**FOTONIČKE KOMUNIKACIJSKE MREŽE**

KOMUTIRANJE-proces upravljanja kojim se signal sa ulaza preusmjerava na neki od izlaza.

TIPOVI OPT. KOMUTACIJE-Space Division Switching, Wavelength Division Switching, Time Division Switching, Hybrid of Space, Time and Wavelength

TIPOVI KOMUTATORA- elektronička konverzija I elektroničko komutiranje, elektronička konverzija I optičko komutiranje I sveopticki komutator.

GRANULARNOST KOMUTACIJE

-“gruba” na razini vlakna(*fiber switching*)- svi signali sa ulaznog vlakna komutiraju se na neko od izlaznih vlakana

-na razini valnog pojasa(*waveband switching*)- skup kanala je spojen u valni pojas, a pojas se sastoji od 2 ili vise valnih duljina. Svaki pojas se komutira neovisno o drugima.

-na razini valne duljine(*wavelength switching*)- poseban slučaj komutacije na razini valnog pojasa, WDM signal se demultipleksira na valne duljine I onda se svaka komutira neovisno o drugima

-“fina” pod-valno komutiranje(*sub-wavelength switching*)- Time Division Multiplexing unutar jedne valne duljine. U takvom sustavu svaki vremenski odsjecak nosi podatke drugog korisnika I moze se komutirati neovisno o drugima.

RAZINE KOMUTIRANJA

-Opticka komutacija kanala(OCS)-uspostavljanje kanala prije komunikacije, stalno zauzimanje resursa tijekom trajanja komunikacija, vremenski zahtjevan process, neisplativo kod velikih mreža gdje je vrijeme uspostavljanja kanala veliko za aplikacije koje su kratkotrajne(razni zahtjevi), ali pogodno za aplikacije koje su imaju dugotrajni prijenos podataka.

-Opticka komutacija paketa(OPS)- nema rezervacije resursa, paketi se salju sa zaglavljem, pogodna za aplikacije koje imaju kratkotrajno vrijeme komunikacije.

-Opticka komutacija snopova(OBS)- kombinacija OCS I OPS, kontrolni paket vrsi rezervaciju resursa, rezervacija traje do kraja prijenosa podataka.

OPTICKI KOMUTATORI

Karakteristike:

-Propusnost- ukupni broj komutiranih bitova po sekundi, tj. sama brzina komutiranja

-Vjerojatnost blokiranja:

-striktno neblokirajuci(u svakom trenutku se signal moze sa svakog ulaznog porta prospojit na bilo koji izlazni slobodni port, neovisno o drugim komutacijama)

-neblokirajuci u sirem smislu(u svakom trenutku se signal sa svakog ulaznog porta moze prospojiti na bilo koji izlazni slobodni port koristeci neki od algoritama za pronalazenje komutacijskog puta)

-neblokirajuci sa svojstvom rekonfiguracije(u svakom trenutku se signal sa svakog ulaznog porta moze prospojiti na bilo koji izlazni slobodni port uz uvjet prebacivanja dijela postojecih konekcija na alternativne puteve)

-blokirajuci(nije u mogucnosti u svakom trenutku signal sa svakog ulaznog porta prospojiti na bilo koji slobodni izlazni port zbog uspostavljenih konekcija)

MEMS KOMUTATORI

-2D MEMS komutatori- preusmjeravanje pomocu zrcala napravljenih od silicija presvucenog zlatom, bolji su za manje brojeve ulaznih/izlaznih vlakana. Zrcala mogu biti u BAR stanje gdje propustaju svjetlost I CROSS stanju gdje je preusmjeravaju na jedan od izlaza.

-3D MEMS komutatori- slicni kao 2D ali su pogodniji za sustave sa velikim brojem ulazno/izlaznih vlakana jer im se zrcala mogu rotirati oko dvije osi, te se time postizu visestruke pozicije zrcala.

PROSPOJNI ČVOROVI

-OXC(*Optical Cross Connect*)-multipleksiranje, demultiplesiranje, prospajanje svjetlosnog puta sa ulaza na izlaz. Primjer je 2D MEMS

-OADM(*Optical Add Drop Multiplexer*)

-ROADM(*Reconfigurable OADM*)

CWDM standard

-optički filtri I nehlađeni laseri

-razmak kanala 20nm

-18 valnih duljina

-raspon valnih duljina 1270-1610nm

-maksimalni pomak valne duljine +-6,5nm

-izvan raspona valnih duljina dolazi do porasta prigusenja

-uglavnom se koristi 8 zadnjih kanala(11-18) I kanali od 2-5, da se izbjegne “*water peak*” u nitima koje nemaju to ispravljeno

CWDM je dobar za manje udaljenosti do 50km, jeftinija je tehnologija od DWDMa I može pružati brzine od 0,1-2,5Gbit/s.

WDM I RWA

WDM fizicka topologija mreze je skup valnih usmjeritelja I optickih niti koje ih povezuju.

WDM virtualna topologija mreže nam govori kojim putem prenijeti promet kroz mrežu. Poveznice u virtualnoj topologiji smatraju se svjetlosnim putevima.

Svjetlosni put je logicki put valne duljine izmedu para OXC-ova ili krajnjeg izvorista I odredista. Predstavlja sveopticki kanal, sto znaci da nema O/E konverzije I moze se prostirati kroz vise fizickih poveznica.

Komutacijska oprema moze biti podesiva I nepodesiva, sto nam govori moze li se oprema prilagodavati promjeni virtualne topologije.

RWA problem

Sastoji se od usmjeravanja I dodjeljivanja valnih duljina, tj. odabira fizickih puteva za svaki svjetlosni put I odredivanja valnih duljina za svaki svjetlosni put.

Zahtjevi za svjetlosnim putevima mogu biti staticki, rasporedeni I dinamicki.

Staticki zahtjevi su vec unaprijed poznati, a virtualna topologija se (polu)trajno uspostavlja.

Rasporedeni zahtjevi su unaprijed poznati kao I njihovo vrijeme trajanja, tj. raspored uspostave I raskida svj. Puteva je poznat unaprijed.

Dinamicki zahtjevi pristizu dinamicki I imaju slucajna vremena trajanja.

Za staticke I rasporedene zahtjeve je bitno minimizirati broj koristenih valnih duljina I duljinu svjetlosnih puteva, dok za dinamicke je bitno minimizirati vjerojatnost blokiranja I duljinu svjetlosnih puteva.

Ogranicenja RWA su broj valnih duljina, jedinstvenost valnih duljina ukoliko nema valnih pretvornika u mrezi I preklapanje svjetlosnih puteva pri cemu moramo svakome pridijeliti razlicitu valnu duljinu.

Kod statickih I rasporedenih zahtjeva RWA problem usmjeravanja se rjesava alogitmima za pronalazak najkracih puteva grafa, a pridjeljivanje valnih duljina algoritmom bojanja grafa.

Kod dinamickih zahtjeva usmjeravanje I dodjeljivanje valnih duljina se radi istovremeno, a postoji vise opcija:

-nepodesivo(jedan fiksan put određen za svaki par izvoriste-odrediste), brzo, ali velika vjerojatnost blokiranja

-viseizborno(postoji vise puteva za svaki par izvoriste-odrediste), brzo, malo manja vjerojatnost blokiranja

prilagodljivo(put se racuna prema trenutnom stanju mreze), manja vjerojatnost blokiranja, ali relativno sporo, tj. veca kasnjenja

Kod viseodredisnih zahtjeva sve je isto samo sto se problem usmjeravanja svodi na pronalazak stabla(npr. Problem Steinerovog stabla)

RASPOLOZIVOST mreze nam govori koliko je mreza sposobna raditi ispravno u odredenom trenutku, a to moze biti ugrozeno:

-Kvarovi mreze

-“tvrdim kvarovima” naglo prekidanje svjetlosnih puteva(rezanje opticke niti)

-“meki kvarovi” progresivno pogorsavanje kvalitete usluge(starenje opreme)

-Prirodne katastrofe

-namjerni napadi

Kvarovi u mrezi mogu biti na optickoj niti, na kabelu(vise optickih niti), cjevovodu(vise kabela), na cvorovima I na djelovima cvorova(predajnik/prijemnik).

Prezivljavanje je sposobnost mreze da podrzi promet I slucaju pojave kvarova, a to se postize uvodenjem redudancija.

Dva su mehanizma za prezivljavanje, a to su zastita I obnavljanje. Zastita(puta I poveznice) je pronalazak I zauzimanje rezervnih resursa unaprijed, dok je obnavljanje dinamicki mehanizam zauzimanja novih resursa nakon pojave kvara.

Prednost mehanizma zastite je brzina pronalaska rezervnih puteva, dok je nedostatak bespotrebno zauzimanje resursa. Kod mehanizma obnavljanja pronalazak rezervnih puteva je sporiji, ali je ucinkovitije koristenje resursa. Prednost nad zastitom je sto je otporan na razlicite vrste kvarova, a ne samo na one unaprijed odredene, dok je nedostatak to sto se ne moze garantirat siguran pronalazak rezervnih resursa.

Kod zastite jos imamo podjelu s obzirom na dijeljenje resursa:

-dijeljena zastita(svaki svjetlosni put ima svoj jedinstveni rezervni put), imamo 1:1 I 1+1, kod 1:1 se prenosi sve na primarnom putu, a nakon kvara na rezervnom, dok kod 1+1 se istovremeno salje po oba puta I odrediste bira s kojega ce uzimati

-pridjeljena zastita(svjetlosni putevi dijele dijelove rezervnih puteva, ali pod uvjetom da primarni putevi ne dijele zajednicki rizik od kvara).

Kod obnavljanja postoje tri tipa, obnavljanje poveznice, puta ili dijela puta. Kod obnavljanja poveznice otkriva se rezervni put za svaki svjetlosni put koji zaobilazi tu poveznicu, obnavljanje puta je isto kao I kod obnavljanja poveznica se svjetlosni put obnavlja rezervnim putem dobivenim iz obnavljanja poveznice I na kraju obnavljanje dijela puta je kada se pronalazi rezervni put od cvora koji je izvorisni na toj poveznici do svih odredisnih za sve svjetlosne puteve koji tuda prolaze.

USMJERAVANJE je postupak određivanja puta kojim će paket proći od izvorista do odredišta, a put se racuna pomocu algoritama usmjeravanja.

PROSLJEDIVANJE je postupak prosljedivanja paketa sa odredenog ulaznog sucelja na odreden izlazno sucelje koristenjem tablice usmjeravanja koju smo dobili u postupku usmjeravanja.

Postoje tri ravnine u komunikacijskoj mrezi s obzirom na funkcije koje obavljaju, a to su podatkovna(prosljedivanje, rasporedivanje I pohrana paketa), kontrolna(usmjeravanje , signalizacija) I upravljacka(analiza, konfiguracija).

Protokoli po razinama:

-podatkovna-SMTP, HTTP, POP

-kontrolna- RIP, BGP, SIP, DHCP, DNS, ARP

-upravljacka- SNMP

Protokoli usmjeravanja koriste se na kontrolnoj razini I mogu se podijeliti na one koji se koriste unutar I izvan autonomnih sustava.

Unutar autonomnih sustava su IGP protokoli, a najpoznatiji su RIP I OSPF, dok izvas su EGP I u praksi je samo jedna izvedba.

Ogranicenja klasicnih IP mreza su brzina rada usmjeritelja, kvaliteta usluge I prilagodljivost usmjeravanja.

U cilju toga poboljsanja krenulo se sa razvojem MPLS(MultiProtocol Label Switching), a osnovna ideja toga je bila uspostava virtualnih kanala kroz IP mrezu. MPLS je smjesten izmedu sloja podatkovne poveznice I mreznog sloja, tzv. Tehnologija 2,5.

Prosljedivanje se obavlja na temelju dodijeljenih labela koje se postavljaju kad paket ulazi u dio mreze koji podrzava MPLS. Usmjeritelji koji podrzavaju MPLS zovu se LSR(label-switched router). Rubni LSRovi su poznatiji kao LERovi(label edge ruter) I mogu biti iLER I eLER(ingress/egress), odnosno to su ulazni/izlazni usmjeritelji koji dodaju/uklanjaju MPLS oznake.

MPLS oznake se dodijeljuju na temelju FECa, a virtualni kanal(ili LSP label switched path) se mogu dodijeliti pojedinom FECu na dva nacina. Prvi nacin je Hop By Hop Routing, gdje svaki cvor (LSR) odreduje slijedeci skok neovisno o drugima, a drugi je Explicit routing gdje LER odreduje sve ili dio LSRova za svaki LSP.

Za razmjenu labela izmedu usmjeritelja koriste se protokoli LDP(label distribution protokol) ili prosirenje protokola BGP.

GMPLS ili Generalized MPLS je zapravo primjena MPLS u WDM mrezama s komutacijom valnih duljina.

LSR/LER->OXC

LSP->svjetlosni put

Valna duljina->oznaka(labela)

GMPLS ima tri klase protokola:

-protokoli usmjeravanja(OSPF I BGP, prosirene verzije)

-signalizacijski protokoli(CR-LDP)

-protokoli upravljanja poveznicom(LMP link management protocol)

SDN-Software Defined Network

Glavna ideja ove vrste mreza je da se iz dosadasnjih uredaja koji su imali objedinjene kontrolne I podatkovne funkcije, izdvoji kontrolne funkcije u jedan novi logicki upravljacki uredaj SDNcontroller. Mrezni uredaji zadrzavaju samo podatkovnu razinu/funkciju. Ovo donosi prijeko potrebnu fleksibilnost I olaksava tehnolosku evoluciju.

SDN se sastoji od tri sloja: Aplikacijski, Upravljacki I Podatkovni. Veza između upravljackog I podatkovnog se ostvaruje pomocu Southbound sucelja, a izmedu Aplikacijskog I Upravljackog pomocu Northbound sucelja. Kriticne tocke SDN su SDN controller. Za komunikaciju izmedu SDN controlera I mreznih uredaja koristi se OpenFlow standard koji omogucuje jasno razdvajanje kontrolne I podatkovne razine, te promiče sposobnost zajedničkog rada mreznih elemenata razlicitih proizvodaca.

Tri kategorije poruka izmedu SDN controller I mreznih elemenata su definirane OpenFlow standardom:

-poruke upravljackog uredaja(sluze za prosljedivanje naredbi mreznim uredajima)

-asinkrone poruke(sluze kada mrezni element ne zna sta napraviti sa paketom pa salje upit controlleru)

-sinkrone poruke(sluze za uspostavu veze izmedu SDNC I ME, te za prikupljanje podataka o statusu ME)