

Menetelmät palvelun laadun takaamiseksi aikakriittisille sovelluksille pakettiverkoissa

Ville Häkkinen, 41679p

Teknillinen korkeakoulu

Teletekniikan laboratorio

S-38.128 Teletekniikan Erikoistyö

Ohjaaja: Tomi Yletyinen

Tiivistelmä

Tässä erikoistyössä pohditaan nykyisten pakettiverkkojen mahdollisuuksia tukea aikakriittisiä sovelluksia ja palvelun laatu -käsitettä. Työ keskittyy IP-verkon olemassaolevien ja kehitteilläolevien sovellusten ja protokollien tutkimiseen ja vertailuun. Toisena verkkoteknologiana käsitellään ATM:ää, lähinnä IP over ATM -toteutuksia. Lähemmin esitellään Cisco:n Internetwork Operating System (IOS) sovellusperhettä ja siihen kuuluvia sovelluksia ja protokollia. Lisäksi esitellään lyhyesti standardointielimet ITU-T ja IEEE, jotka ovat osaltaan ohjanneet QoS-käsitteen muodostumista.

Verkkojen ja protokollien mahdollisuuksissa aikakriittisten sovellusten tukemiseen on rajoitettu tutkimaan reititystä ja priorisointia. Aikakriittisistä sovelluksista keskitytään tarkastelemaan usean yhtäaikaisen käyttäjän videokonferenssia. Videokonferenssi on erittäin aikakriittinen sovellus, jolla on pakettiverkkoihin hyvin tiukat viivevaatimukset.

Kokonaisuus, palvelun laatu, koostuu toiminnallisesti resurssien varauksesta, neuvotteluprotokollista, paikallisista resurssifunktioista ja dataprotokollasta. Lisäksi palvelun laatuun vaikuttaa tietenkin kaikkien käyttäjän kokemien toimintojen ja mahdollisuuksien nopeus, toimivuus, saatavuus ja laatu. Palvelun laatua mittaamaan käytetään pakettiverkkoja käyttävien sovellusten yhteydessä yleensä jotakin tai joitakin seuraavista suureista; viive, hävikki, saatavuus ja kaistanleveys.

Erikoistyössä käydään läpi tai mainitaan muunmuassa seuraavia palvelun laatua tukevia menetelmiä; Tag Switching, Deterministic Load Distribution, Express Forwarding, RSVP, RTP, MPLS, PNNI ja IP Switching. Menetelmät keskittyvät eri asioihin verkossa. Osa tehostaa reititystä erilaisin oikotein tai priorisoinnilla, osa tarjoaa vain signalointia ja priorisoinnin toteutusta puuttumatta jonotukseen tai reititykseen. Näillä menetelmillä pystytään kuitenkin tarjoamaan tukea aikakriittisille menetelmille pakettiverkoissa.

Sisällysluettelo

1. KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT	4
2. JOHDANTO	6
2.1 AIKAKRIITTISET SOVELLUKSET	6
2.2 PAKETTIVERKOT	7
3. PALVELUN LAATU	10
4. IP-VERKON PALVELUN LAATUA TUKEVIA PROTOKOLLIA JA REITITYSTEKNIIKOITA	12
5. AIKAKRIITTINEN SOVELLUS: VIDEOKONFERENSSI	14
5.1 VAATIMUKSET JA ERIKOISPIIRTEET	14
5.2 STANDARDOINTI	16
5.3 MUUTAMIA KAUPALLISIA VIDEOKONFERENSSISOVELLUKSIJA	17
5.3.1 <i>CU-SeeMe</i>	17
5.3.2 <i>Video Conferencing Tool/Visual Audio Tool (Vic/Vat)</i>	18
6. TOIMIVA SOVELLUSPERHE	19
6.1 IOS PERUSVERKKOPALVELUT	20
6.2 IOS RESURSSIENVARAAMISPROTOKOLLAT.....	20
6.3 IOS REITITYSPROTOKOLLAT JA JONOTUSALGORITMIT	21
7. OLEMASSAOLEVIEN TEKNIKOIDEN VERTAILUA	24
7.1 YLEISIMMÄT IOS-MENETELMÄT PALVELUN LAADUN TAKAAMISEKSI.....	24
7.2 MUITA KUIN IOS PROTOKOLLIA PALVELUN LAADUN TAKAAMISEEN	24
7.2.1 <i>IP Switching</i>	25
7.2.2 <i>Multi Protocol Label Switching</i>	26
8. YHTEENVETO.....	30
LIITTEET	

1. Käytetyt lyhenteet ja termit

ABR	Available Bit Rate, ATM liikenneluokka
ATM	Asynchronous Transfer Mode
Best Effort -service	Parhaan mahdollisen reitityksen palvelun taso, kaikki liikenne reititetään samalla prioriteetilla.
Buena Vista SCP	Session Control Protocol, Buena Vistan kehittämä monikäyttäjäprotokolla videokonferenssisovelluksille.
CBR	Constant Bit Rate, ATM liikenneluokka
CCIT	Center for Computing and Information Technology, standardeja kehittävä elin Arizonan yliopistossa.
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
ETSI	European Telecommunication Standards Institute, eurooppalainen standardoimisjärjestö.
FR	Frame Relay, pakettiverkkotekniikka
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering, Inc. Standardointijärjestö.
IETF	Internet Engineering Task Force, Internetin standardijärjestö.
IOS	Internetwork Operating System
IP	Internet Protocol
Ipv6	Internet Protocol, version 6
LAN	Local Area Network, paikallisverkko
MPLS	MultiProtocol Label Switching
OSPF	Open Shortest Path First, IP-verkon eräs reititysalgoritmi.
PBR	Policy Based Routing, IP-verkon eräs reititystekniikka.
QoS	Quality of Service, palvelun laatu
RED	Random Early Detection, algoritmi eston estämiseksi IP-reittittimessä.
RIP	Routing Information Protocol
RSVP	Resource Reservation Protocol
RTP	Real Time Transport Protocol, eräs IP-verkon siirtoprotokolla.

TCP	Transfer Control Protocol, IP-verkon yleisin dataprotokolla.
UDP	User Datagram Protocol, eräs IP-verkon dataprotokolla.
WAN	Wide Area Network
VBR	Variable Bit Rate, ATM liikenneluokka
X.25	Pakettiverkkotekniikka

2. Johdanto

Tässä erikoistyössä pohditaan nykyisten pakettiverkkojen mahdollisuuksia tukea aikakriittisiä sovelluksia. Työ keskittyy IP-verkon olemassaolevien ja kehitteillä olevien sovellusten ja protokollien tutkimiseen ja vertailuun. Toisena verkkoteknologiana käsitellään hieman ATM:ää, siinä määrin kun se sivuaa IP-protokollan käyttöä. Olemassaolevia protokollia ja sovelluksia tutkitaan myös standardien pohjalta. Työssä on keskitytty lähinnä sellaisiin protokolleihin ja sovelluksiin, joilla on olemassa laajaa käyttöä ja kaupallisia mahdollisuuksia, sekä sovelluksia.

Lähemmin esitellään Cisco:n Internetwork Operating System (IOS) sovellusperhettä ja siihen kuuluvia sovelluksia ja protokollia. Verkkojen ja protokollien mahdollisuuksissa aikakriittisten sovellusten tukemiseen on rajoitettu tutkimaan reititystä, priorisointia ja yleensä palvelun laadun takaamista verkon rajallisista resursseista, jättäen kokonaan työn ulkopuolelle muunmuassa datavirtojen pakkaus eli kompressointi. Nämä rajoitukset on tehty työn laajuuden rajoittamiseksi, eikä esimerkiksi sen takia, että pakkaamisella ei olisi niin suurta merkitystä palvelun laadun muodostumisessa aikakriittisille sovelluksille.

Aikakriittisistä sovelluksista keskitytään tarkastelemaan usean yhtäaikaisen käyttäjän videokonferenssia. Videokonferenssi on erittäin aikakriittinen sovellus. Erityisesti viivevaatimukset ovat kriittiset. Videokonferenssiyhteydellä voidaan kuljettaa monenlaista sähköisessä muodossa olevaa informaatiota. Konferenssin peruselementtien kuvan ja äänen lisäksi verkossa voidaan siirtää dataa, still-kuvia tai esimerkiksi animaatiota samaan aikaan konferenssin jäsenten välillä.

2.1 Aikakriittiset sovellukset

Aikakriittisiin sovelluksiin voidaan lukea kaikki ne sovellukset, joilla sisältönsä tai esimerkiksi kaupallisten oikeuksiensa perusteella on verkossa liikenteellisesti korkea läpimenon prioriteetti. Videon siirto on aikakriittistä, jos kuvasta halutaan laadukas ja

sitä tahdotaan seurata reaaliajassa. Äänen, puhelujen välittäminen IP-verkoissa on aikakriittistä, koska keskustelun ylläpitäminen asettaa rajoituksia koetulle viiveelle. Lisäksi esimerkiksi satunnaisen data siirtäminen verkon yli voi olla aikakriittistä, jos palveluntarjoaja on tehnyt asiakkaan kanssa sopimuksen, jonka mukaan hänen lähettämänsä data omaa korkeimman mahdollisen prioriteetin ja että siirtoviive ei saa olla esimerkiksi enempää kuin 15 sekuntia viiden megatavun tiedostolla.

Sovelluksen ei siis tarvitse olla aikakriittinen edes sillä perusteella, että sen tarjoamat ominaisuudet eivät toteudu kuin tietyillä verkolle asetetuilla vaatimustasoilla. Aikakriittisyys voi perustua myös sopimukseen verkon operaattorin tai palveluntarjoajan kanssa. Edellä esitettyjen tyyppien lisäksi korkean prioriteetin verkon dataliikenteessä vaativat myös verkonhallinnan toiminnot, joiden on päästävä verkon läpi tilanteesta riippumatta, jos verkon palvelujen saatavuus halutaan pitää korkealla tasolla.

Teknisesti esimerkiksi videonsovelluksen tai verkkopuhelusovelluksen aikakriittiset piirteet ja kaistanleveysvaatimukset muodostuvat seuraavista parametreista:

- kehyksen koko
- kehystiheys, kehystä sekunnissa
- haluttu kuvan/äänen laatu

Pakkaamalla käyttäjän dataa, voidaan ratkaisevasti vähentää vapaan kaistan tarvetta. Toisaalta pakkaaminen aiheuttaa viivettä, jolloin on haettava sopiva pakkaussuhde ottaen huomioon pakkaamisesta aiheutuva prosessointiviive osana siirron kokonaisuutta. [Cisco - Networked Multimedia Overview]

2.2 Pakettiverkot

Pakettiverkkojen kehitys on tapahtunut pitkän ajan kuluessa ja perustunut aina viime vuosiin saakka sille tosiasialle, että pakettiverkkojen tärkein tehtävä on ollut datasiirto. Tästä syystä pakettiverkkojen ominaisuuksiin ei ole aikaisemmin kuulunut pakettien priorisointia tai kovin monimutkaisia ja kehittyneitä algoritmeja hyötusuhteen saamiseksi mahdollisimman hyväksi. Datasiirrossa suuretkin viiveet on aikaisemmin hyväksytty. Nyt kun pakettiverkoissa siirretään multimediaa,

mukaanlukien aikakriittisiä sovelluksia ja ääntä, ovat vaatimukset muuttuneet huomattavasti kovemmiksi.

Vanhimpia edelleen laajalti toiminnassa olevia pakettiverkkoja edustaa X.25-pakettiverkko. X25 ja sen päällä toimivat protokollat eivät juuri sisällä ominaisuuksia datavirtojen tai pakettien priorisoimiseksi. X25-verkko on lähinnä edelleen käytössä luotettavuutensa ja laajan levinneisyytensä vuoksi, ei niinkään sen multimediaa tukevien piirteiden vuoksi.

Frame Relay -verkkojen asema on erittäin vahva, mutta palvelun laadusta puhuttaessa ajatellaan yleensä FR kokonaan poistuvana verkkotyypinä, jonka mahdollisuuksia pakettien tai datavirtojen priorisointiin ei juurikaan esitellä. FR ajatellaan korvattavaksi ATM- tai IP-verkoilla tulevaisuudessa. Tästä syystä tässäkin työssä ei oteta kantaa FR:n kyseisiin ominaisuuksiin, tai edes pohdita, kuinka palvelun laatu aikakriittisille sovelluksille voitaisiin taata FR-verkoissa.

Suurin osa maailman pakettiverkoista on tänä päivänä IP-verkkoja. IP-verkkoihin keskitytään tämän työn syventävissä osissa. IP-verkkojen suuren suosion johdosta niiden käytön tehostamiseksi on kehitetty suuret määrät erilaisia protokollia ja teknisiä ratkaisuja. Tämä trendi tulee jatkumaan ja erilaisten ratkaisujen yhteensopivuudet nousemaan ratkaisevaan asemaan. IP-verkoissa siirretään paljon multimediaa ja aikakriittisiäkin sovelluksia. Tähän saakka suorituskykyä tai palvelun laatua yleisissä IP-verkoissa on kuvattu yleisesti termillä, "best effort –service". Tämä tarkoittaa, että aikakriittisiä sovelluksia on niiden luonteesta huolimatta käsitelty aivan samoin kuin kaikkea muutakin liikennettä samassa verkossa. Yksityisissä, dedikoiduissa verkoissa, on ollut käytössä aikakriittisiä sovelluksia hyvin tuloksin ja tästä esimerkistä rohkaistuneina onkin lähdetty kehittämään erilaiset palvelun laadun tasot mahdollistavia sovelluksia ja protokollia julkisiinkin pakettiverkkoihin.

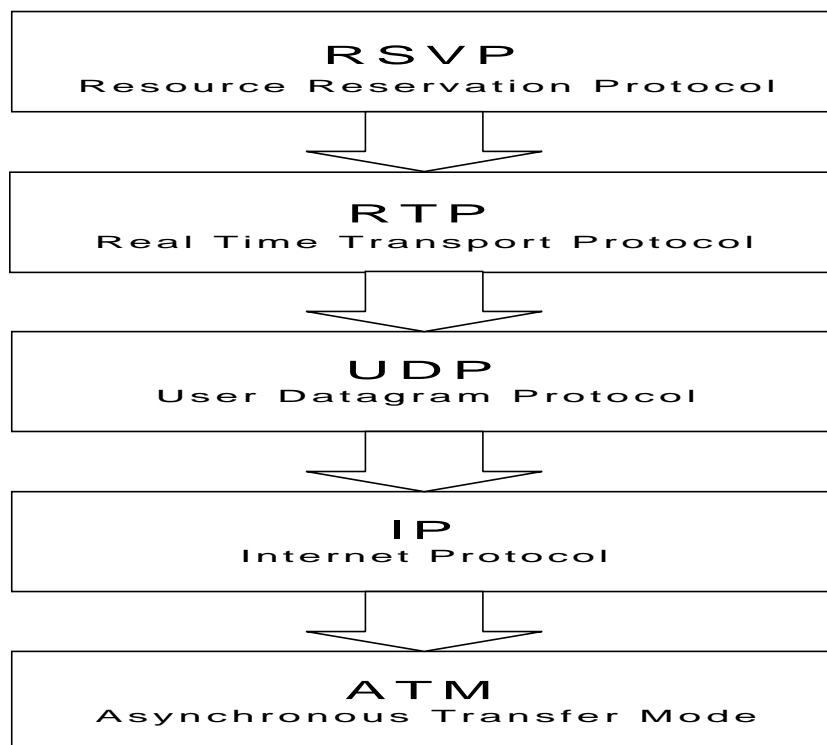
Toinen nopeasti yleistynyt pakettiverkkoteknologia on ATM-teknologia. ATM-teknologia ja -protokollat mahdollistavat datavirtojen ja pakettien priorisoinnin ja peruskokoonpanossaan. ATM-verkossa asia on tosin toteutettu hieman eri perustein kuin IP-verkoissa. ATM käyttää omia liikenneparametreja ja erilaisia liikenneluokkia.

Variable Bit Rate -liikenne (VBR) on tarkoituksella suunniteltu ja kehitetty juuri aikakriittisille sovelluksille. Tietysti vielä varmempaa on luokitella liikenne Constant Bit Rate -liikenteeksi (CBR), ja varata omalle CBR-liikenteelle tarpeeksi kaistaa, jotta huippupurskeetkin tulevat läpi. ATM ei todennäköisesti tule olemaan saatavilla yhteyksien päästä päähän juuri missään suurissa verkoissa, koska olemassa on jo niin paljon LAN/Ethernet/Token Ring -toteutuksia ja koska ATM-terminaalit ovat kuitenkin melko paljon tavallisia LAN-liittymiä kalliimpia. Yhteys ei silloin ole kokonaan ATM:n liikenneluokkamääritysten, jonotusalgoritmien tai kytkentäprotokollien vaikutusalueella. Päästä päähän ATM-palvelun laatu ei siis siinä tapauksessa toteudu. Lisäksi ATM standardit datavirtojen hallintaan ja eston käsittelyyn ovat edelleen puutteellisia. Tämä johtaa siihen, että resursseja täytyy olla yli tarpeen. Palvelun laatu jää usein silti puutteelliseksi, mikä taas johtaa suuriin kustannuksiin. ATM:llä toteutetut nykysovellukset eivät myöskään tue palvelunlaatu-
pyyntöjä. Toisin sanoen ATM ei siis tunnista sovelluksia jos ne eivät käytä tai neuvottele itse nimenomaan ATM-liikenneparametreja käyttäen oman yhteytensä parametreista. [Cisco - Networked Multimedia Overview]

3. Palvelun laatu

Mitä sitten on palvelun laatu ? CCIT:n suositus E.800 määrittelee palvelun laadun seuraavasti; “Kokonaiskuva palvelun tasosta ja käyttäjän tyytyväisyydestä, minkä palvelun käyttäjän kokee käyttäessään palvelua.” [ETSI Project Tiphon]

Kokonaisuus, palvelun laatu, koostuu toiminnallisesti resurssien varauksesta, neuvotteluprotokollista, paikallisista resurssifunktioista ja dataprotokollasta [Network Evolution and Multimedia Communication]. Lisäksi palvelun laatuun vaikuttaa tietenkin kaikkien käyttäjän kokemien toimintojen ja mahdollisuuksien nopeus, toimivuus, saatavuus ja laatu. Useimmat palvelun laatua tai priorisointia parantavat protokollat suorittavat ainoastaan jotakin palvelun laatua parantavaa funktiota tai funktioita. Tällöin nämä protokollat muodostajat uusia protokollakerroksia olemassaolevien protokollien sekaan. Kuvassa 1 kuvataan erästä protokollapinoa, jota voitaisiin käyttää, kun halutaan palvelua tehokkaasti aikakriittisiä sovelluksia.



Kuva 1. Protokollapinoa aikakriittiselle sovellukselle.

Kuvan 1 esittämässä protokollapinossa on erityisesti huomattavaa se, että hyvin yleinen TCP-protokolla on korvattu UDP-protokollalla. Toiminnallisesti UDP eroaa periaatteessa TCP:stä siinä, että UDP ei takaa pakettien perillemenoaa, kun taas TCP suorittaa kadonneiden pakettien uudelleenlähetyksiä. Kuvan 1 protokollapinossa käytetään UDP:ta, koska TCP:n uudelleenlähetykset on koettu liian hitaiksi tässä tapauksessa.

Palvelun laatua mittaamaan käytetään pakettiverkkoja käyttävien sovellusten yhteydessä yleensä jotakin tai joitakin seuraavista suureista;

- Viive, puhelinverkoissa maksimissaan yleensä 30 millisekuntia, pakettiverkoissa ei yleensä päästä juurikaan alle 100:n millisekunnin. Jotta esimerkiksi videokonferenssiyhteys koettaisiin riittävän hyväksi, tulisi käytetyn yhteyden päästä päähän viive painaa alle 30:n millisekunnin [Network Evolution and Multimedia Communication]. Viive tietyllä yhteydellä koostuu tietysti useista eri tekijöistä, joista osa on vakiosuuruisia ja osa muuttuvia. Tällaisia osaviiveitä ovat muunmuassa paketoitaviive, jonotusviive, etenemisviive, purkuviive, koodausviive, reititysviive ja vakiosuuruinen prosessointiviive. [Delay Performance of the new Internet Service with Guaranteed QoS]
- Hävikki, matkalla kadonneiden pakettien määrä verrattuna kokonaispakettien määrään. Lisäksi hävikki suurenee, jos aikaleimaamisen takia joudutaan hylkäämään paljon uudelleenlähetyksiä paketteja. Kriittistä pakettien uudelleenlähettäminen, on erityisesti aikakriittisessä datasiirrossa, jos sellaista jokin sovellus vaatii.
- Saatavuus, varmuus siitä, että resurssi on olemassa ja valmiina käyttöön kun asiakas aloittaa yhteyden. Perustuu olennaisesti siihen, kuinka verkon resurssit on jaettu todennäköisyyksien mukaan. Puhelinverkoissa vastaava resurssien saatavuuden puuttuminen aiheuttaa estoa.
- Kaistanleveys. Yhteydelle sovittu tiedonsiirtonopeus ja mahdollisesti myös yhtäaikaisten yhteyksien rajoitettu määrä.

4. IP-verkon palvelun laatua tukevia protokollia ja reititystekniikoita

Tässä luvussa esitellään lyhyesti muutamia tekniikoita, joita IP-verkossa on tällä hetkellä käytössä palvelun laadun parantamiseksi. Esitetyt tekniikat eivät kata koko kirjoa, eivätkä ole missään merkittävässä järjestyksessä. Lähinnä huomattavaa on juuri erilaiset lähestymiset samaan ongelmaan ja ratkaisujen moninaisuus.

Painotettu jonotus (Weighted Fair Queueing, WFQ) käyttää IP-pakettien prioriteettibittejä hyväkseen. Lisäksi ETSI Tiphon -projekti suosittaa painotetun RED:in käyttöä (Weighted Random Early Detection), joka alkaa pudottamaan paketteja satunnaisesti liikenteen kasvaessa, kuitenkin ottaen huomioon IP-pakettien prioriteettibitit. [ETSI Tiphon Project]

RSVP, on IETF:n määrittelemä protokolla, joka tarjoaa tuen palvelun laadun ylläpitämiseksi IP-verkoissa, se ei kuitenkaan ole reititysprotokolla. RSVP:n avulla varataan resursseja verkosta reititinväli kerrallaan, PATH- and RESV-signaalein [Real Time Services over the Internet]. RSVP on vastaanottajaorientoitunut protokolla, jossa kohteeseen matkalla ohitetut reitittimet palauttavat lähteeseen OK- tai virheilmoituksen sen mukaan onko kysyttyä kaistaa tai palvelua mahdollista varata.[ETSI Tiphon Project]. Signaali tapahtuu kahdella tasolla; Admission Control - onko reitillä resursseja ja Policy Control - onko oikeutta suorittaa resurssien varaus [RSVP Protocol Overview].

RTP tarjoaa tuen aikakriittisten datavirtojen pakettien numerointiin, aikaleimaamiseen ja pakettien toimittamisen tarkkailuun. RTP:tä ajetaan yleensä UDP:n päällä. RTP ei itsessään takaa palvelun laatua, vaan jättää sen alempien kerrosten huoleksi. RTP muodostuu kahdesta osasta RTP ja RTCP (Real Time Transfer Control Protocol). [ETSI Tiphon Project]

IP over ATM Shortcut routing. Protokollan toteutuksessa on yleensä käytetty periaatteessa kahta erilaista ratkaisua. Ensimmäinen tapa on reitittää IP-paketteja 'oikopolulle', jolloin ne ohittavat useita reitittämiä ja viive ja hävikki pienenee. Toinen tapa on käyttää ATM:n virtuaalitopologiaa ja reitittää sopivat virtuaaliputket 'oikotielle'. Erilaisia 'oikoteitä' ovat topologia-oikotiet, liikennepohjaiset oikotiet ja on-demand pohjaiset oikotiet. [Towards a new IP over ATM Routing Paradigm]

Controlled Load Network Element Service. Pakettien jonottaessa reitittämiin, hävikki on virtuaalisesti nolla. Algoritmi takaa ainoastaan rajat viiveen vaihtelulle, ei absoluuttiselle viiveelle, antamalla viiveen vaihtelusta tietoa vastaanottajalle, joka voi tällöin muuttaa puskuroimansa datan määrää ja näin häivyttää viivettä ja varautua muutoksiin ajoissa. Menetelmä tarjoaa myös mahdollisuuden pakettien priorisointiin. [Real Time Services over the Internet]

Quality of Service Based Routing. Keskittyy löytämään edullisimman (nopeimman ja laadukkaimman) reitin paketeille yhteyden vaatimusten ja kuormituksen perusteella. Algoritmi on IETF-ryhmän spesifioima. [ETSI Tiphon Project]

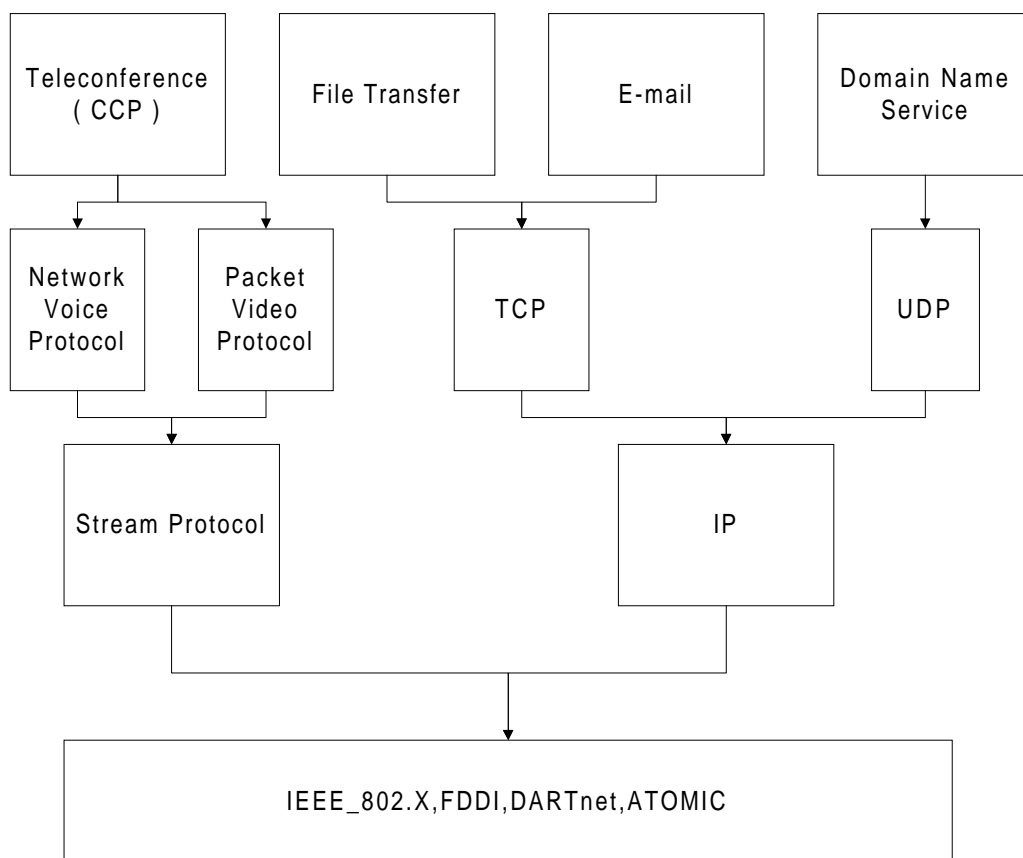
5. Aikakriittinen Sovellus: Videokonferenssi

5.1 Vaatimukset ja erikoispiirteet

Videokonferenssiyhteydellä liikkuu huomattavan paljon dataa. Koska samalla yhteydellä liikkuu kuvaa, ääntä ja mahdollisesti dataa, siirtoyhteys ja siirtoprotokolla nousee kriittiseen asemaan. Liikkuvan datan koodaus ja kompressointi ovat myös kriittisessä asemassa. Koodauksen tulisi tarjota time-stamping toiminnallisuus dataprotokollan tueksi, jotta viiveen hallinta olisi mahdollinen. Lisäksi datan paketointi tulisi kuulua koodaukseen. Videokonferenssi muodostetaan käytännössä yleensä multipoint-yhteytenä, koska osallistujia voi olla useista eri paikoista. Videokonferenssi on erittäin aikakriittinen media. Jos esimerkiksi viive äänen ja kuvan välillä muodostuu suureksi, menetetään kaikki kuvayhteuden edut, mutta kustannukset ovat silti yhtä korkeat. Tällöin sovellus toimiikin vain poikkeuksellisen kalliina puhelinneuvotteluna. Tärkein absoluuttinen vaatimus videokonferenssisovellukselle ja kaikille allaoleville protokollille onkin juuri viiven minimoiminen.

Varsinaisen videokonferenssisovelluksen ja allaolevien protokollien tulee aikakriittisten aspektien lisäksi pystyä hoitamaan kaikki normaalin kokouksen vaatimukset. Tämä tarkoittaa tietenkin sitä, että useiden osallistujien on omattava mahdollisuus olla äänessä samaan aikaan. Käyttäjän täytyy pystyä aloittamaan istunto normaalisti yhdessä muiden osallistujien kanssa, käyttäjän täytyy pystyä liittymään olemassaolevaan sessioon muiden siitä kärsimättä ja samaten poistumaan istunnosta milloin vain, katkaisematta tai häiritsemättä olemassaolevaa istuntoa. Lisäksi poistuneen käyttäjän paikka on voitava antaa saman konferenssin aikana toiselle käyttäjälle, jos koko videokonferenssille on asetettu osallistujien maksimimäärä johtuen yhteyksistä tai laskutusellisista seikoista. Lisäksi siirretyn informaation salaus on turvattava jotenkin. Videokonferenssisovelluksen ja protokollien on kyettävä takaamaan konferenssin turvallisuus. On pystyttävä määrittelemään, kuka saa tietää konferenssin olemassaolosta sekä siitä kuka saa liittyä olemassaolevaan konferenssiin.

Sovelluksen on pystyttävä seuraamaan olemassaolevan istunnon ja osanottajien tilaa ja mahdollisesti sen perusteella konfiguroitava yhteyksiä ja yhteyksien tarjoamia siirtonopeuksia mahdollisimman taloudellisesti, vaarantamatta vaadittua palvelun laatua. Yhteyksien hallinnan lisäksi käytettyjen protokollien tulisi olla valmiita tukemaan yhä nopeampia yhteyksiä ja verkkoja. Protokollien ja sovellusten tulisi siis pystyä suorittamaan lennossa vertailua kustannusten ja virhesuhteen osalta, sekä ottaa huomioon myös kustannusten ja palvelun laadun suhde. Tällaisen toteutuksen tulisi siis olla tietoinen periaatteessa jokaisen yhteytensä joka reititinvälillä kustannuksista ja tilanteesta. Tämän mahdollistaminen asettaa priorisointi- ja reititysprotokollalle suuria vaatimuksia ja siten myös kehityspaineita. [RFC 1453] Kuvassa 2 esitellään eräs toteutusarkkitehtuuri videokonferenssisovellukselle.



Kuva 2. Esimerkki videokonferenssiarkkitehtuurista [RFC 1453].

Kuvan 2 arkkitehtuuri on suunniteltu siten, että eri protokollat voivat olla suorittamassa tiedonsiirtoa ja esimerkiksi elävän kuvan siirtoa. Tällä tavoin saadaan niiden siirto käyttämään eri resursseja verkossa ja pyritään tasoittamaan videokonferenssin aiheuttamaa suurta kaistavaatimusta. Huomattavaa on myös se että edellä kuvatulla arkkitehtuurilla voidaan suorittaa samalla tasolla olevia tehtäviä eri protokollilla, kuten esimerkiksi kuvan oikeassa laidassa on tehty TCP:n ja UDP:n kohdalla.

Esimerkkinä istunnonhallinnan toteutuksesta on seuraavassa lyhyesti esitelty multipoint-protokollan Buena Vista Session Control Protocol (SCP) menetelmiä istunnon hallitsemiseksi. SCP on suunniteltu mukailen ITU-T:n suosituksia T.120 ja H.323. SCP tarjoaa istunnon jäsenten hallintaa, konferenssisovelluksen hallintaa ja ylläpitää tietoa konferenssin tilasta. SCP perustuu TCP protokollan käyttöön. Tällä on haluttu taata konferenssin luotettava tiedonsiirto. (TCP takaa pakettien perillemenon uudelleenlähetysillä.) Periaatteessa SCP käsittelee kaikkia osallistujia samalla tavoin, mutta erottaa yhden osallistujan, solmun, joka on tilanhallitsija-solmu. Tilanhallitsija ratkaisee mahdolliset konfliktit olemassaolevien ja liittyvien yhteyksien välillä. Yleensä istunnon aloittava solmu on samalla tilanhallitsija-solmu.

SCP käsittelee osallistujia konferenssin hallinnan tasolla erilaisin lyhyin hallintoviestein. Tällaisia viestejä ovat esimerkiksi INVITATION, ACCEPT, REJECT, STATUS, NEW_USER ja LEAVE. Viestien nimet kertovat niiden olennaisen sisällön ja tarkoituksen. Buena Vista SCP toimii kutsu-perusteella, eli konferenssiin liittymistä haluava käyttäjä lähettää INVITATION-viestin ja voi saada vastaukseksi ACCEPT- tai REJECT-viestin. Jos vastaus on ACCEPT, saa osallistuja uniikin osallistujatunnuksen ja hän voi aloittaa konferenssin. [Multiplatform, Desktop Videoconferencing System for the Internet]

5.2 Standardointi

Videoneuvottelusovellusten tueksi ja yhteensopivuusongelmien välttämiseksi ovat suurimmat tietoliikenteen standardointijärjestöt kehittäneet omat suosituksensa tai standardit. ITU-T määrittelee omissa standardeissaan perusteet erilaisille videokonferenssisovelluksille, luokitellen ne yhteyden nopeuden perusteella. Standardi ITU-T H.320 spesifioi Wide Area Network (WAN) -pohjaisen videokonferenssisovelluksen. Standardi ITU-T H.321 puolestaan perustuu videokonferenssille ATM-pohjaisessa verkossa. Lisäksi standardi ITU-T H.323 on suositus Local Area Network (LAN)- pohjaiselle ratkaisulle. Jäljempänä käsiteltävä Cisco-sovellusperhe IOS tukee juuri ITU-T H.323 standardia. ITU-T on myöskin tehnyt standardin yleisen puhelinverkon yli muodostettaville videokonferenssiyhteyksille, standardi on H.324.

Toinen standardointielin IEEE, on myös määritellyt omat standardinsa videoneuvottelutoteutuksille. Standardit IEEE 802.1p ja IEEE 802.1Q, tukevat erilaisia palveluluokkia (kahdeksan erilaista) ja priorisointia. Standardit toimivat myös muilla verkkoalustoilla kuin EtherNet pohjaisissa IP-verkoissa. Standardeja tukevia soveluksia voidaan käyttää myös yhdessä RSVP:n kanssa. [ITU-T Standardization of Audiovisual Communicatio Systems in ATM and LAN Environments]

5.3 Muutamia kaupallisia videokonferenssisovelluksia

5.3.1 CU-SeeMe

CU-SeeMe on tällä hetkellä yksi kehittyneimmistä kaupallisista videoneuvottelusovelluksista. CU-SeeMe tukee monen käyttäjän yhtäaikaista konferensseja ja sisältää muunmuassa yhteyksien lisäksi hakemistopalveluja ja puhelinmuistiointeja. Sovellus on täysin ITU-T standardin H.323 mukainen ja tukee sen lisäksi standardeja H.263, videon kompressoinnissa ja standardia T.120, joka mahdollistaa jaetun näyttöruudun käytön ja tekstipohjaisen chat-kanavan. CU-SeeMe voi toimia tiedonsiirtonopeudella 28 800 bittiä sekunnissa tai suuremmalla.

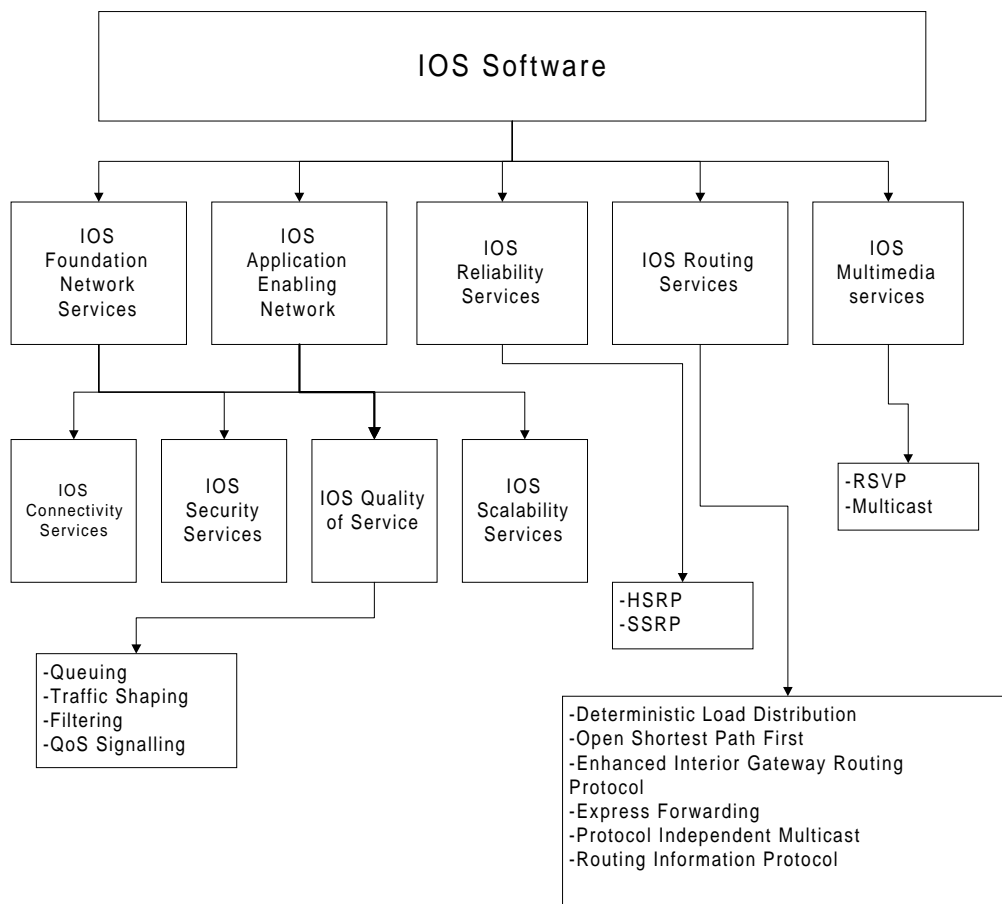
CU-SeeMe toimii arkkitehtuurisesti keskitetyn kontrollisolmun ympärillä. Kaikki osanottajat lähettävät datansa kontrollisolmulle, joka jakaa sen edelleen kaikille muille osanottajille. Kontrollisolmu hoitaa konferenssin jäsenten tilan tarkkailun ja yhteyksien tilan muuttamisen ja käyttäjien tunnistamisen. CU-SeeMe on toistaiseksi saatavana vain Windows 95/Windows NT käyttöjärjestelmille. Järjestelmän heikkous on kontrollipisteen kriittisyys. Kaikki datavirrat kulkevat tämän yhden pisteen kautta tehden siitä kriittisen voimavaran koko konferenssille. Suurimmalle osalle datavirroista ei olisi tarpeen mennä kontrollipisteen läpi, mikä voisi nopeuttaa yhteyksiä ja siten nostaa asiakkaan kokemaa palvelun laatua. [Multiplatform, Desktop Videoconferencing System for the Internet]

5.3.2 Video Conferencing Tool/Visual Audio Tool (Vic/Vat)

VIC/VAT on Lawrence Berkeley Laboratorioiden kehittämä kahden sovelluksen yhdistelmä videoyhteyksien toteuttamiseen. VIC/VAT on toteutettu ATM-pohjaisen Internet Mbone:n päälle. VIC/VAT tukee usean käyttäjän yhteyksiä ja neuvottelua. Sovellus tukee useita koodaus- ja pakkausstandardeja, kuten MPEG, JPEG, NV ja CellB. Sekä VIC että VAT käyttävät RTP-protokollaa datavirtojen priorisoimiseksi ja palvelun laadun takaamiseksi. VIC/VAT-sovelluksen huomattava etu on sen tukemien käyttöjärjestelmien moninaisuus. Sovellusta on mahdollista ajaa DEC, FreeBSD, HP, Linux, SGI, SunOS ja Solaris alustoilla. Tällä hetkellä VIC/VAT on siis Unix-pohjaisten järjestelmien videokonferenssisovellus, eikä siitä ole olemassa omia valmiita versioitaan Windows 95/NT -ympäristöön. VIC/VAT on kuitenkin vielä enemmän suunniteltu suljettuihin verkkoihin tarjoten kyllä uusimpia tekniikoita palvelun laadun varmistamiseksi ja uusimpia toiminteita, mutta samalla melko heikon käyttöliittymän ja tietoturvan. [Multiplatform, Desktop Videoconferencing System for the Internet]

6. Toimiva sovellusperhe

Cisco IOS - Internetwork Operating System on useiden eri tekniikoiden mahdollisuuksia ja ominaisuuksia hyödyntävä sovellusalusta. Periaatteessa IOS ohjelmisto ei tarjoa mitään uusia sovelluksia tai tekniikoita, mutta mahdollistaa kaikkien yleisimpien protokollien ja sovellusten käytön. IOS onkin lähinnä tehty helpoittamaan eri tasoisten ratkaisujen hallintaa pakettiverkkoja käyttävien sovellusten apuna. Kuvassa 3 esitellään Cisco IOS ohjelmiston rakennetta. Kuvassa esiintyviä eri alaryhmiä esitellään tässä luvussa tarkemmin myöhemmin.



Kuva 3. Yleinen IOS arkkitehtuuri. [Cisco IOS Software]

Kuvassa ylhäältä toinen taso kuvaa platformin jakoa peruspalveluiden mukaan Kolmannella tasolla ylhäältä on joitakin peruspalveluita vielä jaoteltu pienempiin osiin, ja alimmalla tasolla luetellaan osa ylempien palveluiden toteuttamiseen liittyvistä tekniikoista.

6.1 IOS perusverkkopalvelut

Palvelun laadun kannalta perusverkkopalvelut muodostavat olennaisen osan Cisco IOS sovelluksesta. Kuten aikaisemminkin on listattu, kuuluvat perusverkkopalveluihin verkkoon kytkeytyminen, reitittäminen, jonotusalgoritmit, yhteyksien ja sovellusten turvallisuus, palvelun saatavuus, Quality of service signalointi, liikenteen muokkaaminen ja suodattaminen.

Signaloinnissa, IOS käyttää pääasiassa hyväkseen alempien OSI-tasojen palveluita. Kun signalointi tavallaan toteutetaan 3. Kerroksella, IOS pyrkii sitten käyttämään alempien kerrosten resursseja. Erilaisia IOS sovellusalan tukemia systeemejä ovat muunmuassa IP Precedence, RSVP, IPv6 priority, IEEE 802.1p and PNNI ATM UNI v.3.0 - 4.0 [Cisco IOS Enabling Network Services]

6.2 IOS resurssienvaraamisprotokollat

Resurssien varaamiseen ja priorisointiin IOS tukee IP-verkoissa RSVP-protokollaa ja ATM-verkoissa ABR-liikenneluokkaa. Molemmilla varausmenetelmillä on oma settinsä liikenneparametrejä, jotka määrittelevät yhteydelle halutun palvelun laadun.

RSVP on IETF:n standardoima yleisesti käytössä oleva signalointiprotokolla. RSVP on vastaanottaorientoitunut. Tämä tarkoittaa, että datavirtaa vastaanottava taho suorittaa resurssien varaamispyynnön koko reitille. RSVP käyttää tähän yksinkertaisia PATH- ja RESV-signaaleja. PATH-viesti kuvaa yhteyden tarvitsevat liikenneparametrit ja RESV-viestit indikoivat resurssien varaamistarpeen. Verkko olettaa, että varaava instanssi lähettää jatkuvasti PATH- ja RESV-viestejä ja varaus purkautuu heti, jos viestit tulevat myöhemmin kuin verkko odottaa. Koska viestien jatkuva vastaanottaminen on kriittinen toiminto, on jokaisen reitittimen pystyttävä lähettämään tilainformaationsa verkkoon, jos se ajetaan alas tai se kokee muuten niin

suuria vaikeuksi, ettei se enää kykene pakettien reitittämiseen. [Real Time Services over the Internet]

Kun RSVP lähettää PATH- ja RESV-viestejä, se keskustelee kahden instanssin kanssa, jotka ovat Admission Control ja Policy Control. Nämä RSVP-oliot vastaavat resurssien jaosta. Jos vastaanottajalla on oikeudet ja resursseja on tarpeeksi, alkaa RSVP varata resursseja linkki kerrallaan. Seuraavalla linkillä käydään taas läpi samat tarkistukset ja varaus on mahdollista hyväksyä tai hyljätä. Paljon kuormitetussa IP-verkossa resurssien varaaminen koko yhteydelle saattaa olla mahdotonta, koska joka linkin on varattava resurssi erikseen reitittimen tilanteesta riippuen. [RSVP Protocol Overview]

RSVP käsittelee datavirtoja apunaan pakettitunnukset ja pakettien ajastusmekanismi. Priorisointi tapahtuu pakettien ajastuksen avulla. Ajastus auttaa reitittämiä määrittelemään pakettien oikean käsittelyjärjestyksen. Pakettitunnus puolestaan kertoo seuraavalle reitittimelle paketin reitin. [IP and ATM Integration]

ATM/ABR -liikenne käyttää suoraan ATM:n omaa liikenneluokkajakoa, jossa ABR on tarkoitettu sellaiselle liikenteelle, jonka viivevaatimukset eivät ole kovin tiukat. ABR ei ole resurssienvaraamisprotokolla siinä mielessä kuin RSVP, vaan se on yksi ennaltamääriteltä liikenneluokka ATM:ssä. ABR liikenne käyttää periaatteessa kaiken kaistan, mikä kahta ATM-solmua yhdistävällä linkillä on jäljellä mahdollisen VBR- ja CBR-liikenteen jäljiltä. Tässä työssä keskitytään IP-verkon menetelmiin, joten ABR-liikennettä ei käsitellä tarkemmin. Mainittakoon kuitenkin, että esimerkiksi IP over ATM -toteutuksissa normaali IP-liikenne, esimerkiksi WWW:n selailu voitaisiin kytkeä juuri ABR-liikenteenä.

6.3 IOS Reititysprotokollat ja jonotusalgoritmit

IOS ei aseta suuria rajoituksia sille mitä reititysprotokollaa sen alla ajetaan. Seuraavassa käydään läpi muutamia IOS:n tukemia reititysprotokollia ja yritetään esittää niiden palvelun laatua parantavia ominaisuuksia.

Asiakaskohtainen jonotus eli Policy Based Routing perustuu siihen että osalle asiakkaiden datavirroista taataan verkosta minimikaista. Asiakas voi määrittämillään räätälöidä itselleen hierarkisen reitityspriorisoinnin ja palvelun tason. Liikennettä voidaan priorisoida esimerkiksi sovelluksen tai käytetyn dataprotokollan tai vaikkapa vuorokaudenajan mukaan. Etuina tällä reititys- ja priorisointimenetelmällä on tietenkin sen kaupallisten ominaisuuksien lisäksi se, että Internet palvelun tarjoajat voivat jakaa verkoissaan siirrettävää dataa ja kuormaa lähteen ja loppuosoitteen perusteella rasittamaan eri resursseja. Vaativa korkean palvelun laadun liikenne ohjataan korkean suorituskyvyn reiteille ja bulkkiliikenne saa 'best effort' palvelun tason hitaammilla linkeillä. [Policy-Based Routing]

Policy Based Routing -reititys käyttää seuraavia tekniikoita:

- Open Shortest Path First, OSPF
- Enhanced Interior Gateway Routing Protocol, EIGRP
- Routing Information Protocol, RIP

Reititys voidaan lisäksi suorittaa erilaisten kriteerien perusteilla erilaisella palvelun tasolla ja nopeudella. Tällaisia kriteerejä ovat muunmuassa : osoitteet (perinteinen), käytetty tiedonsiirtoprotokolla, protokollan kuljettama sovellus ja datavirran pakettikoko. PBR:ää sovelletaan sisääntuleviin paketteihin. Kaikki rajapinnasta sisään tulevat paketit ja virrat katsotaan PBR:n alaiseksi. Policy Based Routing -verkon sisällä voidaan sitten soveltaa erilaisia jonotusalgoritmeja kuten WFQ, Priority Based Routing tai Weighted Queuing. [Cisco IOS Enabling Network Services]

IOS käyttää Tag Switching reititystä. Siinä samanosoitteisia virtoja ja paketteja leimataan (Tag) siten, että ensimmäinen paketti virrasta saa leiman ja jatkossa vain ensimmäinen paketti kehyksessä tarkastetaan ja loput virrasta reititetään nopeasti jo reititetyn virran perään. Tämä vähentää huomattavasti pakettien tarvitsemää prosessointia reitittämissä ja täten nopeuttaa reititystä. Tag Switching vaatii että sitä tukevat reitittimet, kytkimet ja lisäksi menetelmä vaatii erillisen Tag Distribution-protokollan. [Cisco Tag Switching]

Lisäksi IOS voi käyttää resurssien tasaiseen jakamiseen tekniikkaa nimeltään Deterministic Load Distribution. Tekniikka mahdollistaa erilaisiin spesifikaatioihin perustuvan kuorman tasoittamisen verkon eri reiteillä. Menetelmä ohjaa eri datavirtoja eri reiteille ja voi jopa reitittää saman datavirran eri paketteja eri linkeille IP-verkossa.

Muita IOS:n kanssa yhteensopivia algoritmejä ja reititystekniikoita ovat muunmuassa Express Forwarding IP-verkoissa ja the Private Network-to-Network Interface (PNNI) ATM- verkoissa [Policy-Based Routing]

7. Olemassaolevien tekniikoiden vertailua

7.1 Yleisimmät IOS-menetelmät palvelun laadun takaamiseksi

Priorisointiin ja palvelun laatuun liittyviä protokollia, algoritmeja ja tekniikoita on hyvin monia. Laajaan käyttöön soveltuvia menetelmiäkin on useita, mutta rajoittavina tekijöinä ovat monesti laitevalmistajariippuvuudet tai verkon toteutusteknologiat ja niistä aiheutuvat epäyhteensopivuudet. IOS:n lähestyminen on melko käytännöllinen, IOS ei rajoita tarkkaan käytettäviä menetelmiä, vaan antaa useita mahdollisuuksia eri OSI-tasolle. Parhailta menetelmiltä vaikuttavat seuraavat kolme yhdistettynä, huolimatta ongelmista, joita tarkastellaan myös alla:

- RSVP
- RTP
- Tag switching

Näistä RSVP ja RTP kulkevat jo toteutuksen puolesta yhdessä, koska RSVP käyttää RTP-protokollan palveluja. RSVP:n alla tosin suositellaan käytettäväksi UDP-protokollaa, kun taas suurin osa IP-verkon yli kommunikoiduista sovelluksista käyttää jo valmiiksi TCP-protokollaa sen uudelleenlähetys-ominaisuuden tuoman palvelun laadun takia. Tästä seuraa ensimmäinen epäyhteensopivuus yhdistelmän RTP-RSVP-UDP haitaksi.

Sekä Tag Switching että RSVP vaativat, että kaikki käytettyjen reittien reitittimet tukevat erikseen juuri näitä menetelmiä. Tämä aiheuttaa päivityksen tarpeen kaikkiin reitittämiin. Jos reitillä on yksikin reititin, joka ei tue RSVP:tä, RSVP ei pysty suorittamaan resurssien varausta yhteyden päästä päähän. Tag switching vaatii lisäksi erillisen Tag Distribution -protokollan, kuten edellä on esitetty.

7.2 Muita kuin IOS protokollia palvelun laadun takaamiseen

IOS-sovellusalusta on täysin Cisco:n kaupallinen sovellus ja perustuu tietenkin Cisco:n kannalta edullisimmille tekniikoille ja erityisesti sellaisten protokollien käyttöön, joita Cisco:n reitittimet ja muut verkon komponentit jo tukevat tai tulevat tukemaan. Tämä on IP-verkkojen kehityksessä aina ollut asian laita. Muiden valmistajien ja instanssien

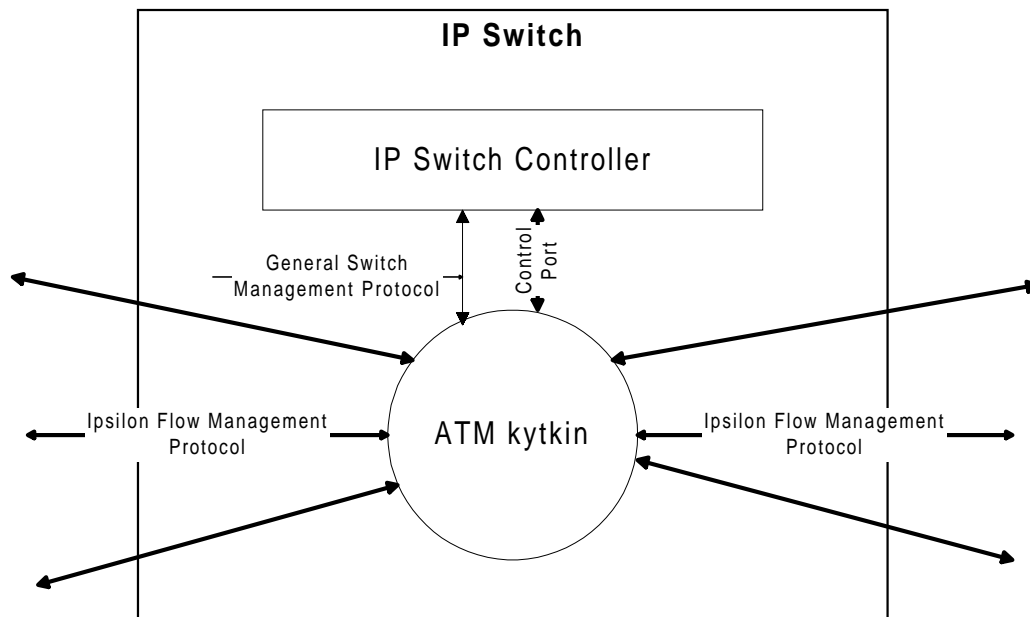
esitykset eroavat tietenkin Cisco:n näkemyksestä parhaaksi palvelun laadun takaavaksi sovellusyhdistelmäksi. Seuraavassa esitetään kaksi menetelmää, joilla voitaisiin myöskin parantaa aikakriittisten sovellusten saamaa palvelun laatua.

7.2.1 IP Switching

IP Switching on perinteisten kytkentä- ja reititysprotokollien yhdistelmä. Ipsilon Networks:n kehittämä protokolla yhdistää IP-reitityksen ja ATM-kytkennän piirteitä uudeksi protokollaksi. Protokollan tukeminen ei vaadi kuin IP-protokollan, jota voidaan sitten ajaa suoraan ATM-verkon päällä. Motiivina IP Switchingin kehittämiseksi on ollut se, että nopea IP-reititys on jopa 20 kertaa kalliimpaa, kuin samalla datanopeudella toimiva ATM-kytkentä. Tästä on noussut tarve yhdistää IP- ja ATM-verkon protokollia. IP Switching ei tosin ole ainoa IP/ATM -yhdistelmä, vaan niitä on useita eri instansseilta. Esimerkkeinä muunmuassa LAN Emulation (LANE), Classical IP over ATM, NARP, Next Hop Resolution ja Multiprotocol over ATM (MPOA).

Tehokkaan IP/ATM-protokollan toteuttamiseksi on protokollan pystyttävä päättämään sovelluksen liikenteen piirteistä ja liikenneprotokollasta millainen yhteys sovelluksen liikenteelle on valittava. Yhteysvaihtoehdot ovat ATM-kytkentä mahdollisimman pitkälle tai normaali IP-reititys, mahdollisesti kuitenkin ATM backbonen kautta. Tämän mahdollistamiseksi verkossa täytyy olla IP-kytkimiä (IP Switch). IP-kytkin on periaatteessa ATM-kytkin, josta on poistettu AAL-5 -kerroksen yläpuoliset kontrolliohjelmistot, signalointi ja LAN emulointipiirteet. Niiden tilalle ex-ATM-kytkimeen on sijoitettu General Switch Management Protocol (GSMP), jolla IP-kytkinkontrolleri, joka kontrolloi IP-kytkimiä, pääsee ex-ATM-kytkimeen.

Kuva 4 esittää ATM-kytkimen ja IP-reitittimen sijoittumista verkossa.



Kuva 4. IP-Switch, rakenne.

Kuvassa 4, uloin laatikko esittää IP Switch -moduulia, jonka sisällä toimivat normaali ATM-kytkin, modifioituna kuten edellisessä kappaleessa kuvailtiin, sekä IP Switch Controller.

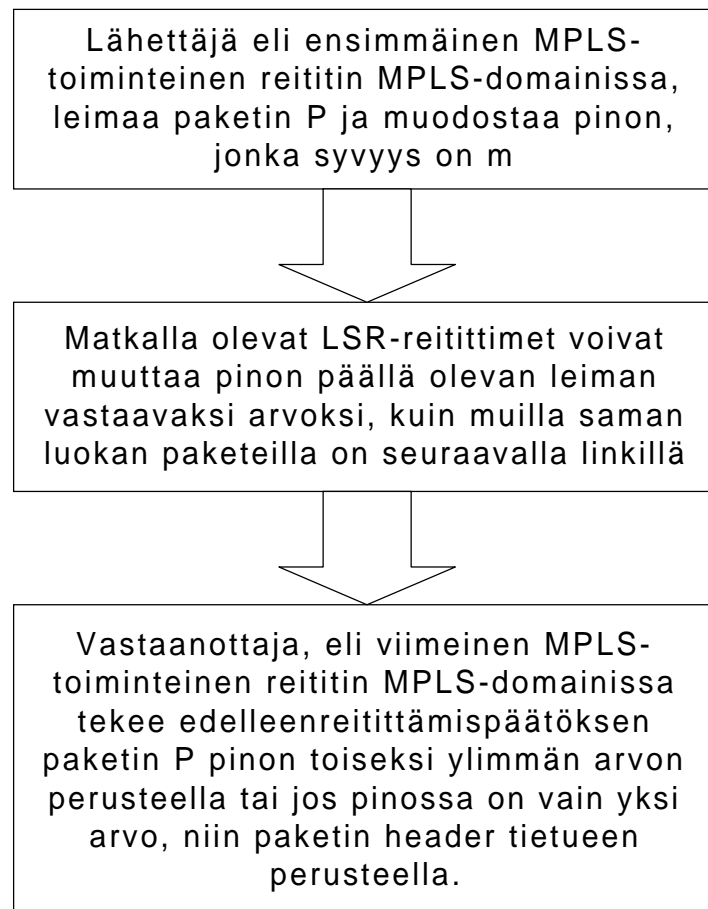
Datavirran paketit identifioidaan kuuluvaksi samaan virtaan IP-, TCP- tai UDP-headerien avulla. Pakettivirran ensimmäinen paketti ohjataan IP Switching Controllerille, joka jatkolähetää paketin, luokiteltuaan ensin virran ensimmäisen paketin perusteella. Luokittelusta riippuen paketti ja muut samaan virtaan kuuluvat paketit saattavat sitten jatkaa ATM-kytkennän kautta tai normaalia IP-reititystä käyttäen. IP Switching tukee multicast-ominaisuutta, sekä mahdollistaa palvelun laatuparametrien käytön standardin Q.2931 määrittelemällä tavalla. Standardin avulla voidaan myös toteuttaa Policy Based Quality of Service -termin mukaista palvelun laatua. [IP Switching: ATM Under IP]

7.2.2 Multi Protocol Label Switching

MPLS perustuu myös datapakettien leimaamiseen. Verkko leimaa paketteja ja samalla leimalla varustetut paketit muodostavat pakettiluokan, johon kohdistetaan samanlaista käsittelyä, pääasiassa pakettien nopeaa edelleenreitittämistä. Ainoastaan leimasta erottuvat, muuten identtiset paketit voivat kulkea eri reittejä verkossa, jos MPLS:ää käytetään. MPLS voi käsitellä useita päällekkäisiä leimoja. Aina leiman luettuaan, reititin poistaa leiman. Jos leimoja on useita päällekkäin, seuraava leima paljastuu luettavaksi seuraavalle reitittimelle. Reitittäjä, joka kykenee edelläesitettyyn toiminnallisuuteen kutsutaan nimellä Label Switching Router, LSR. LSR on siis MPLS:ää tukeva reititin.

LSR-reitittimet signaloivat leimatietojaan ja levittävät informaatiota leimoista verkossa. Esimerkiksi LSR 1 signaloi LSR 2:lle, että jos se vastaanottaa leimalla AA varustetun paketin, se tekee jotakin. Tämä viesti määrittää muille reitittimille koko verkossa yksilölliseen leimaan perustuvan pakettiluokan. Leimatietoja ja niiden linkkejä tiettyihin pakettiluokkiin säilytetään ylläpidetään leimatauluissa reitittimissä.
[A Framework for MPLS]

Kuva 5 selvittää LSR-reitittimien toimintaa niiden hoitaessa MPLS-leimattua liikennettä.



Kuva 5. MPLS-leimaus ja -reititysprosessi. [A Framework for MPLS]

MPLS yksinkertaistaa leimoihin perustuvaa reitittämistä. MPLS voi myös käyttää ATM-kytkimiä reitittämiseen. Lisäksi MPLS on riippumaton OSI verkkokerroksesta ja sitä alemmista kerroksista. Menetelmää voidaan siis käyttää muunmuassa ATM-, FR-, Ethernet- tai Token Ring -verkoissa. [MPLS Architecture] MPLS on suunniteltu siten, että sen vaatimat muutokset verkkojen kasvaessa olisivat mahdollisimman pieniä. Lisäksi MPLS on yhteensopiva IETF:n Integrated Services Model -mallin kanssa mukaanlukien RSVP. Lisäksi vaatimuksissa on esitetty, että LSR-reitittimen tulee voida kommunikoida samassa verkossa olevien ei-LSR reitittimien kanssa.

Palvelun laadun kannalta on oleellista, että voidaan käyttää QoS perusteista reititystä. Tämä tarkoittaa, että jokin datavirta reititetään sitä kautta, missä sen vaatima palvelun laatu parhaiten toteutuu. Tähän vaadittava reititys on nimeltään Explicit Routing, jonka käyttö on mahdollista MPLS-menetelmän kanssa.

Suurimmat syyt siihen, että on käytettävä tarkkaa reititystä (Explicit Routing), kun halutaan tukea QoS-reititystä on kerrottu lyhyesti alla.

- Koska MPLS-domainin alueella verkossa todennäköisesti kulkee useita eri palvelun tasoisia datavirtoja, ei ole hyödyllistä antaa jokaisen välillä olevan reitittimen laskea seuraavaa linkkiä uudestaan vertaillen tarjolla olevaa ja vaadittavaa kaistaa, vaan on parempi antaa ensimmäisen MPLS-domain reitittimen laskea ja määrättää koko reitti MPLS-domainin läpi ja paketin sen jälkeen noudattaa tarkkaa reititystä
- Informaatio, johon QoS-perusteinen reititys perustuu, saattaa usein olla hieman liian vanhaa. Tästä seuraa, että optimaalisen reitityspolun valinta saattaa silloin tällöin epäonnistua algoritmilta. Normaalisti tieto epäonnistuneesta valinnasta levitetään koko verkkoon, vaikka se ei olisi läheskään aina tarpeellista. Jos tarkkaa reititystä voidaan käyttää, se mahdollistaa ennaltaehkäisevän lähestymisen. MPLS-domainin ensimmäiselle datavirtaa käsitelleelle ja reitin laskeneelle solmulle ilmoitetaan, että elementti ei voi prosessoida sille ohjattua kuormaa. Viestin huomaava välisolmu voi silloin reitittää paketin toista kautta määräten tarkalla reitityksellä sen reitin.

Koska MPLS-reititys voidaan suorittaa myös Explicit Routing:ia käyttäen ja Explicit Routing tukee QoS-reititystä, seuraus on että MPLS tukee QoS-reititystä. [A Framework for MPLS] MPLS on siis myöskin vartenotettava vaihtoehto QoS-vaatimuksia toteuttavaksi reititysmenetelmäksi.

8. Yhteenveto

Suurimman ongelman aikakriittisten sovellusten laadun takaamiseksi tulee muodostamaan useiden erilaisten liikennetyyppien voimakas kasvu yhdessä kokonaisliikenteen kiihtyvän kasvun kanssa. Tästä seuraa, että reitittimien määrä tietenkin kasvaa valtavasti. Koska suurin osa palvelun laatua takaavista menetelmistä tarvitsee jokaiseen priorisoitua liikennettä välittävään reitittimeen oman protokollansa tai muun ohjelmiston, onkin yhä epätodennäköisempää että päästäisiin tilaan jossa kaikki reitittimet kykenisivät tukemaan kaikkia tarjolla olevia reititys-, jonotus- ja priorisointimenetelmiä. Tämä ei tietenkään ole tarpeellistakaan verkon toimivuuden kannalta, koska reititys voi tarvittaessa käyttää vain sellaisia reitittämiä, jotka tukevat tiettyä haluttua menetelmää.

Ongelma kuitenkin vaikuttaa siten, että kaikissa osaverkoissa tulisi olla liittymä sellaisen reitittimen kautta suurempaan verkkoon, että kaikkia osaverkossa käytettäviä menetelmiä voitaisiin reitittää ulos ja sisään. Ratkaisu tulee luultavasti olemaan se, että tietyssä osaverkossa tuetaan jotakin tiettyä yhdistelmää, esimerkiksi RSVP, RTP, Tag Switching ja sieltä on yhteys Internet:iin sellaisten reitittimien kautta, jotka tukevat samaa yhdistelmää. Tällöin on tehty selvä linjaveto, että MPLS-reititetty liikenne ei saa haluamaansa palvelun laatua, jos sellaista aliverkosta lähtee tai sinne tulee.

Kaikki tässä työssä esitetyt menetelmät ovat melko samankaltaisia perusajatukseltaan.

- Jonotusalgoritmeissa käytetään hyväksi IP-pakettien prioriteettikenttää tai sovellustunnusta ja siihen perustuen ohjataan paketti reitittimen puskurissa nopeammin tai hitaammin prosessoitavaksi tai ohjataan datavirta kokonaan reitittimen jonon ohi nopeasti eteenpäin.
- Reititysmenetelmissä käytetään erilaisia leimoja. Reititys saatetaan määrittää jo aikaisemmin koko osaverkon alueelle ja paketti seuraa tarkkaa reittiä. Toisaalta

taas paketin tai koko erillisen datavirran reitin saattaa määrittää siihen liitetty leima. Leimat voivat olla aikaleimoja tai QoS-luokituksia.

- Priorisointimenetelmissä resursseja varataan lyhyin viestein, jotka kulkevat käyttäjien datan seassa verkossa. Erot menetelmissä ovat lähinnä siinä, kuinka varaaminen aloitetaan ja kuka on vastuussa varausten lähettämisestä.

Sovelluksen kannalta katsottuna menetelmät vaikuttavat tarjoavan riittävää palvelun laatua, jos verkon resurssit ovat kokonaisuudessaan riittävät. Menetelmät eivät niinkään optimoi resursseja, vaan pyrkivät tarjoamaan priorisoidun läpimenon muiden kustannuksella. Videokonferenssisovellusten kohdalla suurin ongelma palvelun laadussa on edelleen useista teknologioista koostuvien pakettiverkkojen liian suuri viive. Priorisointi ei vielä auta niin paljoa, että multipoint konferenssiyhteys kokisi olevansa lähes tyhjässä verkossa, jolloin viive saataisiin ehkä painettua niin pieneksi, että konferenssin laatu olisi riittävä.

Tulevaisuudessa hallitseva, jo olemassaoleva verkkoteknologia tulee melko suurella todennäköisyydellä olemaan IP-pakettiverkko ARM-runkoverkon päällä. Tämä oletus vahvistaa Ipsilonin IP Switchingin asemaa QoS-reitityksen suhteen. IP Switchin käyttää hyväkseen molempien verkkojen ominaisuuksia ja vähentää täten IP:n ylimääräisen kuorman määrää, jota aina syntyy, kun sitä ajetaan ATM-rungon päällä. Lisäksi IP Switchin ei aseta esteitä TCP-protokollan käyttöön, joten sillä on jo olemassa suuri joukko mahdollisia asiakkaita, sovelluksia, jotka haluavat priorisoida liikennettään.

Erilaiset RSVP-yhdistelmät on toteutettu yleensä UDP-protokollalle ja ne käyttävät alimmillaan ainoastaan UDP-kerroksen palveluja. Yhdistelmää voidaan siis käyttää ATM-rungon päällä, mutta RSVP-yhdistelmä ei lainkaan käytä hyväkseen ATM:n palveluja. Jos RSVP-RTP -yhdistelmän lisäksi käytetään MPLS-menetelmää, saadaan ATM mukaan ja palvelun laadun toteutuminen on jo todennäköisempää. Tällaiset monen menetelmän yhdistelmät aiheuttavat toisaalta jonkin verran ylimääräistä prosessointia ja epäyhteensopivuuksien todennäköisyys kasvaa. Lisäksi verkkoelementtien ja verkon hallinta ja konfigurointi mutkistuu.

Palvelun laadun saaminen sille tasolle kuin käyttäjät ymmärtävät sitä vaatia, ei ole vielä mahdollista julkisissa pakettiverkoissa. Monilla suurilla kansainvälisillä yrityksillä onkin omat runkoverkkonsa, jossa he saattavat esimerkiksi käydä videokonferensseja. Lisäksi puhelinverkkojen käyttö mahdollistaa tänä päivänä aivan riittävän palvelun laadun omaavien videokonferenssien tarjoamisen. Ehkä ei olekaan niin tarpeellista saada tällaisia sovelluksia välittömästi dataverkkoihin kaistaa viemään. Tällainen näkemys on tyrmätty tutkimustuloksilla, joiden mukaan noin viiden vuoden päästä suurin osa puheluista siirrettäisiin Internetissä. Nähtäväksi jää pystyykö teknologia vastaamaan ennustukseen.

Lähdeluettelo

Cisco - Networked Multimedia Overview, <http://www.cisco.com/warp/public/614/19.html>, 17.11.1997

ETSI Project Tiphon; General Aspects of Quality of Service (QoS), Technical Report EP Tiphon WG 6, September 1997, document version Draft 0.3

Network Evolution and Multimedia Communication, Heinrich J. Stüttgen, IEEE Multimedia, Fall 1995

Delay Performance of the new Internet Service with Guaranteed QoS, Kees van Wal, Michel Mandjes, Harrie Bastiaansen, KPN Research, The Netherlands, XVI World Telecom Congress Proceedings, Fall 1997

Real Time Services over the Internet, Anders Eriksson, Ericsson Telecom, Sweden, XVI World Telecom Congress Proceedings, Fall 1997

RSVP Protocol Overview, <http://www.isi.edu/div7/rsvp/overview.html>, 5.10.1997

Towards a new IP over ATM Routing Paradigm, Philip Dumortier, Alcatel, Belgium, XVI World Telecom Congress Proceedings, Fall 1997

A Comment on Packet Video Remote Conferencing and the Transport / Network Layers, RFC 1453, W. Chimiak, April 1993

Multiplatform, Desktop Videoconferencing System for the Internet, Tomasz Stachowiak, Syracuse University, December 1997, http://trurl.npac.syr.edu/toms/Publications/Thesis/Thesis.html#_Toc407364558

ITU-T Standardization of Audiovisual Communicatio Systems in ATM and LAN Environments, Sakae Okubo, Stuart Dunstan, Geoff Morrison et ali, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, NO. 6 August 1997

Cisco IOS Software, <http://www.cisco.com/warp/public/732/>, 10.3.1998

Cisco IOS Enabling Network Services, http://www.cisco.com/warp/public/732/net_enabled/qos_signaling.html, 22.12.1997

IP and ATM Integration: QoS Issues with Enhanced Buffer Scheduling, Michela Falchi, Ericsson Telecom AB, Sweden, XVI World Telecom Congress Proceedings, Fall 1997

Policy-Based Routing, White Paper, 1996 Cisco Systems, Inc. document available from <http://www.cisco.com>)

Cisco Tag Switching, <http://www.cisco.com/warp/public/732/tag/index.html>, 22.12.1997

IP Switching: ATM Under IP, Peter Newman, Greg Minshall, Tom Lyon, Ipsilon Networks, Draft 3, November 1997

A Framework for MPLS, IETF Network Working Group, Internet Draft, November 21st 1997

MPLS Architecture, MPLS Working Group, August 10th 1997