

USPOREDBA I PRIMJENA „DISTANCE VECTOR“ I „LINK STATE“ MREŽNIH PROTOKOLA

COMPARISON AND APPLICATION OF “DISTANCE VECTOR” AND “LINK STATE” NETWORK PROTOCOLS

Ladislav Havaš, Damira Keček, Kristijan Knez

Stručni članak

Sažetak: Veliki rast i razvoj računalnih mreža te razmjena velike količine podataka naglašava potrebu za korištenjem kvalitetnih mrežnih protokola. Temeljni zadatak modernih mrežnih protokola je osiguravanje sigurne i pouzdane komunikacije između računala i procesa, sprečavanje neželjenog pristupa informacijama te pronalaženje optimalnog (najkraćeg) puta kroz mrežu. Osnovni cilj izrade ovog rada je usporedba i prikaz mogućnosti korištenja Distance Vector i Link State protokola usmjeravanja. U radu je ukratko prikazan razvoj protokola usmjeravanja te je napravljena njihova podjela i analiza mogućnosti primjene. Detaljno su opisani Belmann-Fordov, DUAL (Diffusing Update ALgorithm) i Dijkstra algoritam pronalaženja najkraćeg puta u mreži, koji su osnova za kreiranje kvalitetnih tablica usmjeravanja. Prikazan je postupak povezivanja nekoliko lokalnih mreža i konfiguriranje usmjernika različitim protokolima usmjeravanja. Usporedbom brzine konvergencije tablica usmjeravanja u realnom okruženju provjerene su mogućnosti primjene Distance Vector i Link State protokola u manjim i srednje velikim mrežama.

Ključne riječi: Belmann-Ford, Dijkstra, Distance Vector, Link State, računalna mreža, usmjernik

Professional paper

Abstract: Significant growth and development of computer networks and the exchange of great amount of data emphasize the need for using high quality network protocols. The basic task of modern network protocols is to provide safe and reliable communication between a computer and the process, prohibiting unwanted access to the information, and finding an optimal (the shortest) route through the network. The main goal of this paper is to compare and display application possibilities in using Distance Vector and Link State routing protocols. This paper shows the development of routing protocols in brief and there is also their classification and the analysis of application possibilities. It describes Belmann-Ford, DUAL (Diffusing Update ALgorithm) and Dijkstra algorithms for finding the shortest route through the network in details – they are the basis for creating high quality routing tables. A procedure of linking the tables of several local networks and the configuration of a router of different routing protocols are also shown. By comparing the speed of table convergence of routing in real time and in real surroundings, application possibilities of Distance Vector and Link State protocols were tested in smaller and in medium-size networks.

Key words: Belmann-Ford, Dijkstra, Distance Vector, Link State, computer network, router

1. UVOD

Brzi razvoj računalnih mreža je uvjetovan sve većom potrebom povezivanja velikog broja dislociranih korisnika, te razmjenom velike količine multimedijalnih podataka. Odabir odgovarajućeg mrežnog protokola u ovisnosti o realiziranoj mrežnoj topologiji je preduvjet kvalitetne, brze i pouzdane komunikacije između krajnjih korisnika, što je i bila tema završnog rada [1] na kojem je temeljen ovaj članak.

Glavni zadatak današnje ICT tehnologije je osigurati široku paletu telekomunikacijskih kanala i servisa za povećanje kvantitativne i kvalitativne razmjene informacija i znanja među korisnicima mreže.

Mrežni komunikacijski protokol predstavlja skup određenih pravila koja su potrebna da bi podaci mogli proći preko komunikacijskog kanala. Pojednostavljeno

rečeno, pojedini protokol je „zajednički jezik“ kojim se članovi u mreži dogovaraju oko prijenosa podataka. Standardizacija protokola je uvedena sa svrhom da omogući raznolikost odabira i primjene algoritama za povezivanje računala unutar jedne ili više mreža računala. Grupiranje i povezivanje protokola je moguće zbog slojevite strukture računalnih mreža (OSI model) [2], [3].

Glavni zadatak usmjeravanja (engl. routing) prometa u mreži je osigurati dostupnost toka podataka od izvorišta do odredišta i pri tome optimalno iskoristiti mrežu te osigurati zadovoljavajuću kvalitetu usluge. Tu funkciju ostvaruju usmjernici (engl. Routers). Usmjernik je uređaj koji usmjerava podatkovne pakete na njihovom putu kroz računalnu mrežu pri čemu se taj proces odvija na mrežnom (trećem) sloju OSI modela. Usmjernici su zapravo računala specifične namjene.

Najviše se koriste u IP mrežama, jer je njihova najveća primjena upravo za potrebe najveće računalne mreže danas – Interneta. Osnovni zadatak svakog usmjernika je provjera odredišne adrese svih pristiglih podatkovnih paketa, pronalazak odredišne mreže u tablici usmjeravanja i preusmjeravanje tih paketa na odgovarajuće sučelje.

Usmjernici uče o udaljenim mrežama dinamički, pomoću protokola usmjeravanja ili ručno pomoću statički definiranih ruta. Mreža najčešće koristi kombinaciju dinamičkih protokola usmjeravanja i statičkih ruta. Statičke rute su vrlo česte i ne zahtijevaju istu količinu obrade kao u slučaju dinamičkih protokola usmjeravanja.

Postoje dvije osnovne vrste usmjerivačkih protokola, a dijele se prema načinu izračunavanja optimalnog puta na:

- Protokole vektora udaljenosti (engl. Distance Vector)
- Protokole stanja veze (engl. Link State)

Najpoznatiji Distance Vector protokoli su RIP (engl. Routing Information Protocol), IGRP (engl. Interior Gateway Routing Protocol) i EIGRP (engl. Enhanced Interior Gateway Routing Protocol).

Predstavnici Link State protokola su OSPF (engl. Open Shortest Path First) i IS-IS (engl. Intermediate System to Intermediate System).

2. RAZVOJ I PODJELA PROTOKOLA ZA USMJERAVANJE

RIP protokol je najstariji od svih Distance Vector protokola usmjeravanja. Nastao je na osnovama protokola GWINFO (engl. Gateway Information Protocol), koji je razvila tvrtka Xerox. S razvojem XNS-a (engl. Xerox Network System), GWINFO je evoluirao u RIP. Implementacijom u BSD (engl. Berkeley Software Distribution) verziju UNIX-a, postiže veliku popularnost. Javljanjem potrebe za standardizacijom protokola, Charles Hedrick je napisao RFC 1058 u 1988. godini, u kojem je dokumentiran postojeći protokol verzije 1 te su specificirana neka poboljšanja. Od tada je RIP poboljšan u RIPv2 1994. godine (standard RFC 1723) i u RIPng (engl. RIP next generation) 1997. godine, namijenjen za IPv6 adresiranje.

Za rješavanje potreba većih mreža razvijena su dva napredna protokola usmjeravanja: OSPF i IS-IS. Cisco je razvio IGRP (engl. Interior Gateway Routing Protocol) i EIGRP koji je također dobar u većim mrežnim implementacijama [4], [5]. Razvijen je i BGP (engl. Border Gateway Protocol) koji omogućuje povezivanje i komunikaciju između različitih autonomnih sustava.

EIGRP je Distance Vector protokol usmjeravanja. On je besklasni (engl. Classless) protokol usmjeravanja koji je objavljen 1992. zajedno s pojavom operativnog sustava IOS 9.21. EIGRP je poboljšana verzija IGRP protokola usmjeravanja. Tvrtka CISCO je razvila IGRP sredinom 80-tih godina kao odgovor na neke limite od postojećeg protokola RIP.

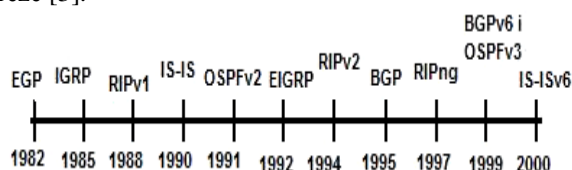
OSPF protokol je dizajniran od strane IETF (engl. Internet Engineering Task Force) koji su dio OSPF radne

skupine koja postoji i danas. Razvoj OSPF-a je započeo 1987. godine i trenutno postoje dvije verzije koje su u uporabi:

- OSPFv2 - OSPF za IPv4 mreže (RFC1247 i RFC 2328)
- OSPFv3 - OSPF za IPv6 mreže (RFC 2740)

Većinu radova na OSPF-u je obavio John Moy, autor i koautor većine RFC standarda u vezi s OSPF-om.

IS-IS je dizajniran od strane ISO (engl. International Organization for Standardization) i opisan je u normi ISO 10589. Radia Perlman je bio glavni dizajner IS-IS protokola usmjeravanja koji je izvorno dizajniran za OSI protokole, a ne za TCP/IP protokole. Tek kasnije Integrated IS-IS ili Dual IS-IS uključuje podršku i za IP mreže [3].



Slika 1. Vremenski prikaz razvoja protokola usmjeravanja [4]

Protokoli usmjeravanja se generalno dijele na IGP i EGP protokole.

IGP-ovi (engl. Interior Gateway Protocols) se koriste za usmjeravanje unutar domene usmjeravanja. Autonomni sustav se obično sastoji od mnogo pojedinačnih mreža koje pripadaju tvrtkama, školama i drugim ustanovama sa zajedničkim upravljanjem i administracijom te s jedinstvenim identifikatorom autonomnog sustava (AS) u sklopu interneta. IGP se koristi za rute unutar autonomnog sustava, ali također se koristi za rute unutar samih pojedinih mreža. IGP za IP uključuju RIP, IGRP, EIGRP, OSPF i IS-IS.

EGP-ovi (engl. Exterior Gateway Protocols) su dizajnirani za korištenje između različitih autonomnih sustava koji su pod kontrolom različitih uprava. BGP je jedini EGP protokol usmjeravanja i njega koristi internet.

Kombinacijom IGP-a i EGP-a omogućena je IP povezanost jednog kraja svijeta s drugim.

IGP-ovi se mogu podijeliti u svije skupine:

- Distance Vector protokole usmjeravanja (RIP, IGRP, EIGRP)
- Link State protokole usmjeravanja (OSPF, IS-IS)

3. RIP

3.1. RIPv1

Ovaj protokol je *classful* Distance Vector protokol. RIPv1 je bio jedan od prvih protokola razvijen za usmjeravanje IP paketa. RIP koristi broj skokova za svoju metriku, a broj od 16 skokova znači da je ruta nedostupna. Kao rezultat toga, RIP se može koristiti samo u mrežama u kojima nema više od 15 usmjernika između bilo koje dvije mreže.

RIP usmjernici šalju svoje kompletne tablice usmjeravanja susjedima, i to svakih 30 sekundi, osim za one rute koje su obuhvaćene pravilom podijeljenog obzorja (engl. Split Horizon). Split Horizon je pravilo koje sprečava pojavu petlji kod Distance Vector protokola usmjeravanja. Prema tom pravilu, informacija o ruti se nikad ne šalje natrag kroz sučelje na koje je ažuriranje došlo.

Korištenje RIP protokola se omogućuje naredbom *router rip* u globalnom konfiguracijskom modu usmjernika. Naredba *network* se koristi za određivanje sučelja usmjerivača koja će biti omogućena za RIP sa classful mrežnim adresama za svaku izravno spojenu mrežu. Ta naredba osposobljava sučelja za primanje i slanje RIP ažuriranja.

Naredba *debug ip rip* se može koristiti za prikaz RIP ažuriranja koja su poslana i primljena na usmjerniku. Da bi se spriječilo slanje RIP ažuriranja kroz određeno sučelje, za LAN gdje nema drugih usmjernika, koristi se naredba *passive-interface*.

U tablici usmjeravanja su RIP unosi prikazani slovom R i imaju administrativnu udaljenost 120. Zadane (engl. default) rute se propagiraju korištenjem naredbe *default-information originate* u konfiguracijskom modu usmjernika.

Pošto je RIPv1 *classful* protokol usmjeravanja, ne podržava nesusjedne (engl. Discontiguous) mreže i VLSM (engl. Variable Length Subnet Masks), te maska podmreže nije uključena u usmjernička ažuriranja. Kada usmjernik primi RIPv1 ažuriranje, RIP mora odrediti masku podmreže te rute. Ako ruta pripada istoj glavnoj classful mreži kao i ažuriranje, RIPv1 uzima masku podmreže primajućeg sučelja. Ako ruta pripada drugoj glavnoj classful mreži, RIPv1 primjenjuje zadanu classful masku. Naredbom *show ip protocols* mogu se prikazati informacije o bilo kojem protokolu usmjeravanja koji je omogućen na usmjerniku. U slučaju RIP-a, ova naredba prikazuje informacije brojača, status automatske sumarizacije, omogućene mreže na usmjerniku i dr.

3.2. CIDR i VLSM

CIDR (engl. Classless Inter-Domain Routing) je uveden 1993. godine zamijenivši prethodnu generaciju IP adresne sintakse classful mreža. CIDR dopušta učinkovitije korištenje IPv4 adresnog prostora i agregaciju prefiksa poznatu kao sumarizacija rute ili supermrežiranje. S CIDR-om klase adresa (klasa A, klasa B, klasa C) postaju besmislene. Mrežne adrese više nisu određene vrijednostima prvog okteta, ali je dodijeljena dužina prefiksa ili maska podmreže. Adresni prostor i broj korisnika na mreži sada može biti određen prefiksom koji ovisi o broju korisnika potrebnih za određenu mrežu.

CIDR koristi VLSM kako bi dodijelio IP adrese podmrežama po potrebi, a ne po klasama. VLSM omogućuje da podmreža može biti dodatno podijeljena u još manje podmreže [6]. VLSM je zapravo subnetiranje podmreža. Propagiranje CIDR supermreža ili VLSM podmreža zahtijeva classless (besklasni) protokol usmjeravanja koji u ažuriranjima zajedno s mrežnom adresom uključuje masku podmreže.

Utvrđivanje sumirizirane rute i maske podmreže za grupu mreža se može izvesti u tri jednostavna koraka. Prvi je da se mreže pretvore u binarni format, drugi je da se s lijeva na desno zbroje bitovi koji se podudaraju tako da se dobije duljina prefiksa ili maska podmreže sumirizirane rute. Zadnji korak je kopiranje bitova koji se podudaraju i dodavanje nula na ostatak adrese.

3.3. RIPv2

Ovo je classless Distance Vector protokol usmjeravanja. Zbog toga u ažuriranjima zajedno s adresama mreža uključuje masku podmreže. Podržava CIDR supermreže, VLSM i nesusjedne mreže.

Classful protokoli poput RIPv1 ne mogu podržavati nesusjedne mreže jer automatski sumiriziraju na glavnim mrežnim granicama. Usmjernik koji prima ažuriranje od više usmjernika koji oglašavaju istu classful sumiriranu rutu, ne može otkriti koje podmreže pripadaju kojoj sumiriranoj ruti. Ova nemogućnost dovodi do neočekivanih rezultata i pogrešnog usmjeravanja paketa.

Na usmjerniku je inicijalno zadana verzija RIPv1 pa se naredbom *version 2* mijenja verzija u RIPv2. Slično kao i RIPv1, RIPv2 automatski sumirizira na glavnim mrežnim granicama, no kod RIPv2 se automatska sumarizacija može isključiti naredbom *no auto-summary*. Automatska sumarizacija mora biti onemogućena kako bi se mogle podržati nesusjedne mreže. Maska podmreže je uključena uz svaku mrežnu adresu u ažuriranjima, a naredbom *debug ip rip* se mogu vidjeti ažuriranja i maske podmreže poslana zajedno s adresama mreža. Sve ostale naredbe kod konfiguracije protokola su identične kao i kod RIPv1.

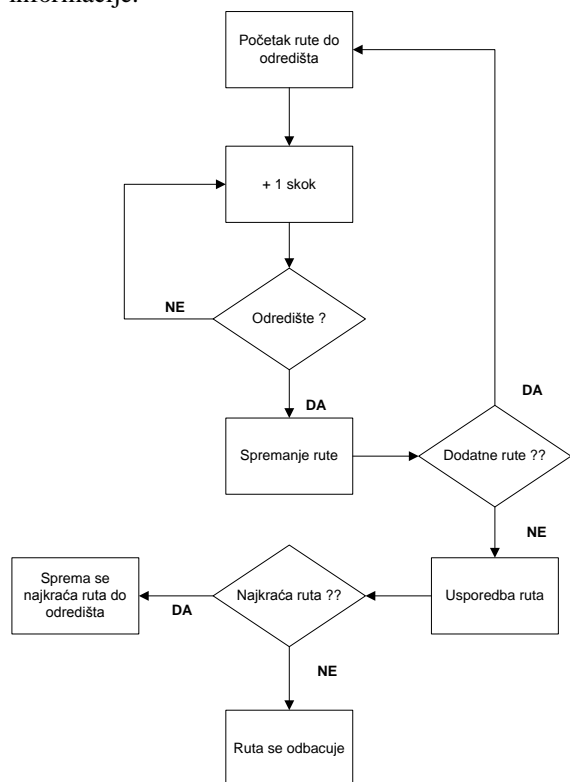
3.4. Bellman-Ford algoritam

Nazvan je po američkim matematičarima Richardu Bellmanu i Lesteru Fordu mlađem. Bellman-Ford algoritam pronalazi najkraće putove od početne točke s ograničenjem na jedan link (vezu), zatim na dva linka i tako dalje. Prvi korak je traženje točaka udaljenih za jedan skok, zatim se nalaze točke udaljene za dva skoka itd. Tablica se izrađuje ovisno o broju linkova. Informacije se izmjenjuju sa susjednim usmjernicima, a svaki podatak sadrži put za slanje paketa do svake destinacije u mreži i udaljenost ili vrijeme za slanje na tom putu (cijena). Proces izmjenjivanja informacija se događa i ako se ne događaju promjene u susjedstvu. Ako graf sadrži negativni ciklus, tj. ciklus čija suma rubova ima negativnu vrijednost, onda nema najbolji put i to zbog toga jer svaka ruta može biti bolja od još jednog kretanja kroz negativni ciklus. U takvim slučajevima Bellman-Ford algoritam može otkriti negativne cikluse i ukazati na njihovo postojanje, ali ne može stvoriti odgovor s pravim najkraćim putem. Praktična primjena ovog algoritma je u RIP protokolu usmjeravanja [7]. Sastoji se od sljedećih koraka:

1. Svaki usmjernik izračunava udaljenost između sebe i svih ostalih čvorova unutar autonomnog sustava i te informacije pohranjuje u svoju tablicu.

2. Svaki usmjernik šalje svoju tablicu svim susjednim usmjernicima.
3. Kada usmjernik primi tablice udaljenosti od svojih susjeda, izračunava najkraće puteve do svih ostalih usmjernika i ažurira vlastitu tablicu da bi zabilježio svaku promjenu.

Nedostatak je što se ažuriranja ne događaju trenutno jer se šire od točke do točke kroz mrežu. Zbog toga se ponekad u tablici usmjerenja mogu pojaviti krive informacije.



Slika 2. Dijagram toka Bellman-Ford algoritma

4. EIGRP

EIGRP je classless Distance Vector protokol usmjerenja. U tablici usmjerenja za rute koristi slovo D. Zadana administrativna udaljenost mu je 90 za interne rute i 170 za rute primljene iz vanjskog izvora.

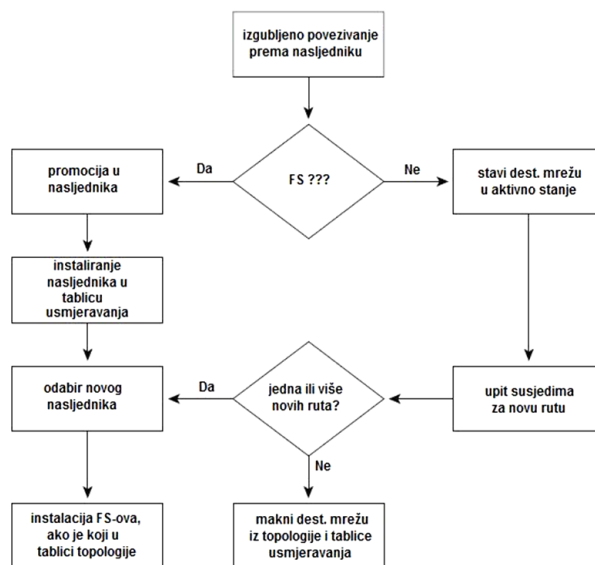
Za dostavu EIGRP paketa koristi RTP (engl. Reliable Transport Protocol) kao protokol na transportnom sloju. Koristi pouzdanu isporuku EIGRP ažuriranja, upite i odgovore te nepouzdanu isporuku za EIGRP pozdrave i potvrde (engl. Hellos and Acknowledgments). Pouzdani RTP znači da se mora vratiti EIGRP potvrda. Prije nego se ažuriranje pošalje, usmjernik otkriva svoje susjedstvo i to s EIGRP hello paketima. Na većini mreža hello paketi se šalju svakih 5 sekundi. Vrijeme zadržavanja (engl. Hold Time) je tri puta duže od hello-a, tj. 15 sekundi. Provjera uspostavljenih veza sa susjednim usmjernicima je moguća naredbom *show ip eigrp neighbors*.

EIGRP ne šalje periodička ažuriranja poput RIP-a nego šalje djelomična ili ograničena ažuriranja koja uključuju samo promjene ruta i to samo onim usmjernicima kojima je potrebna ta informacija. Kod određivanje najboljeg puta koristi složenu metriku sastavljenu od propusnosti, kašnjenja, pouzdanosti i

opterećenja. Inicijalno je definirano da se koristi samo propusnost i kašnjenje. Zadani izračun je najmanja propusnost plus zbroj svih kašnjenja od izlaznog sučelja usmjerniča do određene mreže.

4.1. DUAL algoritam

U središtu EIGRP-a je DUAL (engl. Diffusing Update Algorithm). Kako bi se odredio najbolji put i potencijalni zamjenski putevi, koristi se DUAL FSM (engl. Finite State Machine). Nasljednik je susjedni usmjernik koji se koristi za prosljeđivanje paketa koristeći rutu s najmanje troškova do određene mreže. Izvodljiva udaljenost (engl. Feasible Distance, FD) je najmanja izračunata metrika za dohvaćanje određene mreže preko nasljednika. Izvodljivi nasljednik (engl. Feasible Successor, FS) je susjed koji ima do iste mreže kao i nasljednik rezervni put bez petlji, a također zadovoljava i uvjete izvodljivosti (engl. Feasible Condition, FC). FC je zadan kada je susjedova izvještana udaljenost (engl. Reported Distance, RD) do mreže manja od FD-a do iste destinacijske mreže. Jednostavno, RD je susjedov FD do destinacijske mreže.



Slika 3. Dijagram toka FSM DUAL algoritma [8]

EIGRP se konfigurira naredbom *router eigrp* u kojoj treba odrediti i broj autonomnog sustava. Vrijednost autonomnog sustava je zapravo process-id i mora biti ista na svim usmjernicima u EIGRP domeni usmjerenja. Naredba *network* je slična onoj koja se koristi kod RIP-a, ali se uz adresu mreže stavlja wildcard maska ili obrnuta maska. Za propagaciju statičkih ruta se koristi naredba *redistribute static*.

5. OSPF

OSPF je classless Link State protokol usmjerenja. Ima zadanu administrativnu udaljenost 110, a u tablici usmjerenja je označen slovom O. Aktivira se naredbom *router ospf* uz koju se još dodaje process-id i to u globalnom konfiguracijskom modu. Process-id je lokalno značajan, što znači da ne mora odgovarati

drugim OSPF usmjernicima kako bi se uspostavilo susjedstvo s njima.

Naredba *network* ima istu funkciju kao i kod ostalih IGP protokola usmjeravanja, ali s malo drugačijom sintaksom.

```
Router(config-router)#network mrežna-adresa  
wildcard-mask area area-id
```

Wildcard maska je inverzija maske podmreže, a *area-id* bi trebao biti postavljen na 0.

Za uspostavljanje susjedstva koriste se OSPF *hello* paketi koji se šalju svakih 10 sekundi na višepristupnim i point-to-point (od točke do točke) segmentima i 30 sekundi na NBMA segmentima (engl. Non-Broadcast Multiaccess). Svaki usmjernik čeka određeno vrijeme (engl. *dead interval*) prije nego prekine susjedstvo sa susjedom. *Dead interval* je četiri puta duži od *hello* intervala.

Da bi usmjernici uspostavili susjedstvo, njihovi *hello* i *dead* intervali, te vrsta mreže i maska podmreže, moraju odgovarati. Za provjeru susjedstva koristi se naredba *show ip ospf neighbors*.

Router-ID jedinstveno identificira svaki usmjernik u domeni, a dobiva se na temelju tri kriterija:

1. koristi se IP adresa konfigurirana naredbom *router-id*
2. ako *router-id* nije konfiguriran, usmjernik bira najvišu IP adresu bilo kojeg od svojih loopback sučelja
3. ako nema loopback sučelja, usmjernik bira najvišu aktivnu IP adresu od bilo kojeg svog fizičkog sučelja

Loopback sučelje je softver koji se koristi kao simulacija fizičkog sučelja. Poput drugih sučelja, može imati svoju IP adresu. U laboratorijskom okruženju loopback sučelja su korisna u kreiranju dodatnih mreža bez potrebe za fizičkim sučeljima na usmjerniku.

Za određivanje vrijednosti cijena u metrici koriste se propusnosti izlaznih sučelja usmjerivača prema određenoj mreži. Višepristupne mreže mogu stvoriti različite izazove što se tiče poplava (engl. *flood*) s LSA-ovima (engl. *Link State Advertisement*), uključujući i stvaranje višestrukih adjacencija (povezanosti sa susjedima). Dolazi do opsežnih poplava LSA-ova pa OSPF bira DR (engl. *Designated Router*) koji je točka za prikupljanje i distribuciju LSA-ova poslanih i primljenih u višepristupnoj mreži. BDR (engl. *Backup Designated Router*) je odabran da preuzme ulogu DR-a u slučaju da DR padne. Svi ostali usmjernici su poznati kao DRother. Svi usmjernici šalju svoje LSA-ove prema DR-u koji zatim tim informacijama „poplavi“ sve ostale usmjernike u višepristupnoj mreži.

Usmjernik koji ima najviši *router-ID* je DR, a usmjernik sa sljedećim najvišim *router-ID*-om je BDR. To se može izmijeniti naredbom *ip ospf priority* u modu sučelja. IP OSPF prioritet je zadan na 1 na svim višepristupnim sučeljima. Ako je usmjernik konfiguriran s novom vrijednošću prioriteta, usmjernik s najvišim prioritetom je DR, a sljedeći najviši je BDR. Vrijednost prioriteta 0 znači da usmjernik ne može postati ni DR ni BDR.

Zadana ruta se propagira slično kao i kod RIP-a. Za propagaciju statičke zadane rute koristi se naredba *default-information originate*. Važna naredba za provjeru

konfiguracijskih informacija, *process ID*-a, *router ID*-a i mreža koje usmjernik oglašava, je *show ip protocol*.

Kod mrežnih protokola, ponajviše kod OSPF i IS-IS, naširoko se koristi algoritam traženja najkraćeg puta od početnog vrha, izvora, do krajnjeg vrha, cilja, poznatiji pod nazivom Dijkstrin algoritam [9]. Algoritam je otkrio nizozemski računalni stručnjak Edsger Dijkstra 1959. godine. Osim algoritma traženja najkraćeg puta, Dijkstrin doprinos u računarstvu očituje se i u razvoju programskog jezika ALGOL, razvoju tzv. semafora za nadzor računalnih procesa te u razvoju računalnih operativnih sustava. U sljedećem poglavlju dane su osnove teorije grafova te je opisana procedura Dijkstrinog algoritma.

6. TEŽINSKI GRAF. DIJKSTRIN ALGORITAM

Graf G je uređeni par $G = (V, E)$ koji se sastoji od nepraznog skupa $V = V(G)$ čiji su elementi vrhovi od G i skupa $E = E(G)$ čiji su elementi bridovi od G . Šetnja u grafu G je naizmjeničan niz vrhova i bridova. Ako su u šetnji svi vrhovi različiti, šetnja se naziva put. Graf je povezan ako postoji put između svaka dva vrha grafa. Funkcija $w: E(G) \rightarrow R^+$ koja svakom bridu $e \in E(G)$ pridružuje broj $w(e) \in R^+$ naziva se težinska funkcija, a broj $w(e)$ težina brida $e \in E(G)$. Bridovima su dakle pridružene težine koje predstavljaju npr. duljinu ceste u kilometrima, vrijeme izraženo u satima, cestarinu u kunama i sl. Graf G čijim su bridovima pridružene težine naziva se težinski graf. Za podgraf H grafa G broj $w(H) = \sum_{e \in E(H)} w(e)$ je

težina podgraфа H . Dakle, težina podgraфа H grafa G je suma težina svih bridova u grafu. Udaljenost $d(u, v)$ dva vrha $u, v \in V(G)$ u težinskom grafu je duljina najkraćeg puta između vrhova u i v , a najkraći put između vrhova u i v u težinskom grafu smatra se put najmanje težine. Detaljnije o teoriji grafova vidi u [10]. Problem najkraćeg puta jedan je od najvažnijih algoritamskih problema sa širokom praktičnom primjenom. Problem najkraćeg puta u težinskom grafu svodi se na traženje puta između dva vrha s najmanjom težinom. Slijedom spomenutog, jedan od najpoznatijih algoritama za traženje putova najmanje težine u težinskom grafu s pozitivnim težinama je Dijkstrin algoritam. Algoritam otkriva najkraći put iz određenog vrha, označenog s 1, do svih drugih vrhova 2, 3, ..., n u G . Neka je D_j duljina najkraćeg puta između vrhova 1 i j u G . U svakom koraku svaki vrh v dobiva ili trajnu oznaku, oznaku *TO* te se s D_v označava najkraći put od vrha 1 do vrha v , ili vrh dobiva privremenu oznaku, oznaku *PO* te se s \tilde{D}_v označava gornja međa duljine najkraćeg puta od vrha 1 do vrha v . Neka je

S_{TO} skup vrhova s trajnom oznakom, a S_{PO} skup vrhova s privremenom oznakom.

Za povezani graf $G = (V, E)$ s vrhovima $1, 2, \dots, n$ i udaljenostima $d(i, j) > 0$ od vrha i do vrha j , procedura izračunavanja duljine najkraćeg puta od vrha 1 do ostalih vrhova $2, 3, \dots, n$ u G je sljedeća [11]:

ULAZ: n vrhova, bridovi (i, j) i udaljenosti $d(i, j)$

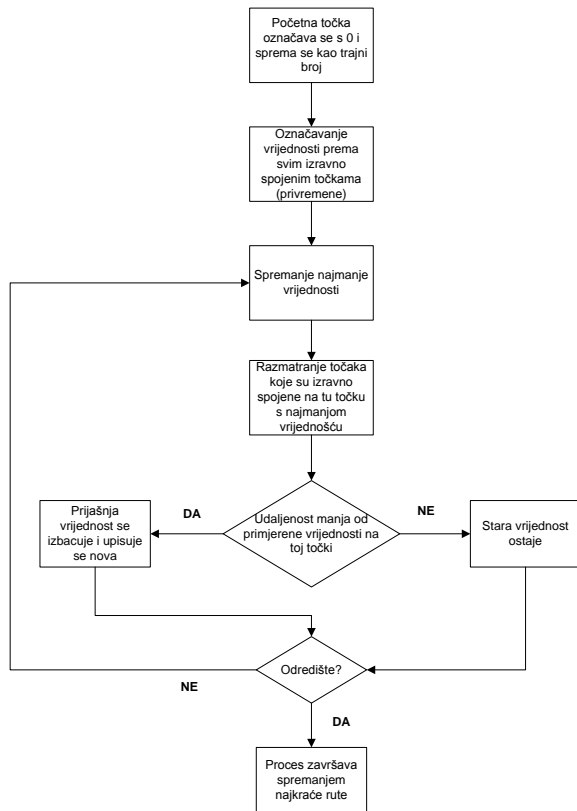
IZLAZ: duljine D_j najkraćih putova od vrha 1 do vrha j , $j = 2, 3, \dots, n$

Korak 1: vrh 1 dobiva oznaku TO i $D_1 = 0$. Vrh $j (= 2, 3, \dots, n)$ dobiva oznaku PO i $\tilde{D}_j = d(1, j) (= \infty$ ako brid $(1, j) \notin E)$. Stavlja se $S_{TO} = \{1\}$, $S_{PO} = \{2, 3, \dots, n\}$.

Korak 2: pronalazi se k u S_{PO} za koji je \tilde{D}_k najmanja. Stavlja se $D_k = \tilde{D}_k$. Uzima se najmanji k ako ih ima više. Briše se k iz S_{PO} i uključuje u S_{TO} . Ako je $S_{PO} = \emptyset$ tada

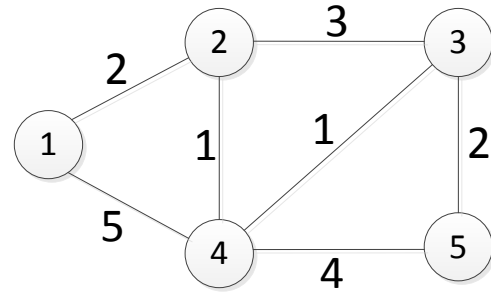
IZLAZ D_2, \dots, D_n . STOP. Inače

Korak 3: Za svaki j u S_{PO} stavlja se $\tilde{D}_j = \min_k \{ \tilde{D}_j, D_k + d(k, j) \}$. Vratiti se na korak 2.



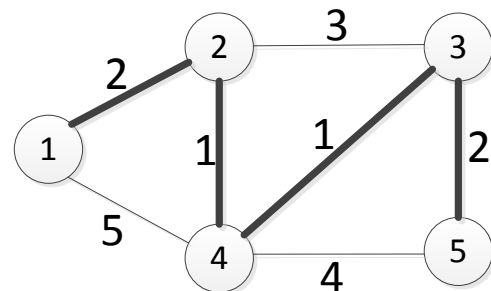
Slika 4. Dijagram toka za Dijkstra algoritam

Izračunavanje udaljenosti Dijkstra algoritmom od vrha 1 do ostalih vrhova grafa G , kao na slici 5., prezentirano je u nastavku.



Slika 5. Graf G

Početno stanje je $D_1 = 0$, $\tilde{D}_2 = 2$, $\tilde{D}_3 = \infty$, $\tilde{D}_4 = 5$, $\tilde{D}_5 = \infty$. Stavlja se $S_{TO} = \{1\}$, $S_{PO} = \{2, 3, 4, 5\}$. Za $k = 2$ stavlja se $D_2 = \tilde{D}_2 = 2$. $S_{TO} = \{1, 2\}$, $S_{PO} = \{3, 4, 5\}$. Zatim se računa $\tilde{D}_3 = \min_2 \{ \tilde{D}_3, D_2 + d(2, 3) \} = \min_2 \{ \infty, 2 + 3 \} = 5$, $\tilde{D}_4 = \min_2 \{ \tilde{D}_4, D_2 + d(2, 4) \} = \min_2 \{ 5, 2 + 1 \} = 3$, $\tilde{D}_5 = \min_2 \{ \tilde{D}_5, D_2 + d(2, 5) \} = \min_2 \{ \infty, 2 + \infty \} = \infty$. Za $k = 4$ stavlja se $D_4 = \tilde{D}_4 = 3$. $S_{TO} = \{1, 2, 4\}$, $S_{PO} = \{3, 5\}$. Računa se $\tilde{D}_3 = \min_4 \{ \tilde{D}_3, D_4 + d(4, 3) \} = \min_4 \{ 5, 3 + 1 \} = 4$, $\tilde{D}_5 = \min_4 \{ \tilde{D}_5, D_4 + d(4, 5) \} = \min_4 \{ \infty, 3 + 4 \} = 7$. Za $k = 3$ stavlja se $D_3 = \tilde{D}_3 = 4$. $S_{TO} = \{1, 2, 4, 3\}$, $S_{PO} = \{5\}$. Računa se $\tilde{D}_5 = \min_3 \{ \tilde{D}_5, D_3 + d(3, 5) \} = \min_3 \{ 7, 4 + 2 \} = 6$. Za $k = 5$ stavlja se $D_5 = \tilde{D}_5 = 6$. $S_{TO} = \{1, 2, 4, 3, 5\}$, $S_{PO} = \emptyset$. Konačno, $D_2 = 2$, $D_3 = 4$, $D_4 = 3$, $D_5 = 6$. Najkraći putovi od vrha 1 do svih vrhova težinskog grafa G nacrtani su debelom linijom na slici 6.



Slika 6. Najkraći putovi

Protokoli usmjeravanja su vrlo kompleksna tema o kojoj se može mnogo pisati i detaljno je analizirati sukladno konfiguracijama zatečenim u praksi. Radi se o veoma zanimljivom području koje će se zasigurno u budućnosti dalje razvijati i unapređivati. S vremenom će se sigurno pojaviti mnoštvo novih i boljih protokola, algoritama, novih načina razmišljanja i pristupanja problemima s kojima će biti susretanja u konačnom svijetu beskonačnih mogućnosti umrežavanja.

9. LITERATURA

- [1] Knez, K.: Usporedba i primjena „Distance Vector“ i „Link State“ mrežnih protokola, Završni rad br. 275/EL/2012, VELV Varaždin, 2013.
- [2] Kurose, J. F.; Ross, K. W.: Computer Networking, Pearson Education, 2012.
- [3] http://hr.wikipedia.org/wiki/OSI_model (Dostupno: 04.03.2013.)
- [4] <http://www.cisco.com/web/learning/netacad/index.html> (Dostupno:04.03.2013.)
- [5] Odom W.: Cisco CCNA Routing and Switching, Cisco press, 2010.
- [6] Browning P., Subnetting Secrets, Reality press, 2012.
- [7] Cavendish D.; Gerla M.: Internet QoS Routing using the Bellman-Ford Algorithm, Chapman & Hall, 1998.
- [8] Graziani R.; Johnson A.: Routing Protocols and Concepts, Cisco press, 2008.
- [9] http://en.wikibooks.org/wiki/Artificial_Intelligence/Search/Dijkstra's_Algorithm (Dostupno:10.04. 2013.)
- [10] Veljan D.: Kombinatorika s teorijom grafova, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [11] Kreyszig E.: Advanced engineering mathematics – 10th ed., John Willey & Sons, 2010.

Kontakt autora:

mr. sc. Ladislav Havaš
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42 000 Varaždin
ladislav.havas@velv.hr

Damira Keček, dipl. ing.
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42 000 Varaždin
damira.kecek@velv.hr

Kristijan Knez (bivši student)
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42 000 Varaždin
krknez@velv.hr