



QoS in high speed networks

Quality of service (QoS) in high-speed IP networks will be of a great interest to customers and service providers in the near future. The mechanisms for differentiating service are now being used in routers and switches. The general goal of this project is to develop management software in order to provide different QoS levels to customers in MPLS core networks.

The project is now concentrating on testing different MPLS traffic engineering techniques and quality-of-service queuing schemes. Further research will concentrate on the monitoring quality of service in the network and balancing the load through traffic engineering. Other areas will deal with increasing security in the management system and supporting virtual private networks.

Timo Hämäläinen (timoh@cc.jyu.fi) works as a System Manager in the Telecommunications Laboratory at the University of Jyväskylä.

Liikenteen ohjauksen myötä uusia tuulia verkkojen toimintaan

Liikenteen luokittelu terabittiverkossa



Kuva: Nokia

Terabittiverkossa tutkitaan laajakaistaisen monipalveluverkon hallintaa. Hankkeessa toteutetun hallintasoveluksen avulla verkkopalvelua tarjoava taho voi taata kullekin yhteydelle halutun tiedonsiirtokapasiteetin ja suorittaa laskutuksen varattujen resurssien mukaisesti. Hallintasovelus luokittelee asiakasverkosta tulevan liikenteen operaattoriverkon reunalla (edge) ja sen jälkeen operaattorin runkoverkkolaitteet (core) käsittelevät liikennettä niille ladatun säännösten mukaisesti.

Tällä hetkellä tutkimuksen pääpaino on liikenteen suunnittelussa (Traffic Engineering) ja siinä käytettävissä tekniikoissa.

Verkkolaitteiden uudet ja nopeat tiedonsiirtoratkaisut mahdollistavat eritasoisten ja hintaisten palveluiden tarjoamisen dataverkoissa. TLX-ohjelmaan kuuluvassa Terabitti-hankkeessa tutkitaan liikenteen suunnitteluun liittyviä teknisiä ratkaisuja palvelunlaadun takaamiseksi nopeissa liitäntä- ja runkoverkoissa.

Palvelunlaadun takaamiseksi käytetään haluttujen liikennevirtojen merkitsemistä IP- ja MPLS-paketeissa olevien kenttien avulla. Liikennevirrat ohjataan haluttuihin MPLS-TE-tunneleihin verkon reunalla. Liikennevirtojen merkkausta käytetään verkon laitteissa ruuhkan hallintaan käyttämällä jonotuksia ulosmenoliitännöissä. Jonotuksien avulla merkatulle liiken-

teelle taataan verkossa tietty määrä kapasiteettia ruuhkatilanteissa.

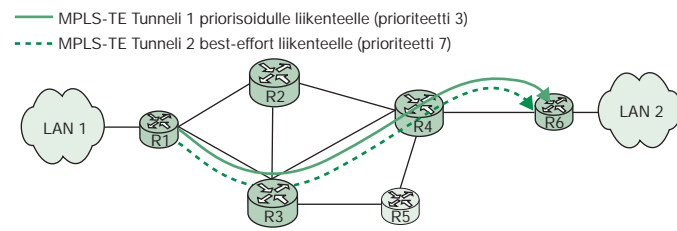
Palvelunlaadun takaaminen terabittiverkossa

Terabittiverkon tämän hetkinen konfiguraatio on esitetty kuvassa 1. Reitittimet R1 ja R6 ovat verkon reunalaitteita ja reitittimet R2, R3, R4 ja R5 muodos-

tavat runkoverkon.

Kuvan 1 reitittimet ovat osa palveluntarjoajan MPLS-verkkoa. Artikkelissa tarkastellaan vain reitittimiä R1–R5. Esimerkissä tarkastellaan verkon LAN1 liikennettä verkkoon LAN2 MPLS-rungossa. Terabittiverkossa käytetään OSPF-TE-reititysprotokollaa ja RSVP-TE-signaalointiprotokollaa.

Testiverkossa palvelunlaadun takaaminen voidaan toteuttaa seuraavien tekniikoiden avulla: CAR (Committed Access Rate) luokittelee paketit tiedonsiirt nopeuden perusteella. Mahdollistaa MPLS kehysten Exp-kentän asettamisen IP precedence- ja DSCP-kentän lisäksi.



Kuva 1. Terabittiverkon rakenne. Test network configuration

CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queuing) on jonotusalgoritmi, jonka avulla luokille voidaan taata määritellyt kaistat.

WRED (Weighted Random Early Detection) pyrkii estämään ruuhkien syntymisen pudottamalla liikennettä pakettiin IP precedence-, DSCP- tai MPLS exp-kentän mukaan.

Automaattinen kaistanvaraaja (Autobandwidth allocator) säätelee automaattisesti tunnelille varattua kaistanleveyttä. Tunnelissa liikkuvaa liikennettä näytteistetään määritellyin aikavälein, josta lasketaan keskiarvo tunnelissa liikkuvasta liikenteestä. Keskiarvoa käytetään tunnelin kaistanleveyden muuttamiseen.

LAN1-verkossa liikenne luokitellaan hallintasoveluksella IP-kehyyksen precedence-kentällä. Luokittelu säilytetään palveluntarjoajan MPLS-verkossa käyttämällä luokittelussa MPLS-kehyyksen Exp-kenttää, jotta asiakkaan toisessa verkossa (LAN2) voidaan hyödyntää luokittelua. Precedence-kentän arvolla 4 merkatulle LAN1-verkon tärkeälle dataliikenteelle pyritään takaamaan 30% linkin tiedonsiirtokapasiteetista sekä edullinen reitti verkon läpi.

LAN1-verkosta tulevaa best-effort liikennettä sallitaan verkkojen välillä maksimissaan 40% linkin kapasiteetista. Tälle liikenteelle ei taata kaistaa verkossa eli ruuhkatilanteessa best-effort liikennettä pudotetaan. Halutun kaistan takaamiseksi liikenteelle verkosta 1 verkkoon 2, MPLS-verkossa paketit merkaataan (CAR-tekniikka), ohjataan haluttuihin tunneliin sekä käytetään jonotusta (CB-WFQ) ruuhkatilanteiden hallitsemiseksi. Liikenne ohjataan tunneliin MPLS-verkon sisäänluloreitittimen (engl. ingress) sisäänluloiliytynässä seuraavassa kapaleessa esitettyjen tekniikoiden avulla.

Liikenteen ohjaaminen tunneliin MPLS-verkoissa kaikki liikenne tunneloidaan, jotta verkon lii-

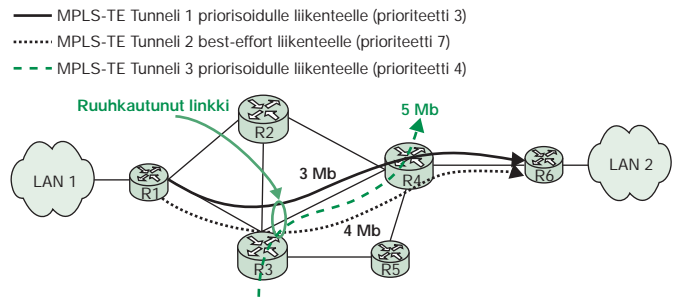
kennettä voidaan kontrolloida tehokkaammin. Toisaalta liikenteen ohjaamisella tunneliin voidaan varmistaa, että korkeimman prioriteetin omaava liikenne käyttää parhaita reittejä verkon ruuhkautuessa. Ruuhkatilanteessa matalamman prioriteetin liikenteitä voidaan ohjata vaihtoehtoisille reiteille, jolloin verkon käyttöastetta saadaan kasvatettua. Liikenteen ohjaaminen tunneliin voidaan tehdä seuraavilla menetelmillä:

- Yleisin tapa on käyttää tunnelia normaalin linkin tapaan IGP-protokollan reitinvalinnassa. Tunnelille määrätään kiinteä kustannusarvo (engl. metric), joka on pienempi kuin IGP laskema linkkien yhteiskustannus. Näin varmistetaan, että ko. tunneli tulee valituksi CSPF-algoritmin reitinvalinnassa.
- Toinen vaihtoehto liikenteen ohjaamiseen tunneliin on käyttää staattisia reittejä. Staattisilla reiteillä voidaan kaikki tiettyyn kohdeosoitteeseen menevä liikenne ohjata tunneliin. Jos halutaan ohjata vain tiettyä liikennettä tiettyyn tunneliin ei staattisten reittien käyttö ole järkevää.
- Kolmas vaihtoehto on käyttää politiikkaan perustuvaa reititystä (engl. policy based routing). Politiikkana voidaan käyttää esimerkiksi kohde- ja lähteosoiteita, protokollaa, sisäänluloiliytintä tai TOS-kenttää.

Kokemuksia liikenteen hallinnasta

Seuraavassa esitetään miten testiverkko käyttäytyy ruuhkatilanteessa ja miten verkoon tehdyt muutokset vaikuttavat tunnelien käyttäytymiseen. Riippumatta siitä kuinka verkon liikennevirta ohjataan ja miten verkko on suunniteltu, ilmenee verkossa ajoittain ruuhkia.

Esimerkkitapauksessa muodostetaan kaksi tunnelia LAN-verkkojen välissä olevaan MPLS-verkkoon. Korkean prioriteetin omaavalle liikenteelle luodaan eksplisiittinen tunneli solmujen R1, R3, R4 ja



Kuva 2. Verkon ruuhkautuminen. Network congestion

R6 välille (kuva 2, Tunneli 1). Tunnelin vaihtoehtoinen reitti määritellään dynaamiseksi.

Tunnelin prioriteetiksi asetetaan 3 ja kaistanleveydeksi 30% linkin kapasiteetista. Priorisoidun liikenteen ohjaamiseksi tunneliin käytetään politiikkaan perustuvaa reititystä. IP-kehyyksen Precedence-kentän arvolla 4 tuleva liikenne edelleenläheteetään käyttäen ulosmenoliityntänä tunnelia 1.

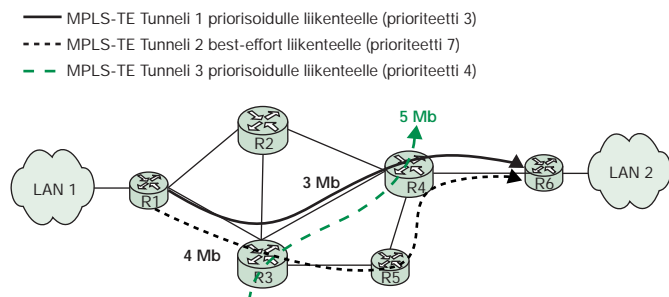
Verkkojen 1 ja 2 välillä liikkuvalla best-effort liikenteelle luodaan dynaaminen tunneli (Tunneli 2), jonka prioriteetiksi asetetaan 7 ja kaistanleveydeksi maksimissaan 40% linkin kapasiteetista. Reitittimien R3 ja R4 kautta kulkevalle linkille on lisäksi muodostettu priorisoitu tunneli, jonka prioriteetti on 4 ja kaistanleveys 50% linkin kapasiteetista (Tunneli 3).

Tunneleissa liikkuvaa liikennettä näytteistetään minuutin välein, josta lasketaan tunnin keskiarvo. Laskettua keskiarvoa käytetään tunnelille varatun kaistan automaattiseen muuttamiseen. Priorisoidulle liikenteelle luodun tunnelin kaistanleveys voi olla minimissään 10% ja maksimissaan 30% linkin kapasiteetista.

Best-effort liikenteelle luodun tunnelin kuormitus vaihtelee nollassa ja 40% välillä. Tällä tavoin varmistetaan, että tunnelien kaistanleveys vastaa tunneleissa liikkuvan liikenteen määrää eikä verkon resursseja varata turhaan silloin, kun liikenteen määrä on pienempi kuin tunnelin kaistanleveys. Kun verkon resurssit riittävät siirtämään best-effort liikenteen edullisia reittejä pitkin, ei tätä liikennettä ole vielä tarvetta ohjata muille

Sanasto

Best-effort	Liikenne, jolle ei tarvitse taata palvelunlaatua verkossa
CAR	Committed Access Rate. Tekniikka liikenteen luokitteluun tiedonsiirtonopeuden perusteella.
DiffServ	Differentiated Services. IP-paketin otikkoon perustuva palveluluokitus, joka mahdollistaa priorisoidut yhteydet.
CBWFQ	Class Based Weighted Fair Queuing. Liikenteen jonotusmenetelmä.
Eksplisiittinen reititys	Yhteydelle määritetään solmut, joiden kautta tunneli muodostetaan.
Exp-kenttä	MPLS-kehyyksessä oleva 3-bittinen experimental-kenttä, jolla liikenne voidaan jakaa 8 eri luokkaan.
IP	Internet Protocol. Internet-verkoissa käytettävä pakettipohjainen tiedonsiirto-protokolla.
MPLS	MultiProtocol Label Switching. IP-reitityksen ja nopean kytkentäisyyden yhdistävä tekniikka, jossa IP-pakettiin lisätään liikennevirran tunniste.
QoS	Quality of Service, palvelun laatu. Sallittujen viiveiden ja virheiden rajoittaminen erilaisten yhteyksien välillä.
RSVP	Resource reSerVation Protocol. Dynaaminen kaistanvarausprotokolla. RSVP on osa IP-maailman Integrated Services -arkkitehtuuria (ISA).
Traffic engineering	Liikenteen suunnittelu siten, että pyritään optimoimaan verkkojen suorituskyky sekä parannetaan verkon palveluiden tasoa.



Kuva 3. Ruuhkasta toipuminen. Recovering from congestion

reiteille. Vasta verkon ruuhkautuessa priorisoidut yhteydet jäävät edullisille reiteille ja best-effort liikenne ohjataan muualle.

Best-effort liikenteen määrä on aluksi 10 prosenttia linkin kapasiteetista, jolloin reitittimien R3 ja R4 välisen linkin käyttöaste on 90%. Tällöin ei ole vielä tarvetta siirtää liikennettä vaihtoehtoisille reiteille. Best-effort liikenteen määrän kasvaessa 40% linkin kapasiteetista reitittimen R3 ja R4 välisen linkin kapasiteetti ylitetään 10 prosentilla, jolloin linkki ruuhkautuu kuvan 2 mukaisesti. Tämä pääsee tapahtumaan, koska tunnelien varaamat resurssit eivät vastaa reaaliaikaisesti tunneleissa liikkuvan liikenteen määrää. Jos oletetaan, että tunnelien automaattinen kaistan varaaminen tapahtuu seuraavan kerran tunnin kuluttua, niin linkiltä R3 → R4 joudutaan liikenteestä pudottamaan 10 prosenttia seuraavan tunnin ajan.

Reitittimen R3 ulosmenoliittynnälle asetettu jonotuskäytäntö huolehtii siitä, että priorisoiduille liikenteille taataan niille varatut kaistat. Koska best-effort liikenteelle ei taattu kaistaa, pudotetaan tästä liikennevirrasta tarvittava 10 prosenttia. Tunnin

kuluttua tunnelien kaistat muuttuvat vastaamaan niissä liikkuvien liikenteiden määrää. Nyt best-effort liikenteen tunneli ei saa varattua tarvitsemaansa kaistaa linkiltä R3 → R4, jolloin se siirtyy pidemmälle reitille kuvan 3 mukaisesti.

Tulevaisuus

Liikenteen suunnittelun avulla voidaan verkon käyttöastetta ja hallittavuutta parantaa huomattavasti. Terabitiverkossa tutkittujen MPLS-liikenteen ohjaustekniikoiden avulla on saatu lupaavia kokemuksia verkon suorituskyvyn parantamiseksi. Verkon älykkyyden kasvattaminen on yksi ratkaisu olemassa olevan verkkokapasiteetin lisäämiseen. Jatkossa tutkittavia asioita ovat muun muassa hallintasuovelluksen ja verkon laitteiden välinen tietoturva sekä VPN-tekniikoiden käyttö MPLS-tunneleiden yhteydessä. ●

Aiheesta enemmän

Terabitiverkko - nopea älyverkko, Prossori, Marraskuu 2000

CB-WFQ:

www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios120/120newft/120t/120t5/cbwfq.htm

MPLS-verkkojen CoS:

www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios120/120newft/120limit/120st/120st10/10st_cos.htm

Committed Access Rate:

www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios111/cc111/car.htm

Differentiated Services:

www.ietf.org/ids.by.wg/diffserv.html

MPLS:

www.ietf.org/ids.by.wg/mpls.html

RSVP:

www.ietf.org/ids.by.wg/rsvp.html

MPLS AutoBandwidth Allocator for MPLS traffic engineering:

www.cisco.com/warp/public/cc/pd/iosw/prodlit/mpatb_wp.htm

Taustat

Kirjoittajat: FL/DI Timo Hämäläinen (Jyv.yo), FM Mikko Pääkkönen (Jyv.yo), Fil. Yo Juha Lamberg

Yhteystieto:

timoh@mit.jyo.fi

Tutkimushanke: Tekes rahoittainen projekti (3 vuotta n. 2,5 Mmk, 65 htk). Hanke alkoi 1.6.1999 ja vastuullisena johtajana toimii FL/Yli-ins. Timo Hämäläinen.

Yhteistyössä: Jyväskylän Yliopisto/Tietotekniikan laitos tietoliikennelaboratorio (suorittava organisaatio), Kestel, Kesnet, Yomimedia, Jyväskylän Teknologiateknologiasetus, WTS Oy

Teknologiaohjelma: TLX