgalmirányítók.
 - Gerinchálózaton (backbone) üzemelő forgalmirányítók.
 - AS határon működő forgalmirányítók.
- Egyenlő költségű többutas irányítás lehetősége.
- IP fejléc „Szolgáltatás típusa” mezőjének használata.
- Mai verzió: OSPF V2 (RFC 1583).

Almási Béla – Debreceni Egyetem,
Informatikai Rendszerek és Hálózatok Tsz.

Számítógép-hálózatok – Hálózati réteg
V / 26

OSPF területek

A döntési folyamat (Dijkstra algoritmus) alapja a terület (area).

A területek „csillag alakzatot” formáznak, középpontjában a területeket összekötő speciális területtel (backbone).

A terület határ router-ek feladata összetett:

- Minden területhez (külön) döntési folyamat.
- A területekből tanult információk összegzése.
- Az összegzett információk bevitele a többi területbe.

Területek közötti forgalomirányítás (inter area routing):

- Routing a forrás területben a határ router-ig.
- Routing a backbone-on a cél terület határ router-ig.
- Routing a cél területben a cél hálózatiig.

OSPF – speciális fogalmak

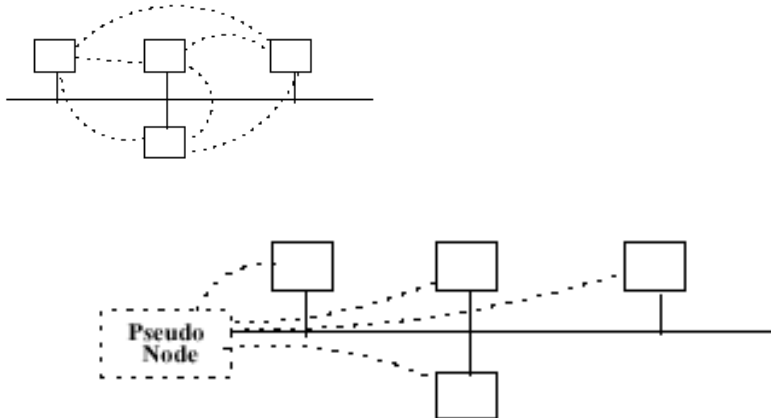
Designated Router

- Olyan router, mely egy LAN nevében propagál link-állapot (LSA) információkat.

Pszedonode

- Egy üzenetszórásos alhálózatban maga az alhálózat egy ál csomópontnak (pszedonode) tekinthető. A designated IS a pszedonode nevében propagálja az LS információkat. (A szükséges információcsere száma n^2 nagyságrendről $2n$ nagyságrendre csökkenthető)

OSPF speciális fogalmak



OSPF adatok nyilvántartása

Az OSPF router táblázatának legfontosabb elemei:

- Cél típusa (hálózat, terület határ router, AS határ router).
- Cél azonosító (IP szám).
- Szolgáltatás típusa.
- A célhoz vezető út/utak megadása:
 - Út típusa (itra-area, inter-area, AS-external).
 - Út költsége.
 - Következő forgalomirányító (IP szám, elérés interfésze).