



HRVATSKA AKADEMSKA I ISTRAŽIVAČKA MREŽA
CROATIAN ACADEMIC AND RESEARCH NETWORK

Osnove mrežnog usmjeravanja

CCERT-PUBDOC-2007-02-183

CARNet CERT u suradnji s **LS&S**

Sigurnosni problemi u računalnim programima i operativnim sustavima područje je na kojem CARNet CERT kontinuirano radi.

Rezultat toga rada ovaj je dokument, koji je nastao suradnjom CARNet CERT-a i LS&S-a, a za koji se nadamo se da će Vam koristiti u poboljšanju sigurnosti Vašeg sustava.

CARNet CERT, www.cert.hr - nacionalno središte za **sigurnost** računalnih mreža i sustava.

LS&S, www.lss.hr - laboratorij za sustave i signale pri Zavodu za elektroničke sustave i obradbu informacija Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

Ovaj dokument predstavlja vlasništvo CARNet-a (CARNet CERT-a). Namijenjen je za javnu objavu, njime se može svatko koristiti, na njega se pozivati, ali samo u originalnom obliku, bez ikakvih izmjena, uz obavezno navođenje izvora podataka. Korištenje ovog dokumenta protivno gornjim navodima, povreda je autorskih prava CARNet-a, sukladno Zakonu o autorskim pravima. Počinitelj takve aktivnosti podliježe kaznenoj odgovornosti koja je regulirana Kaznenim zakonom RH.

Sadržaj

1. UVOD	5
2. OSNOVE USMJERAVANJA	6
3. USMJERAVANJE NA 2. I 3. RAZINI OSI MODELA	6
3.1. PODATKOVNI SLOJ	7
3.2. MREŽNI SLOJ	7
3.2.1. Usmjeravanje unutar podmreže	9
3.2.2. Usmjeravanje unutar organizacije.....	9
3.2.3. Usmjeravanje među organizacijama	9
4. USMJERENI PROTOKOLI I PROTOKOLI USMJERAVANJA	10
5. TABLICE USMJERAVANJA	10
6. ZNAČAJKE PROTOKOLA USMJERAVANJA	11
6.1. OPTIMALNOST	11
6.2. JEDNOSTAVNOST	11
6.3. ROBUSNOST I STABILNOST	11
6.4. BRZA KONVERGENCIJA.....	11
6.5. PRILAGODLJIVOST	12
7. VRSTE PROTOKOLA USMJERAVANJA	12
7.1. STATIČKI I DINAMIČKI ALGORITMI USMJERAVANJA	12
7.2. ALGORITMI USMJERAVANJA S JEDNOM ILI VIŠE RUTA.....	13
7.3. JEDNORAZINSKI I HIJERARHIJSKI ALGORITMI USMJERAVANJA	13
7.4. IZVORIŠNO USMJERAVANJE I USMJERAVANJE USMJERIVAČIMA	13
7.5. ALGORITMI USMJERAVANJA UNUTAR DOMENE I MEĐU DOMENAMA.....	13
7.6. <i>LINK STATE</i> I <i>DISTANCE VECTOR</i> ALGORITMI USMJERAVANJA	13
8. PARAMETRI ODABIRA RUTE	14
8.1. DULJINA RUTE	14
8.2. POUZDANOST	14
8.3. KAŠNJENJE	14
8.4. PROPUSNOST	14
8.5. OPTEREĆENJE	14
8.6. CIJENA	14
9. OPIS NEKIH PROTOKOLA USMJERAVANJA	14
9.1. IP	15
9.2. BGP	15
9.3. IS-IS.....	15
9.4. OSPF	16
9.5. IGRP	16
9.6. EIGRP	16
9.7. RIP	16
9.8. IPX	16

9.9.	XNS.....	16
10.	ZAKLJUČAK.....	18
11.	REFERENCE	18

1. Uvod

Usmjeravanje (eng. *routing*) je postupak odabira puta za slanje podataka računalnom mrežom. Rutu između dva mrežna uređaja moguće je odrediti na više načina: mrežni administrator ju može ručno zadati, može se utvrditi slanjem probnih poruka (eng. *probe*) ili objavljivanjem poznatih ruta. Bez obzira na to je li ruta postavljena, otkrivena ili primljena od nekog drugog uređaja, pohranjuje ju se u tablicu usmjeravanja za kasniju upotrebu.

U cilju omogućavanja umrežavanja raznorodnih računalnih sustava razvijen je OSI model koji ne određuje standarde i protokole već pruža smjernice za njihov razvoj. Unutar ovog modela detaljno je definiran i razložen problem usmjeravanja podataka na različitim razinama hijerarhije te su dane preporuke za izgradnju protokola usmjeravanja. Međunarodna standardizacijska organizacija ISO potvrđuje usklađenost pojedinih protokola s OSI modelom.

U postupku usmjeravanja podataka sudjeluju algoritmi usmjeravanja, koji provode samo usmjeravanje, i usmjereni algoritmi, koji prenose podatke i koji su podložni usmjeravanju. Algoritmi usmjeravanja izgrađuju tablice usmjeravanja, u njih pohranjuju dostupne podatke o topologiji mreže na kojoj djeluju i na temelju tih podataka određuju rute kojima se podaci prosljeđuju. Ovi algoritmi razlikuju se po performansama koje se opisuju različitim karakteristikama, zatim po mehanizmima izgradnje tablica i usmjeravanja te po parametrima na temelju kojih se obavlja odabir rute.

2. Osnove usmjeravanja

Usmjeravanjem se određuje način prosljeđivanja (eng. *forwarding*) logički adresiranih paketa od njihove izvorišne mreže do krajnjeg odredišta, a preko posrednih čvorova. Ovi čvorovi su najčešće posebno oblikovani sklopovski uređaji, tzv. usmjerivači (eng. *routers*). Usmjeravanje paketa provodi se na temelju tablica usmjeravanja u kojima su zabilježene najbolje rute među pojedinim mrežnim odredištima. Zbog toga je za efikasno usmjeravanje presudan odgovarajući postupak stvaranja i održavanja tablica usmjeravanja. One su pohranjene u memoriji usmjerivača.

Usmjeravanje se razlikuje od premoščivanja (eng. *bridging*) po tome što se na temelju strukture adresa mrežnih odredišta pretpostavlja njihov raspored unutar mreže: odredišta sa sličnim adresama su međusobno bliža i obrnuto. Time je omogućeno pohranjivanje rute prema skupini adresa jednim unosom u tablici usmjeravanja. Kod većih mreža usmjeravanje pokazuje bolje performanse od premoščivanja i prevladavajući je način određivanja puta podataka na Internetu.

Unutar manjih mreža moguće je za usmjeravanje koristiti ručno podešene tablice usmjeravanja. Kod velikih mreža takvo podešavanje je otežano složenim topologijama i stalnim promjenama strukture. Unatoč tome PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*) telefonske mreže koriste prethodno proračunate tablice usmjeravanja, s pričuvnim rutama za slučaj da najkraće postanu nedostupne. Dinamičko usmjeravanje je pristup ovom problemu kod kojega se tablice usmjeravanja automatski proračunavaju na temelju podataka koji se prenose prema protokolima usmjeravanja. Iako se tako postavljena mreža do određenog stupnja autonomno prilagođava sklopovskim kvarovima i zagušenjima, ipak je prilikom njenog postavljanja i tijekom održavanja nužno sudjelovanje stručnjaka. Kod mreža s paketnim prospajanjem (eng. *packet switched*), kakva je Internet, podaci se prije slanja razlažu u pakete od kojih svaki nosi adresu odredišta i usmjeruje ih se pojedinačno. Mreže s prospajanjem krugova (eng. *circuit switched*), npr. telefonska mreža, također provode usmjeravanje sa ciljem pronalaženja najbolje rute za uspostavljanje kruga, npr. telefonskog poziva, preko kojeg se šalju veće količine podataka bez ponovljenog prijenosa adresa odredišta.

3. Usmjeravanje na 2. i 3. razini OSI modela

OSI (eng. *Open Systems Interconnection*) model stvorila je 1978. godine ISO (eng. *International Organisation for Standardisation*) međunarodna standardizacijska organizacija sa ciljem omogućavanja komunikacije među raznovrsnim računalnim sustavima. Ovaj model ne određuje komunikacijske standarde niti protokole, već pruža smjernice koje komunikacijski standardi trebaju slijediti. ISO organizacija potvrđuje slaganje pojedinih protokola s OSI modelom.

OSI model podijeljen je u sedam slojeva:

1. **Fizički sloj** puža fizičku vezu između računalnog sustava i mreže. On određuje priključnicu i zadaće nožica, naponske razine i sl.
2. **Podatkovni sloj** priprema podatke za prijenos i za obradu unutar viših slojeva. Prije prijenosa podaci se oblikuju u okvire (eng. *frame*). Okvir predstavlja točnu strukturu podataka koji se fizički prenose žicom ili nekim drugim medijem.
3. **Mrežni sloj** provodi usmjeravanje.
4. **Prijenosni sloj** omogućuje slanje paketa u slijedu i potvrdu prijenosa.
5. **Sjednički sloj** uspostavlja i okončava komunikacijske veze (eng. *session*).
6. **Prezentacijski sloj** obavlja pretvorbu podataka i osigurava njihovu razmjenu u univerzalnom formatu.
7. **Aplikacijski sloj** predstavlja sučelje između aplikacije koji korisnik izvršava i mrežnog komunikacijskog procesa.

Svaki sloj komunicira sa svojim parom na drugim računalima. Podacima se prilikom prelaska na niži sloj dodaje zaglavlje u kojemu je navedeno njihovo porijeklo i odredište. Zaglavlje s podacima jednog sloja postaje podatkovni blok sljedećeg nižeg sloja kojemu se dodaje novo zaglavlje.

3.1. Podatkovni sloj

Podatkovni sloj prenosi podatke među susjednim čvorovima WAN (eng. *Wide Area Network*) mreža ili među čvorovima koji tvore segment LAN (eng. *Local Area Networks*) mreže, a može sadržavati i funkcionalnosti koje omogućuju uočavanje i ispravljanje pogrešaka nastalih na fizičkom sloju.

Ovaj sloj koristi bazično adresiranje mrežnih uređaja jedinstvenim MAC (eng. *Media Access Control*) adresama koje nisu, za razliku od IP i IPX adresa, podijeljene na dio koji određuje sam uređaj i dio koji određuje mrežu na kojoj se spomenuti uređaj nalazi. Zbog toga na temelju MAC adresa nije moguće utvrditi nalaze li se dva uređaja na istom segmentu drugog sloja mreže, jesu li smješteni na segmentima međusobno povezanim mrežnim prenosnikom (eng. *network bridge*) niti je moguće utvrditi adresu usmjerivača ili prenosnika iza kojega se uređaji nalaze.

U podatkovnom sloju provodi se premošćivanje (eng. *bridging*) i preklapanje (eng. *switching*). Premošćivanje je način prosljeđivanja podatkovnih paketa na računalnoj mreži koji, za razliku od usmjeravanja, ne pretpostavlja položaj određenog mrežnog uređaja već se odredište pronalazi emitiranjem (eng. *broadcasting*) poruka. Kada se na ovaj način pronađe uređaj, njegov položaj se pamti kako bi se uklonila potreba za ponovnom potragom.

Preklopnici se, jednako kao prenosnici, koriste za povezivanje segmenata LAN mreža u veću mrežu te također koriste MAC adrese za filtriranje prometa. Osnovna razlika između prenosnika i preklopnika je u tome što je premošćivanje kod potonjih implementirano na sklopovskoj razini što jamči znatno bolje performanse. Postoje implementacije preklopnika koje djeluju na trećem sloju OSI modela i one se po funkcionalnosti ne razlikuju mnogo od usmjerivača.

Kada bi se usmjeravanje provodilo samo na temelju MAC adresa, svi usmjerivači i preklopnici morali bi pohranjivati sve dostupne adrese, kao i adrese svih usmjerivača potrebnih za slanje podataka na pojedino odredište. Takav sustav usmjeravanja učinio bi Internet vrlo sporim i mrežne uređaje vrlo skupima zbog potrebe za velikom količinom memorije. Prilikom spajanja novog uređaja na takvu mrežu trebalo bi proći dosta vremena za propagiranje njegove MAC adrese i rute koja vodi do njega kroz mrežu.

Pojedini protokoli, kao što su HSRP (eng. *Hot Standby Router Protocol*) i VRRP (eng. *Virtual Router Redundancy Protocol*) protokoli tvrtke Cisco, omogućuju korištenje jednakih MAC i IP adresa većem broju usmjerivača sa ciljem osiguravanja zalihosti. U slučaju zatajenja aktivnog usmjerivača, ovi protokoli aktiviraju jednog od pričuvnih usmjerivača s jednakim adresama. Ipak, ovo nisu protokoli usmjeravanja zbog toga što ne obznanjuju IP rute niti utječu na tablice usmjeravanja.

3.2. Mrežni sloj

Mrežni sloj prenosi podatke od njihova izvorišta do odredišta, za razliku od podatkovnog sloja koji podatke prenosi između susjednih čvorova mreže. Omogućuje prijenos nizova podataka promjenjive duljine preko jedne ili više mreža uz održavanje razine kvalitete usluge zahtijevane od strane prijenosnog sloja. Mrežni sloj provodi usmjeravanje, segmentaciju i desegmentaciju mreže, upravlja brzinom prijenosa te uočava i ispravlja pogreške. Ovaj sloj svoje zadaće provodi ovisno o karakteristikama mreže: je li ona spojna (eng. *connection-oriented*) ili bespojna (eng. *connectionless*), o tome kakva je struktura hijerarhijskih globalnih adresa (npr. IP adrese na Internetu) te ovisno o načinu prosljeđivanja poruka.

OSI model pretpostavlja veliki broj neovisno i različito organiziranih podmreža što otežava stvaranje općenitih pravila usmjeravanja. ISO organizacija je zbog toga izgradila okosnicu usmjeravanja (eng. *routing framework*) unutar koje je definiran model OSI mreže, a problemi vezani uz usmjeravanje podijeljeni su u grupe za koje su predloženi različiti protokoli.

Jedinica podataka prenošenih u mrežnom sloju naziva se NPDU (eng. *Network Protocol Data Unit*), a pod pojmom sustav obuhvaćeni su ES (eng. *End System*) krajnji elementi, koji predstavljaju izvorište ili odredište NPDU paketa, i IS (eng. *Intermediate System*) međuelementi, koji usmjeravaju NPDU pakete među ES elementima. Svaki korisnik unutar ES elementa određen je svojom jedinstvenom NSAP (eng. *Network Service Access Point*) adresom, dok su IS elementi određeni svojim NET (eng. *Network Entity Title*) oznakama. Pojedini uređaj može objedinjavati funkcionalnosti ES i IS elemenata, npr. LAN/WAN pristupnik.

Globalna mreža sa svim podmrežama unutar OSI sustava modelira se globalnom domenom, tzv. „super OSI mrežom“, koja sadrži pridružene joj neovisne i razdvojene poddomene. Svakom od ovih domena

upravlja (eng. *administer*) ovlašteno tijelo pa se nazivaju AD domenama (eng. *Administrative Domain*). Pretpostavlja se potpuna neovisnost pojedinih AD domena i njihovo međusobno nepovjerenje. AD domena može biti podijeljena u više RD domena (eng. *Routing Domain*) s različitim procedurama usmjeravanja, a unutar njih nije ograničen broj sustava. Problem usmjeravanja u tako modeliranoj mreži svodi se na problem održavanja razumnih dimenzija tablica usmjeravanja, ali da sadrže podatke o svim sustavima i bez ograničenja na alokaciju adresnog prostora unutar RD domene. Usmjeravanje unutar OSI modela usko je vezano uz sustav adresiranja. Hijerarhijska struktura NSAP adresa definirana je ISO 8348/AD 2 standardom, a sastoji se od dva dijela:

- IDP (eng. *Initial Domain Part*) jednoznačno određuje domenu adresiranja i također se sastoji od dva dijela:
 - AFI (eng. *Address and Format Identifier*) određuje format i način dodjeljivanja IDI oznake,
 - IDI (eng. *Initial Domain Identifier*) oznaka odgovara mrežnoj domeni adresiranja.
- DSP (eng. *Domain Specific Part*) se dodjeljuje iz adresnog prostora domene. Može se sastojati od rekurzivnog slijeda oznaka poddomena s podacima značajnih prethodnoj „višoj“ poddomeni.

Hijerarhija sustava adresiranja ne preslikava se nužno u hijerarhiju usmjeravanja, pa tako sustavi iz iste domene usmjeravanja mogu, ali ne moraju, pripadati istoj domeni adresiranja. NSAP adrese s različitim IDP oznakama pripadaju različitim domenama adresiranja, a moguće je definirati i dodatnu razinu hijerarhije: velika domena adresiranja može biti podijeljena u više *područja*. Prednost ovakvog sustava je osiguravanje globalno jedinstvenih adresa pristupnih točaka mrežnih usluga, neovisno o fizičkoj lokaciji sustava koji podržava NSAP sustav adresiranja. Iz opisane strukture sustava adresiranja proizlazi osnovni problem usmjeravanja unutar OSI modela: kako na temelju NSAP adrese odredišta utvrditi sljedeću točku rute? Moguća rješenja ovog problema, i njihovi nedostaci, su:

- **Globalne tablice usmjeravanja** su nepraktične za održavanje i nadogradnju zbog zahtjeva za globalnom povezanošću.
- **Izvorišno usmjeravanje** je ono kod kojega pošiljatelj tijekom slanja podataka zadaje rutu. Ono zahtjeva poznavanje topologije mreže i zbog toga nije primjenjivo u općem slučaju.
- **Mehanizmi grupiranja** (eng. *clustering mechanisms*) dijele mrežu u veći broj preklapajućih grupa, a promjene u mrežnoj topologiji preslikavaju se u promjene pripadnosti elemenata pojedinim grupama. Usmjeravanje unutar RD domena provode prenošenjem potrebnih informacija u NSAP adresama. Ovo ograničenje ne dozvoljava usmjeravanje među različitim RD domenama i narušava pretpostavku neovisnosti AD domena.
- **Directory Service** usluge unutar mrežnog sloja, npr. ona propisana X.500 skupinom standarda, mogu se koristiti u postupku usmjeravanja za prikupljanje podataka o lokalnim i udaljenim NSAP adresama, pristupnicima i podmrežama. Time se rješava problem veličine tablica usmjeravanja, ali zbog distribuiranja baze podataka značajno opadaju performanse ovakvih sustava usmjeravanja. *Directory service* usluzi je za rad potreban funkcionalan mrežni sloj pa je za postavljanje ovakvog sustava potrebno specificirati posebne procedure na razini mrežnog sloja kako bi se uspostavile početne rute (npr. statičko usmjeravanje).

OSI okosnica usmjeravanja razlaže problem usmjeravanja na:

- usmjeravanje između ES elemenata i susjednih IS elemenata,
- usmjeravanje među različitim IS elementima jedne AD domene, bilo unutar (eng. *intra-domain*) ili među (eng. *inter-domain*) RD domenama,
- usmjeravanje među AD domenama.

Usmjeravanje unutar jedne podmreže odnosi se na usmjeravanje među ES i IS elementima dok se kod usmjeravanja među domenama podaci usmjeravaju samo među IS elementima. Tip podataka vezanih uz usmjeravanje koji se prenose među IS elementima ovisi o tome pripadaju li oni istoj ili različitim administrativnim domenama. Razlaganje problema usmjeravanja na tri komponente u praksi se svodi na:

- LAN mreža s velikim brojem čvorova i pristupom prema vanjskoj mreži preko jednog ili dva pristupnika,
- skupina međusobno povezanih LAN i WAN mreža unutar jedne organizacije,
- povezane mreže različitih organizacija.

3.2.1. Usmjeravanje unutar pod mreže

Općenito je međusobna komunikacija ES elemenata unutar pod mreže češća nego komunikacija s ES elementima izvan pod mreže, a kod prijenosa podataka unutar pod mreže nema potrebe za složenim usmjeravanjem temeljenim na NSAP adresama. Usmjeravanje se tada svodi na povezivanje NSAP adrese odredišta s njezinom SNPA (eng. *SubNetwork Point of Attachment*) adresom. NSAP adresi pojedinog ES elementa moguće je izvan pod mreže pristupiti samo preko IS pristupnih točaka.

Protokoli usmjeravanja unutar pod mreže barataju minimalnim informacijama o ES elementima i nije im potrebno prethodno znanje o topologiji pod mreže. Prilikom svakog spajanja ES element šalje ESH (eng. *End System Hello*) poruku kojom sve prisutne IS elemente obavještava o svom prisustvu na pod mreži, te osluškuje ISH (eng. *Intermediate System Hello*) poruku s poznate adrese IS elementa. Neovisno o NSAP adresi odredišta, ES element NPDU poruke uvijek šalje najbližem IS elementu koji ju nakon toga prosljeđuje drugom IS elementu ili odredištu. Ako se odredište i izvorište poruke nalaze na istoj pod mreži ili ako je poruku iz nekog razloga potrebno preusmjeriti, IS element na primljenu NPDU poruku izvorišnom ES elementu odgovara RD (eng. *ReDirect*) porukom.

3.2.2. Usmjeravanje unutar organizacije

Mnoge organizacije imaju vlastite računalne mreže čije su osnovne karakteristike:

- velik broj elemenata koji pripadaju međusobno povezanim pod mrežama,
- različiti protokoli usmjeravanja unutar pojedinih pod mreža,
- svim elementima upravlja jedno AA (eng. *Administrative Authority*) tijelo.

Korištenje različitih protokola usmjeravanja u pojedinim pod mrežama rezultiralo je uvođenjem domena usmjeravanja. Pojedina domena usmjeravanja može sadržavati na tisuće elemenata što otežava obradu, spremanje i razmjenu podataka potrebnih u postupku usmjeravanja. Kako bi se smanjilo zauzeće memorije, komunikacijskih i procesorskih resursa te kako bi se omogućilo hijerarhijsko usmjeravanje unutar RD domena, one se dijele na područja. Elementi pripadaju određenom području ako imaju prefiks adrese jednak adresi tog područja.

Protokoli za usmjeravanje među RD domenama djeluju na razini IS elemenata. Četiri procesa sudjeluju u razmjeni podataka potrebnih za usmjeravanje među IS elementima:

- **Ažuriranje** – osigurava da svaki IS element obavještava sve ostale o svojim susjedima (o NSAP i NET adresama susjednih ES i IS elemenata, o vrijednostima različitih metrika usmjeravanja, ...). Ovi podaci prenose se LSP (eng. *Link State*) porukama. Također, ovaj proces prima istovrsne informacije od drugih IS elemenata i pohranjuje ih u RIB (eng. *Routing Information Base*) bazu podataka.
- **Odlučivanje** – koristi informacije iz RIB baze podataka za proračun najkraćih ruta do svih odredišta unutar domene. Samo se najisplativije (eng. *least cost*) rute pohranjuju u bazu podataka za prosljeđivanje.
- **Prosljeđivanje** – na temelju podataka iz baze podataka za prosljeđivanje određuje kojem elementu se prosljeđuje primljena NPDU poruka.
- **Primanje** – filtriranjem primljenih poruka prikuplja informacije potrebne za usmjeravanje.

IS elementi unutar domene podijeljeni su u dva sloja. IS elementi prvog sloja provode usmjeravanje podataka među i prema elementima unutar pripadnog područja, a IS elementi drugog sloja predstavljaju pristupne točke prema području kojem pripadaju i provode usmjeravanje među područjima. Kada IS element prvog sloja primi poruku koju treba usmjeriti analizom adrese odredišta, provjerava nalazi li se ona unutar njegova područja. Ako je rezultat ove provjere potvrđan, poruka se usmjerava ka odredištu, a u suprotnom se usmjerava prema najbližem IS elementu drugog sloja. To može biti taj isti element, jer pojedini IS elementi mogu provoditi zadatke usmjeravanja u oba sloja.

3.2.3. Usmjeravanje među organizacijama

Tijekom povezivanja različitih administrativnih domena potrebno je kontrolirati razmjenu podatka o usmjeravanju. IS element jedne AD domene ne bi smio moći mijenjati odluke o usmjeravanju IS elementa druge AD domene slanjem zlonamjerno oblikovanih podataka o usmjeravanju. S druge strane, potrebno je spriječiti širenje potencijalno osjetljivih informacija o administrativnoj domeni izvan njenih granica. Razmjena podataka o usmjeravanju među AD domenama treba osigurati globalnu

povezanost i omogućiti optimiziranje usmjeravanja. Ovo je moguće postići korištenjem GW-IS (eng. *GateWay – Inetrmediate System*) protokola, centraliziranim usmjeravanjem ili pomoću *Directory Service* usluge

4. Usmjereni protokoli i protokoli usmjeravanja

Protokol je skup pravila koja određuju kako dva uređaja međusobno komuniciraju te definiraju format podatkovnih paketa koji se šalju komunikacijskim linijama. Protokoli usmjeravanja usmjerivačima omogućuju dinamičko oglašavanje i učenje dostupnih ruta među pojedinim mrežnim uređajima, te zaključivanje koje od tih ruta su najbolje po nekom kriteriju. Protokoli usmjeravanja iz skupa IP protokola su:

- RIP (eng. *Routing Information Protocol*),
- OSPF (eng. *Open Shortest Path First*),
- IS-IS (eng. *Intermediate System to Intermediate System*),
- IGRP (eng. *Interior Gateway Routing Protocol*),
- EIGRP (eng. *Enhanced IGRP*),
- BGP (eng. *Border Gateway Protocol*).

Usmjereni protokoli su oni koje je moguće usmjeravati. Oni se koriste za prijenos različitih informacija računalnom mrežom, a rute kojima te informacija putuju određuju odgovarajući protokoli usmjeravanja. Protokoli usmjeravanja usmjeruju usmjerene protokole. Neki od usmjerenih protokola su:

- IP (eng. *Internet Protocol*)
 - Telnet
 - RPC (eng. *Remote Procedure Call*)
 - SNMP (eng. *Simple Network Management Protocol*)
 - SMTP (eng. *Simple Mail Transfer Protocol*)
- Novell IPX (eng. *Internetwork Packet eXchange*),
- OSI mrežni protokol,
- DECnet (eng. *Digital Equipment Corporation*),
- AppleTalk,
- Banyan VINES (eng. *Virtual Integrated Network Service*),
- XNS (eng. *Xerox Network System*).

Osim usmjerenih i protokola usmjeravanja postoje i oni koje nije moguće usmjeravati. Oni su namijenjeni komunikaciji uređaja unutar jednog segmenta mreže i sve su rjeđe u upotrebi. Primjeri ovakvih protokola su:

- NetBEUI (eng. *NetBIOS Extended User Interface*),
- DLC (eng. *Data Link Control*),
- LAT (eng. *Local Area Transport*),
- DRP (eng. *Distribution and Replication Protocol*),
- MOP (eng. *Maintenance Operations Protocol*).

5. Tablice usmjeravanja

Tablice usmjeravanja predstavljaju baze podataka smještene na usmjerivačima unutar kojih su pohranjeni podaci o topologiji mreže. Koriste se prilikom prosljeđivanja podatkovnih paketa tako što se adresa odredišta povezuje s mrežnim rutama koje do njega vode. Izgradnja i održavanje ovih tablica osnovni je zadatak protokola usmjeravanja.

Kod najjednostavnijeg modela usmjeravanja, tzv. *hop-by-hop* modela, svaka tablica usmjeravanja sadrži adresu sljedećeg uređaja na ruti prema svakom dostupnom odredištu. U ovakvom slučaju i pod pretpostavkom dosljednosti tablica usmjeravanja, jednostavan algoritam prosljeđivanja paketa prema sljedećem uređaju na ruti osigurava uspješno usmjeravanje podataka prema svim odredištima u mreži. U praksi se umjesto opisanog jednostavnog modela usmjeravanja sve češće koriste slojevite arhitekture, npr. MPLS (eng. *Multiprotocol Label Switching*), kod kojih je pomoću jednog zapisa iz tablice usmjeravanja moguće odrediti nekoliko sljedećih postaja na ruti prema odredištu. Na ovaj se način smanjuje broj potrebnih čitanja tablice te se poboljšavaju performanse usmjeravanja.

Osnovni problem u izgradnji tablica usmjeravanja je potreba za pohranjivanjem ruta prema velikom broju mrežnih odredišta unutar ograničenog memorijskog prostora. Pretpostavka na kojoj se temelji usmjeravanje je da se slične adrese odnose na uređaje blisko smještene unutar mreže, što su adrese sličnije to su uređaji bliže postavljeni. Ovime je omogućeno pohranjivanje rute prema većem broju odredišta jednim zapisom u tablici usmjeravanja. Grupiranje mrežnih odredišta aktivno je područje istraživanja, a trenutno na Internetu prevladava CIDR (eng. *Classless Inter-Domain Routing*) tehnologija interpretiranja IP adresa.

Tablice usmjeravanja među pojedinim elementima mreže moraju biti dosljedne, kako ne bi došlo do zatvaranja petlji usmjeravanja. Ovo je naročito važno kod *hop-by-hop* modela kod kojih nedosljedne tablice nekolicine usmjerivača mogu dovesti do prosljeđivanja paketa u beskonačnoj petlji. Osiguravanje dosljednosti tablica i ograničavanje njihove veličine glavni su zadaci protokola usmjeravanja.

6. Značajke protokola usmjeravanja

Ovisno o primjeni za koju je algoritam usmjeravanja razvijen, naglasak je kod pojedinog protokola postavljen na jednu ili više sljedećih karakteristika:

- optimalnost,
- jednostavnost,
- robusnost i stabilnost,
- brza konvergencija i
- prilagodljivost.

6.1. Optimalnost

Optimalnost se odnosi na sposobnost usmjerivača da odabere najbolju rutu. Koja je ruta najbolja ovisi o korištenoj metrici i o otežavanju metrika u slučaju njihova kombiniranja. Na primjer, neki algoritam usmjeravanja može kvalitetu rute ocjenjivati na temelju broja koraka i kašnjenja, ali tako da se u proračunu veća važnost pridaje kašnjenju. Algoritmi usmjeravanja moraju imati strogo definirane procedure za proračun metrike.

6.2. Jednostavnost

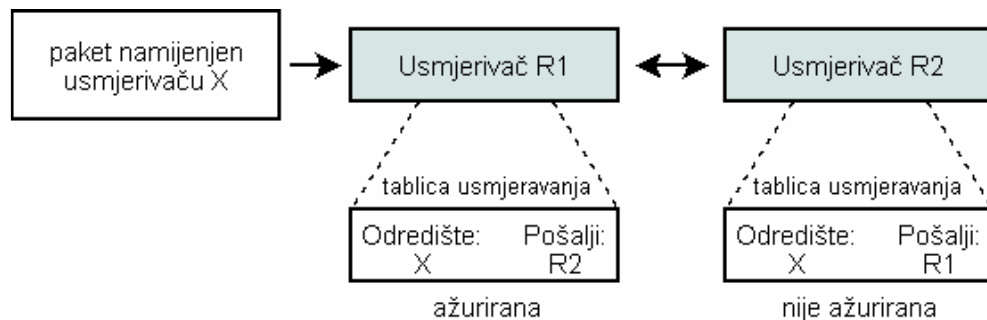
Algoritmi usmjeravanja oblikuju se da budu što jednostavniji. Algoritme je potrebno implementirati efikasno, sa što manjim aplikacijama i bez nepotrebnih funkcionalnosti. Efikasnost je posebno bitna u primjenama kod kojih se algoritmi usmjeravanja izvode na računalnim sustavima ograničenih računskih i memorijskih resursa.

6.3. Robusnost i stabilnost

Algoritmi usmjeravanja trebaju biti robusni, odnosno trebaju ispravno funkcionirati u neobičnim i nepredviđenim okolnostima kao što su sklopovski kvarovi, uvjeti visokog opterećenja ili pogreške u implementaciji. Usmjerivači predstavljaju najpovezanije čvorove računalne mreže i zbog toga njihovo zatajenje može uzrokovati značajne gubitke. Najboljima se smatraju prokušani algoritmi usmjeravanja koji su svoju vrijednost dokazali kroz duži vremenski period i u različitim uvjetima rada.

6.4. Brza konvergencija

Konvergencija je postupak u kojem se svi usmjerivači slože oko najbolje rute. Brza konvergencija je nužna karakteristika svakog algoritma usmjeravanja. Kada iz nekog razloga pojedini usmjerivač prestane raditi ili postane dostupan, usmjerivači razmjenjuju ažurirajuće poruke. Širenjem kroz mrežu ove poruke potiču ponovni proračun ruta koje postupno ponovno konvergiraju u optimalan raspored. Algoritmi usmjeravanja sa sporom konvergencijom mogu uzrokovati stvaranje beskonačnih petlji i ispade mreže.



Slika 1: Petlja usmjeravanja uzrokovana sporom konvergencijom

Na slici *Slika 1* prikazana je petlja usmjeravanja uzrokovana sporom konvergencijom algoritma usmjeravanja. Usmjerivač R1 prima paket i, kako mu je tablica usmjeravanja ažurna, šalje ga optimalnom rutom čiji je sljedeći korak usmjerivač R2. Tablica usmjeravanja ovog usmjerivača nije još ažurirana te on kao sljedeći korak optimalne rute vidi usmjerivača R1 i zbog toga vraća paket. Ova petlja se ponavlja dok se tablica usmjeravanja usmjerivača R2 ne ažurira ili dok se ne dosegne maksimalan broj prosljeđivanja paketa.

6.5. Prilagodljivost

Algoritmi usmjeravanja trebaju se brzo i pravilno prilagođavati različitim događajima u mreži. Na primjer, u slučaju ispada segmenta mreže algoritam usmjeravanja treba brzo pronaći sljedeću najbolju rutu za svaku rutu koja je jednim svojim dijelom prolazila nedostupnim segmentom mreže. Algoritmi usmjeravanja mogu biti postavljeni tako da se prilagođuju promjenama propusnosti mreže, veličine redova čekanja usmjerivača, kašnjenja i drugih varijabli.

7. Vrste protokola usmjeravanja

Prema tipu algoritmi usmjeravanja dijele se na:

- statičke i dinamičke,
- algoritme s jednom ili više ruta,
- jednorazinske i hijerarhijske,
- izvorišno usmjeravanje i usmjeravanje usmjerivačima,
- unutar domene i među domenama te
- *link state* i *distance vector*.

7.1. Statički i dinamički algoritmi usmjeravanja

Statičke tablice usmjeravanja postavlja mrežni administrator prije početka usmjeravanja. Ovakve tablice mijenjaju se samo na intervenciju administratora. Statički algoritmi usmjeravanja su jednostavni i dobro rade u uvjetima predvidljivog mrežnog prometa i jednostavnih topologija. Zbog nemogućnosti prilagodbe mrežnim promjenama ovi algoritmi nisu primjenjivi u velikim i promjenjivim mrežama kakve su danas najčešće.

Dinamički se algoritmi usmjeravanja u stvarnom vremenu prilagođavaju uvjetima na mreži na temelju rezultata analize pristiglih ažurirajućih poruka. Ako ove poruke pokazuju da je došlo do promjene mreže obavlja se proračun novih ruta te se šalju nove ažurirajuće poruke. Poruke propagiraju mrežom izazivajući prilagodbu svih usmjerivača novim uvjetima.

Dinamički algoritmi usmjeravanja mogu u određenim primjenama biti nadopunjeni statičkim algoritima. Na primjer, moguće je postaviti posljednji usmjerivač (eng. *router of last resort*) prema kojemu se usmjeravaju svi paketi koji nisu uspjeli pronaći put prema odredištu.

7.2. Algoritmi usmjeravanja s jednom ili više ruta

Neki napredniji algoritmi usmjeravanja podržavaju više ruta prema istom odredištu. Takvi algoritmi omogućuju multipleksiranje prijenosa podataka preko više linija. Prednosti algoritama s više linija pred onima s jednom linijom su u većoj propusnosti i pouzdanosti.

7.3. Jednorazinski i hijerarhijski algoritmi usmjeravanja

Neki algoritmi usmjeravanja djeluju na jednoj razini dok drugi provode hijerarhijsko usmjeravanje. Kod jednorazinskih algoritama svi usmjerivači su ravnopravni, dok kod hijerarhijskih algoritama pojedini usmjerivači tvore strukturu koja bi se mogla usporediti s kralježnicom. Paketi iz usmjerivača koji ne pripadaju ovoj glavnoj skupini šalju se prema „kralježnici“, putuju njome do područja u kojemu se nalazi odredište i potom, opet preko „vanjskih“ usmjerivača, prema samom odredištu.

Sustavi usmjeravanja često su organizirani u skupine koje se nazivaju domenama, autonomnim sustavima ili područjima. U hijerarhijskim sustavima pojedini usmjerivači unutar domene mogu komunicirati s usmjerivačima izvan nje, dok je komunikacija ostalih usmjerivača ograničena unutar domene. Kod većih mreža moguće je definirati više hijerarhijskih razina. Usmjerivači najviše razine tvore „kralježnicu“.

Osnovna prednost hijerarhijskog usmjeravanja je u tome što preslikava organizacijsku strukturu većine tvrtki pa dobro podržava njihove komunikacijske uzorke. Većina mrežne komunikacije odvija se unutar manjih grupa unutar tvrtke (odnosno unutar domena usmjeravanja). Usmjerivači koji djeluju samo unutar domene mogu zbog toga izvoditi jednostavnije algoritme usmjeravanja. Ovisno o korištenom algoritmu, moguće je umanjiti i opseg ažurirajućeg prometa.

7.4. Izvorišno usmjeravanje i usmjeravanje usmjerivačima

Izvorišno usmjeravanje je ono kod kojeg izvorišni element određuje rutu poslanih paketa. U takvim sustavima usmjerivači djeluju kao jednostavni uređaji za pamćenje i prosljeđivanje primljenih paketa. Druga je varijanta u kojoj usmjerivači na temelju vlastitih proračuna određuju rutu. Izvorišno usmjeravanje omogućuje otkrivanje boljih ruta zbog toga što se usmjeravanje provodi prije samog slanja paketa. Nedostatak ovog pristupa je potreba za odašiljanjem velikog broja probnih paketa za otkrivanje najbolje rute i dulje trajanje postupka usmjeravanja.

7.5. Algoritmi usmjeravanja unutar domene i među domenama

Pojedini algoritmi provode usmjeravanje unutar domena, dok drugi to čine među različitim domenama. Zbog prirode zadatka kojeg obavljaju, ovi se algoritmi razlikuju te algoritam koji je optimalan za usmjeravanje unutar domene ne mora biti optimalan i za usmjeravanje među domenama.

7.6. *Link state* i *distance vector* algoritmi usmjeravanja

Link state algoritmi (poznati i kao *shortest path first* algoritmi) distribuiraju podatke potrebne za usmjeravanje tako da svaki usmjerivač svim ostalim šalje podatke o svojim vezama. *Distance vector* algoritmi (poznati i kao Bellman-Ford algoritmi) distribuiraju podatke o usmjeravanju tako da svaki usmjerivač cijelu svoju tablicu informacija dijeli sa susjednim usmjerivačima. *Link state* algoritmi šalju male ažurirajuće poruke na mnogo adresa, a *distance vector* algoritmi šalju veće ažurirajuće poruke samo susjednim usmjerivačima.

Link state algoritmi imaju bržu konvergenciju pa su prema tome i otporniji na petlje usmjeravanja. Njihovi nedostaci su veći zahtjevi za procesorskim i memorijskim resursima, zbog čega je njihovo postavljanje i održavanje skuplje, te su manje skalabilni. Dodavanjem novih usmjerivača povećava se učestalost slanja ažurirajućih poruka i produžuje vrijeme proračuna ruta. Zbog toga se *link state* protokoli uglavnom koriste unutar podmreža, a *distance vector* protokoli najčešće usmjeravaju promet među mrežama i preko Interneta.

8. Parametri odabira rute

Algoritmi usmjeravanja koriste različite metrike za utvrđivanje najbolje rute. Napredniji algoritmi mogu provoditi usmjeravanje kombiniranjem više metrika u jednu, hibridnu, metriku. U upotrebi su sljedeće metrike:

- duljina rute,
- pouzdanost,
- kašnjenje,
- propusnost,
- opterećenje i
- cijena.

8.1. Duljina rute

Duljina rute je najčešće korištena metrika. Neki protokoli usmjeravanja omogućuju mrežnim administratorima pridjeljivanje proizvoljnog troška pojedinim mrežnim vezama. Duljina rute je tada zbroj troškova svih mrežnih veza koje ju čine. Drugi protokoli uvode broj koraka (eng. *hop count*) kao broj mrežnih uređaja, npr. usmjerivača, kroz koje paket prolazi na putu od izvorišta do odredišta.

8.2. Pouzdanost

Pouzdanost se, u kontekstu mrežnog usmjeravanja, odnosi na pouzdanost pojedinih mrežnih veza. Ona se najčešće opisuje udjelom neispravno prenesenih bitova. Pokazatelj pouzdanosti može biti i vrijeme potrebno za osposobljavanje mrežne veze nakon njena prekida uslijed kvara ili napada. Ocjene pouzdanosti pojedinim vezama uglavnom dodjeljuju mrežni administratori u obliku brojčanih vrijednosti proizvoljnog iznosa.

8.3. Kašnjenje

Kašnjenje je vrijeme potrebno za prijenos podatkovnog paketa od izvorišta do odredišta. Ono ovisi o mnogim čimbenicima, među kojima su: propusnost pojedinih mrežnih veza, redovi čekanja na usmjerivačima, zagušenost mreže i fizička udaljenost koju paket treba prijeći. Ovisnost kašnjenja o većem broju značajki mreže čini ovu metriku vrlo praktičnom i jednom od češće korištenih.

8.4. Propusnost

Propusnost se odnosi na komunikacijski kapacitet mrežne veze. Iako je propusnost maksimalan iznos protoka podataka putem komunikacijskog kanala, rute koje vode mrežnim vezama veće propusnosti nisu nužno bolje od ruta koje uključuju sporije veze. Na primjer, ako je brža veza zagušena intenzivnim prometom, paket može brže stići do odredišta rutom koja vodi preko sporijih, ali nezauzetih veza.

8.5. Opterećenje

Opterećenje je stupanj zauzetosti mrežnog resursa, npr. usmjerivača. Moguće ga je proračunati na razne načine kao što su: broj obrađenih podatkovnih paketa u sekundi ili iskorištenost CPU jedinice. Konstantan nadzor ovih parametara može sam po sebi zauzeti značajne resurse.

8.6. Cijena

Cijena prijena podataka određenom rutom jedna je od značajnijih metrika. Pojedinim tvrtkama troškovi rada mogu biti značajniji od performansi. Tako je moguće odabrati slanje paketa sporijom vezom koja je u vlasništvu dane tvrtke umjesto brže javne linije čije se korištenje naplaćuje.

9. Opis nekih protokola usmjeravanja

Slijedi kratak pregled nekolicine protokola usmjeravanja.

9.1. IP

Pojam IP (eng. *Internet Protocol*) usmjeravanja odnosi se na skup protokola koji omogućuju usmjeravanje preko većeg broja mreža. To su protokoli:

- BGP
- IS-IS
- OSPF
- RIP

IP podatkovni paketi prosljeđuju se prema tablici usmjeravanja pojedinog usmjerivača, a na temelju IP adrese unutar IP zaglavlja paketa. Sljedeći usmjerivač na ruti ponavlja ovaj postupak koristeći vlastitu tablicu usmjeravanja i tako sve dok paket ne dosegne odredište. IP adresa pohranjena u paketu pruža dovoljno informacija za određivanje sljedećeg koraka, bez potrebe za dodatnim zaglavljima.

U cilju unaprjeđivanja usmjeravanja, Internet je podijeljen u autonomne sustave (AS). AS predstavlja skupinu usmjerivača koji koriste isti protokol i pod kontrolom su jednog administratora. Na primjer, mreža pojedine tvrtke ili ISP (eng. *Internet Service Provider*) poslužitelja može se smatrati autonomnim sustavom. Autonomne sustave moguće je podijeliti u tri skupine:

- **Ogranak** (eng. *stub AS*) povezan je samo s jednim drugim autonomnim sustavom pa svi paketi čije je odredište izvan autonomnog sustava putuju preko te veze. Primjer ovakvog sustava je računalna mreža studentskog doma.
- **Prijelazni AS** ima višestruke veze s jednim ili više drugih autonomnih sustava, pa njime mogu prolaziti paketi čije se odredište nalazi unutar nekog drugog AS sustava. Mreža ISP poslužitelja primjer je ovakvog autonomnog sustava.
- **Višestruko povezani AS** (eng. *multihomed*) višestruko je povezan s jednim ili više drugih autonomnih sustava, ali ne dopušta prosljeđivanje paketa primljenih iz vanjskih autonomnih sustava prema van. Drugim riječima ovi sustavi ne omogućuju posredničko djelovanje prijelaznih autonomnih sustava. Slični su ogranku s tom razlikom da je prilikom slanja paketa prema drugim autonomnim sustavima moguće odabrati između više veza. Velike mreže različitih tvrtki najčešće su višestruko povezani autonomni sustavi.

IGP (eng. *Interior Gateway Protocol*) protokol provodi usmjeravanje unutar autonomnog sustava. Omogućuje prijenos podataka među elementima autonomnog sustava te od ulazne do izlazne točke sustava, ako se radi o prijelaznom autonomnom sustavu. Usmjeravanje među autonomnim sustavima provodi se EGP (eng. *Exterior Gateway Protocol*) protokolom. Ovaj protokol usmjerivačima unutar AS sustava omogućuje odabir izlaznog čvora u slučaju prosljeđivanja paketa izvan autonomnog sustava. EGP i IGP protokoli surađuju tijekom usmjeravanja podataka Internetom. EGP protokol određuje kojim autonomnim sustavima paket treba proći da bi dosegao odredište, a IGP protokol usmjerava paket unutar autonomnog sustava na putu od ulaznog do izlaznog čvora, odnosno od ulaznog čvora do odredišta.

9.2. BGP

BGP (eng. *Border Gateway Protocol*) je *distance vector* EGP protokol, namijenjen usmjeravanju među autonomnim sustavima, a najčešće se koristi za razmjenu informacija među ISP poslužiteljima te između ISP poslužitelja i većih korisnika.

Kada se BGP protokol koristi između dva ili više autonomnih sustava onda se još naziva i EBG (eng. *External BGP*) dok su oni unutar jednog autonomnog sustava poznati pod nazivom IBGP (eng. *Interior BGP*). IBGP se koriste samo za koordinaciju i sinkronizaciju BGP informacija kroz autonomni sustav, ali ne kao klasični unutarnji protokol usmjeravanja. Usmjerivači koji podržavaju BGP protokol obično su najjači i najskuplji uređaji u mreži, a mogu sadržavati jako velike tablice usmjeravanja, s više od 100 000 ruta. Zbog ovako velikih tablica usmjeravanja BGP protokol je trom – time su spriječene učestali proračuni svih ruta u slučaju ispada pojedinih lokalnih mreža.

9.3. IS-IS

IS-IS (eng. *Intermediate System to Intermediate System*) pripada skupini IGP protokola namijenjenih usmjeravanju unutar autonomnog sustava. To je *link state* protokol kod kojega svi usmjerivači imaju

podatke o topologiji cjelokupne mreže. Na temelju takvog poznavanja mreže rute se u cijelosti proračunavaju, od izvorišta do odredišta paketa, SPF (eng. *Shortest Path First*) ili Dijkstra algoritmom. Glavne odlike ovog protokola su:

- prilagodba promjenama mrežne topologije proračunom novih ruta,
- omogućuje usmjeravanje preko višestrukih ruta jednakog troška,
- omogućuje usmjeravanje na dvije hijerarhijske razine i
- postojanje podrške za autorizaciju usmjerivača.

9.4. OSPF

OSPF (eng. *Open Shortest Path First*) je *link state* hijerarhijski IGP protokol. To je najčešći IGP protokol kod velikih računalnih mreža. Rute proračunava Dijkstra algoritmom i omogućuje korištenje MD5 (eng. *Message Digest algorithm 5*) algoritma za provjeru autentičnosti usmjerivača. Nova inačica ovog protokola (OSPFv3) podržava IPv6 skupinu protokola, a razvijena je i MOSPF (eng. *Multicast Open Shortest Path First*) nadogradnja OSPF protokola koja još nije prisutna u široj upotrebi.

9.5. IGRP

IGRP (eng. *Interior Gateway Routing Protocol*) je *distance vector* IGP protokol tvrtke Cisco. Razvijen je kako bi se prevladala ograničenja RIP protokola, prije svega ograničenje na broj koraka usmjeravanja. Omogućuje korištenje višestrukih metrika, među kojima su propusnost, opterećenje, kašnjenje, MTU (eng. *Maximum Transmission Unit*) i pouzdanost. Kombiniranje ovih metrika u jednu obavlja se formulom koja koristi prethodno postavljene parametre. Maksimalan broj koraka usmjeravanja je 255, a prvotno je postavljeno ograničenje na 100 koraka. Umjesto postavljanja uobičajene rute (eng. *gateway of last resort*) mrežni administratori kod ovog protokola neku od postojećih statičkih ruta označuju kao uobičajenu. Ako je označeno više takvih ruta usmjerivači odabiru najbolju, ovisno o odabranim metrikama.

9.6. EIGRP

EIGRP (eng. *Enhanced IGRP*) je napredna inačica IGRP protokola usmjeravanja tvrtke Cisco. To je *distance vector* protokol građen tako da minimizira nestabilnost usmjeravanja uslijed promjena topologije te korištenje komunikacijskih i procesorskih resursa. Temelji se na DUAL (eng. *Diffusing Update ALgorithm*) algoritmu razvijenom na SRI (eng. *Stanford Research Institute*) institutu.

9.7. RIP

RIP (eng. *Routing Information Protocol*) je jedan od najčešće korištenih IGP protokola na internim računalnim mrežama, a rjeđe se koristi kod mreža povezanih na Internet. Iako se još uvijek aktivno koristi smatra se zastarjelim te njegovu ulogu preuzimaju moderniji protokoli kao što su OSPF i IS-IS protokoli. RIP je *distance vector* protokol koji kao metriku koristi broj koraka. Maksimalno je dozvoljeno 15 koraka, odnosno nakon 15 prosljeđivanja jednog paketa protokol zaključuje da ga nije moguće dostaviti do odredišta. Svakih 30 sekundi RIP usmjerivači odašilju ažurirajuće poruke.

9.8. IPX

IPX (eng. *Internetwork Packet eXchange*) je protokol mrežnog sloja OSI modela iz skupine IPX/SPX protokola. Ovaj protokol prvotno je korišten kod *Novell Netware* operacijskog sustava čija je popularnost tijekom 1980-ih i 1990-ih godina pridonijela popularizaciji spomenutog protokola. Rast popularnosti TCP/IP skupa protokola postepeno istiskuje IPX protokol iz upotrebe.

IPX protokol provodi usmjeravanje prema IPX tablicama usmjeravanja, sličnima IP tablicama usmjeravanja. Usmjeravanje se provodi prema mrežnim adresama. Unutar tablica usmjeravanja za svaku adresu postavljen je sljedeći usmjerivač na ruti.

9.9. XNS

XNS (eng. *Xerox Network System*) je skupina protokola tvrtke Xerox koja omogućuje usmjeravanje i prosljeđivanje podatkovnih paketa, ali i neke funkcionalnosti viših slojeva kao što su osiguravanje

pouzdanog prijenosa niza podataka (eng. *reliable stream*) i RPC (eng. *Remote Procedure Call*) pozivi. Protokol je razvijen u Xerox PARC razvojnom centru tijekom ranih 1980-ih godina nadogradnjom PUP (PARC Universal Packet) skupine protokola. Ova skupina protokola više nije u upotrebi, ali je odigrala važnu ulogu u razvoju mrežnih tehnologija naglašavajući potrebu istovremenog podržavanja različitih mrežnih protokola.

Protokol mrežnog sloja OSI modela iz ove skupine paketa je IDP (eng. *Internet Datagram Protocol*) koji odgovara IP protokolu iz TCP/IP skupa protokola. IDP se od IP protokola razlikuje po tome što razlikuje više tipova paketa, polja spojnice (eng. *socket*) su dio mrežne adrese, omogućuje prijenos ispitnog zbroja cijelog paketa, paketi su manji od IP paketa i nije ih moguće fragmentirati.

10. Zaključak

Upotreba sve većih i složenijih dinamičkih računalnih mreža, međusobno umrežavanje raznorodnih uređaja, povezivanje različitih mreža u složene strukture te rastuća ovisnost suvremene civilizacije o mrežnim tehnologijama naglašavaju važnost protokola usmjeravanja. Točno i pravovremeno dostavljanje poslanih podataka ne predstavlja samo pogodnost već nužnost te može spriječiti značajne gubitke.

Zbog rastuće složenosti problema usmjeravanja potrebno se prilikom osmišljavanja i implementacije protokola usmjeravanja držati općih preporuka danih unutar OSI modela. Usklađenost protokola sa spomenutim modelom osigurava njihovu kompatibilnost sa starijim protokolima, ali i s budućim tehnologijama. Priroda mrežnih tehnologija sama po sebi nameće potrebu standardizacije.

Postoje značajne razlike među pojedinim protokolima usmjeravanja kao i među njihovim mogućim primjenama pa je potrebno pažljivo odabrati protokol za određenu primjenu. Na primjer, statički algoritam usmjeravanja može biti prikladan za primjenu u maloj zatvorenoj kućnoj mreži, ali nikako ne može izvršavati složene zadatke usmjeravanja unutar računalne mreže neke veće tvrtke.

11. Reference

- [1] Routing protocols, <http://www.networkdictionary.com/protocols/routing.php>, veljača 2007.
- [2] Steve Burnett: Razumijevanje protokola TCP/IP, http://www.101.com/pdf/L_05/Razumevanje_protokola_tcp-ip.pdf, veljača 2007.
- [3] Marina Sović: Protokoli za usmjeravanje, http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2006/SovicMarina_Protokolizausmjeravanje.pdf, veljača 2007.
- [4] Joshua Erdman: 7 Layer OSI Model, <http://www.networkclue.com/routing/tcpip/osi-model.aspx>, veljača 2007.
- [5] ISO/OSI Network Model, http://www.uwsg.iu.edu/usail/network/nfs/network_layers.html, veljača 2007.
- [6] Christian Huitem, Walid Dabbous: Routing protocols development in the OSI architecture, INRA Centre de Sophia Antipolis, 2004.
- [7] Internetworking Technology Overview, Chapter 2: Routing Basics, <http://www.tele.sunyit.edu/internetworking/55171.htm>, veljača 2007.
- [8] Routing, Routed and Non-Routable Protocols, http://www.inetdaemon.com/tutorials/internet/ip/routing/routing_vs_routed.shtml, veljača 2007.
- [9] What is IP Routing?, <http://www.dataconnection.com/iprouting/ipprotocol.htm>, veljača 2007.