

Access Line Technologies - fixed and dial-up

Markus Peuhkuri

2001-02-15

Luennon aiheet

- Tilaaajaverkkojen rakenne
- Tilaaajaverkkojen käyttö
- Optinen tilaaajaverkko
- Kiinteät tilaaajaliitännät
 - N-ISDN
 - ADSL
 - VDSL
 - HDSL
- Tilaaajien liittyminen

Kirjasta kappaleet

- s. 99–115 “Client Access Architecture”
- s. 152–154 “Customer Premises Router, Network Access Router, Customer Access Router”
- s. 166–168, 170–191 “The Carrier Hierarchy”
- s. 372–384 “Internet Access Services”

Tilaaajaverkkot

- Määrää kuinka verkkoa voidaan käyttää
⇒ *tärkein osa* verkkoa

Toimiakseen taloudellisesti, verkossa on luonnollisesti oltava käyttäjiä, jotka kykenevät hyödyntämään verkon palveluja. Perinteisessä modeemiyhtyksiin perustuvassa verkossa ei voi odottaa kovin suurta käyttöä esimerkiksi videokuvan tai muun laajakaistaisen median käytössä.

Nopeuttaakseen mediapalvelujen kehittämistä, esimerkiksi Ruotsissa ollaan suunnittelemassa joka kodin laajakaistayhteyttä, missä valtion varoin viedään vähintään 5 Mbps/s yhteys joka kotiin vuoteen 2005 mennessä. <http://www.itkmissionen.se/bredband/>

- Nykyisin laajakaistaverkon pullonkaula
- Suuri pääoma sitoutunut

Puhelinverkon tilaaajakaapelointia on rakennettu sadan vuoden aikana vaiheittain. Tämän uusiminen muutamassa vuodessa sitoisi suuren määrän pääomaa; maailmanlaajuisesti puhutaan triljoonien dollarien investoinneista.

Erityisesti haja-asutusalueilla jo linjojen modernisointi voi olla kallista. Yhdysvalloissa NECA on arvioinut että sikäläisten reilun kolmen miljoonan haja-asutusalueella (alle 3 asukasta/km²) linjojen uudistaminen maksaa noin USD 400 linjaa kohti. <http://www.neca.org/broadban.asp>

Siirtotiet

Tallennusmediat • suuri kaistanleveys “Never underestimate bandwidth of van full with tapes”

- erittäin suuri viive
- edullinen

Kierretty pari • puhelinverkon tilaajakaapelointi, lähiverkot

- edullinen
- useita Mbit/s useiden kilometrien matkan
- satoja Mbit/s lyhyillä (≈ 100 m) etäisyyksillä
- parin nousu ja säännöllisyys vaikuttaa: mikäli pareja ei ole kierretty toistensa ympäri, johtimet toimivat säteilevinä ja vastaanottavina anteneina. Parien kiertäminen kumoaa tämän suurelta osin.

Koaksiaalikaapeli • kaapeli-TV, puhelinverkon runko (ennen), lähiverkot

- satoja Mbit/s satoja kilometrejä

Optinen kuitu • puhelinverkon runko (yksimuoto)

- lähiverkot (monimuoto)
- pieni vaimeneminen, sähkömagneettinen eristys
- satoja Gbit/s useita kilometrejä

Mikroaallot (maanpäälliset) • 2–40 GHz

- näköyhteys
- kymmeniä Mbit/s

Mikroaallot (satelliitti) • geosynkronisilla (36000 km maan pinnasta) suuri viive (250–300 ms)

Radio • 30 MHz – 2 GHz

- pieni kaistanleveys
- matkapuhelimet

Tiedonsiirron rajoitteet

- Rajallinen kaistanleveys
 - siirtomediariippuva, yleensä ylätaajuus rajoittunut
 - esim. puhelinverkko 300–3400 Hz
- Kohina
 - lämpökohina
 - * $N = kTW$
 - * valkoinen kohina, taajuusriippumatonta
 - keskinäismodulaatio
 - * kahden eri taajuksisen signaalin yhteistulos
 - * f_1, f_2 : häiriöitä $\pm n f_1 \pm m f_2$
 - ylikuuluminen
 - impulssihäiriöt
 - * salamet, kytkennät: lyhyitä ja voimakkaita
 - ⇒ tuhoisa digitaliselle, vähäinen analogiselle
- Vaimeneminen
 - signaali vaimenee *etäisyyden kasvaessa*
 - kaapelissa (ns. ohjattu siirto) \approx lineaarisesti etäisyyden myötä. Esim. 100 km päässä signaali on vaimennut 1/10 osaan verrattuna 10 km etäisyyteen.
 - radiotiellä \approx etäisyyden neliöön. Esim. 100 km päässä signaali on vaimennut 1/100 ($1/(100/10)^2$) osaan verrattuna 10 km etäisyyteen. *Ympäristö* ja *taajuus* vaikuttavat hyvin paljon

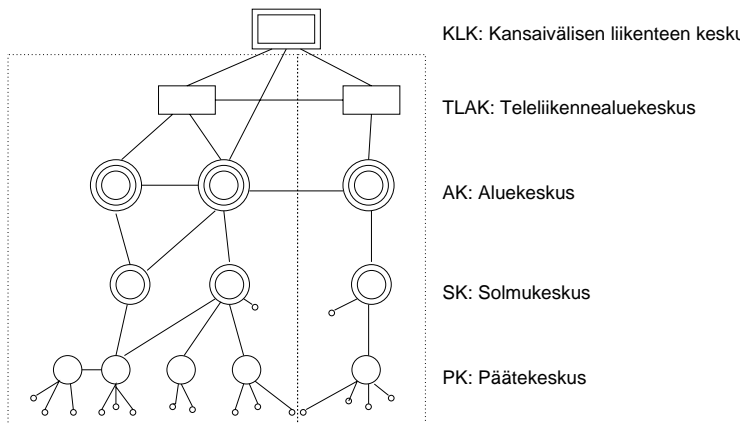
Suurin datanopeus

- Shannonin laki [2]
 - informaatioteoreettinen raja kaistanleveysrajoitteiselle ja kohinaiselle kanavalle
 - yläraja, jota on vaikea saavuttaa

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

C kanavan kapasiteetti [bit/s]
 B kanavan kaistanleveys [Hz]
 $\frac{S}{N}$ signaalitehon ja kohinatehon suhde

Televerkon rakenne



Päätekeskuksia korvataan

keskittimillä puhelinkeskus, joka tukeutuu normaalisti toiminnoissaan emokeskukseen mutta yhteyden katketessa sisäiset puhelut toimivat. Keskittimeen voi olla tuansia tilaajia kiinnittyneenä.

etäistilaajaporras keskuksista täysin riippuvainen moduuli, jossa on muutamasta kymmenestä satoihin tilaajiin.

Tilaajajohto

- Kierretty parikaapeli
 - kierto suojaa häiriöiltä
- Yleensä alle 5 km pitkä
- Sähkönsyöttö tilaajalaitteille
 - johdin kestää noin 1 A virran (0,4 mm²)
 - keskuslaitteet alle 100 mA
- Johdossa 2-4 ristikytkentää
 - keskustilassa
 - kaapissa
 - talojakamossa

Televerkon muuntuminen

- Galvaaninen yhteys tilaajalta toiselle
 - puhelimen alkuaikoina “kytkettiin johdot”
- Vahvistettu analoginen signaali
 - etäisyyksen kasvaessa vahvistaminen tarpeen
 - ei enää läpinäkyvä
 - rajoitti taajuuskaistaa
- Paikalliset puhelut analogisena, kaukopuhelut digitaalisina
 - puhelinkeskukset analogisia
 - siirtojärjestelmät digitaalisia (PCM)
- Tilaajajohto analoginen
 - digitaaliset puhelinkeskukset
 - ⇒ puhe käsitellään aina digitaalisena
 - tilaajalaite analoginen
- Tilaajajohto digitaalinen
 - tilaajalla digitaalinen laite
 - ISDN, xDSL-tekniikat

Valokuidut

- *Ei* monia kuparikaapelin rajoitteita
 - lämpökohina
 - keskinäismodulaatio (eri kuitujen välillä)
 - ylikuuluminen
 - impulssihäiriöt
- Kaistanleveys $> \text{Tbit/s}$ (10^{12})
 - lähiaikoina tulossa kaupalliseen käyttöön satojen Gbit/s yhteyksiä
- Kemiallisesti kestävä
- Haitat
 - asennus vaatii taitoa, tosin Cat5:nkään parikaapeloinnin tekeminen oikein ei onnistu kokemattomalta
 - energian kuljetus ei onnistu
- Runkoverkko käytännössä optinen

Kuidun käyttö tilaajaverkossa

- Nykyinen tilaajaverkko kuparipohjainen
- Täydellinen uusiminen kallista, useita tuhansia markkoja / tilaaja
- Hybridiratkaisut ensimmäinen vaihe
- Toiminta sähkökatkoissa: pelastaako kännykkä?

FTTH kuitu kotiin Fiber To The Home

- tehokkain, mutta kallein ratkaisu

FTTA kuitu taloon Fiber To The Apartment

- talon sisäistä kaapelointia ei uusita
- kymmenien Mbit/s nopeuksiin / tilaaja

FTTB kuitu kauppaan Fiber To The Business

- hyvät tilat ja sähkö
- ei ehkä Suomessa käyttökelpoinen

FTTN kuitu naapuristoon Fiber to The Neighbourhood

FTTC kuitu kortteliin Fiber to The Curb

FTTCab kuitu kaappiin Fiber to The Cabinet

- ristikytentäkaapeissa lämpötila ja sähkö ongelmallisia

HFC kuitu-koaksiaali Hybrid Fiber and Coax

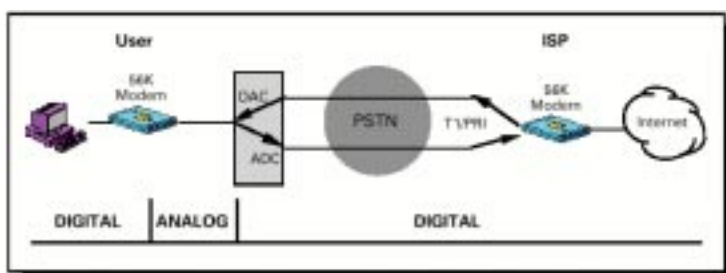
- kaapeli-tv -verkot
- aktiivilaitteet lähemmäs tilaajaa

Analoginen modeemiyhteys

- Saatavissa “kaikkialle” (1998 noin 840 000 000 liittymää)
- Ymmärrettävää tekniikkaa
- Puhelinverkko analogisen signaalin siirtoon (300–3400 Hz)
⇒ ei voida siirtää digitaalista dataa sellaisenaan
- Puhelinverkko nykyään pääosin digitaalinen

Toisen D/A-A/D parin eliminointi

- Soittosarjat digitaalisilla liitännöillä
⇒ ainoa analoginen osa lähellä tilaajaa
- V.92: 48 kbit/s myös tilaajalta



N-ISDN

- ISDN = digitaalinen monipalveluverkko
 - ITU-T: n I-sarjan suositukset
 - “Monipalveluverkko, jossa tieto välitetään digitaalisina signaaleina”
- N-ISDN perustuu puhelinverkkotekniikkaan
 - 64 kbit/s kanavat
- Diginet: esiversio

Perusliittymä (2B+D)

- Kaksi "puhe"kanavaa (B: 64 kbit/s)
- Yksi merkinantokanava (D: 16 kbit/s)
- U-rajapinta: tilaajan verkkopääte – keskus
 - 160 kbit/s, linjakoodi 2B1Q
 - 2-johdin: alle 5 km
- S-rajapinta: ISDN-päätelaite – verkkopääte
 - 196 kbit/s, linjakoodi AMI
 - 8-johdin: 1 km 2-pisteyhteytenä, 150 m väylä
- R-rajapinta
 - ei-ISDN-laitteen liittäminen, esimerkiksi analoginen puhelin, tietokone

Järjestelmäliittymä (30B+D)

- 30 "puhe"kanavaa (B: 64 kbit/s)
- Yksi merkinantokanava (D: 64 kbit/s)
- 32 kanavan 2,048 Mbit/s PCM-yhteys
 - 1 kanava synkronointiin
- Myös 31B+0D, jos > 2 järjestelmäliittymää, esimerkiksi isossa puhelinvaihteessa
 - 64 kbit/s merkinanto / 1000 puhekanavaa + vara

N-ISDN:n tilanne nyt

- Valoisampi kuin 1992
 - Datasiirto: Internet, lähiverkot
 - SOHO
- Kulut ovat pienemmät kuin kiinteällä yhteydellä
 - raja noin 4-8 h/ päivä
- Samalla liittymällä yhteydessä eri paikkoihin.
- Nopeus (perusliittymällä max. 128 kbit/s) riittämätön

ISDN edut verrattuna puhelinverkkoon (POTS)

- Nopeampi yhteydenmuodostus datasiirrossa
- Siirtonopeus riippumaton paikallisista linjaolosuhteista
- Merkinanto tilaajalle
 - ⇒ lisäpalvelut helpommin toteutettavissa
 - a-tilaajan tunnistus, maksunosoitus, aliosoitus, ...
- Molempia kanavia eri tarkoituksiin
 - merkinanto toimii vaikka molemmat kanavat käytössä
- Kalliimpi
 - perusmaksu
 - päätelaitteet (-PC-datasovittimet)

Valintaisen verkon asiakkaat

- Yhteydet puhelinverkon välityksellä
- Sisäänsoittopalvelin (Network Access Server)
 - ISDN-järjestelmäliittymä (mahdollisesti useita)
 - verkkoliitäntä (Ethernet)
 - hallintaportti
- Modeemiyhteydet – tunnistetaan merkinannon perusteella – ohjataan ohjelmistomodeemeille (usein DSP-pohjaisia)
- Soittajan autentikointi ja profilointi erillisellä palvelimella
 - radius
 - TACACS
- PPP-protokolla, monikanava-PPP [3, 4]

Parikaapelipohjainen E1/T1

- Perinteinen tapa toteuttaa yli 64 kbit/s yhteyksiä
- AMI-koodaus (+ HDB3 tai B8ZS)
- Hyvälaatuinen kupari pari
 - ⇒ asentaminen saattoi kestää pitkään
- Toistimet noin kilometrin välein
- Tarvittava määrä PCM-aikavälejä

xDSL

- Digitaaliset tilaajaliittymät
 - ISDN, ADSL, VDSL, SDSL, HDSL,...
- Parikaapelikuparin kapasiteetti riittää pitkälle
 1. digitaalinen signaalinkäsittely
 2. DSP-teknologia
- Modeemien nopeus keskustekniikan, ei tilaajayhteyden rajoittama
- Tilaajajohtojen uusiminen kallista: 15 000 e/km (keskimääräinen arvio rakennetulla alueella huomioiden kaivuu- ja peittokustannukset)

HDSL-High bit rate DSL

- Vanhin ja kypsä xDSL-tekniikoista
 - ANSI T1E1.4 (1988)
- Symmetrinen 1,5 tai 2 Mbit/s
 - 4-johdinyhteys
 - myös 4, 3 tai 1 paria (HDSL2, RA-HDSL)
- Käyttökohteet
 - parinsäästö
 - korvaamaan parikaapeli-T1/ E1
 - * toisimet 300 m välein
- Modulointi: 2B1Q,

Nopean parikaapelitekniikan ongelmat

- Vaimeneminen
 - taajuusriippuvaa $\approx \sqrt{f}$
 - rakenteesta riippuvaa (ristikytkennät)
- Hajonta: pulssien leviäminen
- Heijastukset
 - kaapelin epäjatkuvuuspeisteissä
- Kohina: ympäristöstä tulevaa EMI, RFI
- Interferenssi: yhteys häiritsee itseään ja toisia

ADSL – Asymmetric DSL

- Idea 1980-luvulta
- Toimintaperiaate
 - epäsymmetrinen toiminta
 - VOD/ MOD-käyttö
 - käyttää 30 kHz -1,1 MHz taajuuskaistaa
⇒ puhelin käytettävissä samalla yhteydellä: "lifeline"

Tilaajalle [kbit/s]	Tilaajalta [kbit/s]
8192	640
6144	640
3072	160
2048	16–176
1536	64

Nopeus [Mbit/s]	Etäisyys [m]	Kaapeli [mm ²]
2,0	5 500	0,5
2,0	4 600	0,4
6,1	3 700	0,5
6,1	2 700	0,4

Linjakoodaus

- QAM: (Quadrature Amplitude Modulation)
 - ominaisuudet tunnettuja mm. modeemeista
- CAP: (Carrierless Amplitude/ Phase)
 - piille tehokkaampi versio QAM: sta
- DMT: (Discrete MultiTone)
 - jakaa useisiin alikaistoihin (255: 4 kHz)
 - yksilöllinen kapasiteetti (15-4 bit/ Hz) laadun mukaan
 - valittu tekniikka

VDSL

- Lyhyemmille yhteyksille
 - FTTA, FTTB ja FTTC-kuituratkaisuihin
 - yksinkertaisempi => halvempi?
- Modulointivaihtoehtoja useita
 - CAP, DMT, DWMT, SLC

Nopeus [Mbit/s]	Etäisyys [m]
13	1500
26	1000
52	300

xDSL-lajikkeet

laji	nopeus bit/s	etäisyys	edut	haitat
(R)ADSL	1–6M↓ 64k–1M↑	3–6 km	epäsymmetrinen, puhe- linyhteensopiva	E1/T1-epäyhteensopiva
ADSL-lite	64k–1,5M↓ 64–512M↑	3–6 km	ei tarvetta jakajalle	hitaampi
(RA)-HDSL	128k–2M	3–6 km	matala teho, symmetri- nen, taajuusyhteensopi- va	ei puhelinmahdollisuut- ta
HDSL2	1,5–2M	4 km	T1/E1 yhdellä parilla	ei puhelinmahdollisuut- ta
IDSL	144k	6 km	lähes kaikkialle	hidas
VDSL	13–52M↓ 1–20M↑	0,3–1,5 km	nopein	lyhyet etäisyydet

Kaapelimodeemit

- KTV tarjoaa laajakaistayhteyden kotiin
 - 6 MHz / kanava
 - myötäsuunta 50 – 750 MHz
 - paluusuunta 5 – 30 MHz
- Rakenne erilainen kuin puhelinverkko
 - puurakenne
 - puu + väylä (Suomessa usein)
- Vuorovaikutteisuus
⇒ toistimet kaksisuuntaiset

Toimintaperiaate

- Liitetään KTV-verkkoon
 - TV-liitäntä tavanomainen
 - tietokoneliitäntä yleensä Ethernet (10BaseT)
- IP-pohjaiset nykyään käytetyimmät
- Jaettu kapasiteetti; tosin kaikissa pakettipohjaisissa verkoissa kapasiteetti on jaettu heti ensimmäisen reitittimen jälkeen

Nopeudet

- Symmetriset
 - 500 kbit/s – 4 Mbit/s
- Asymmetriset
 - tilaajalle 10 Mbit/s
 - * kaikille tilaajille 30 Mbit/s
 - tilaajalta 500 kbit/s – 1 Mbit/s
- Paluukanavan pääsynvalvonta CDMA/CD
- Standardointi: IEEE 802. 14

Standarditilanne

ISDN valmis, kypsä

HDSL valmis, kypsä; etäisyyden kasvattaminen

ADSL pääosin standardoitu (ANSI T1.413)

SDSL adaptiivinen HDSL, standardointi tekeillä

- piirisarjoissa eroja

VDSL standardit kehitteillä

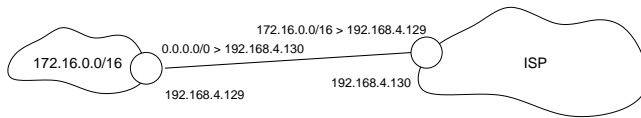
HomePNA puhelinkaapelointia hyödyntävä talon sisäinen verkko: 10 Mbit/s määrittäminen valmistunut 2000-12-01.

Verkkoliitännäiset tilaajat

- Asiakasreititin
 - asiakkaan tiloissa
 - operaattorin tai asiakkaan
 - määrittää asiakkaan perusturvan ja -yhteydet
- Kiinteä yhteys tilaajalta operaattorin PoP:in (Point of Presence)
 - vuokrattu tai oma kupari/kuitu
 - * päätelaitteet operaattorin ja/tai tilaajan hallinnassa
 - * lyhyt etäisyys tilaajalta PoP:iin
 - yhteys televerkon kautta
 - * PDH- tai SDH-yhteys
 - * kiinteä kapasiteetti
 - ⇒ voi olla kallis
 - pakettipohjainen yhteys
 - * ATM, FR (kehysvälitys) siirtokerroksella
 - * IP-tunnelointi
- Pääsyreititin, reunareititin, PoP-reititin
 - valvoo asiakkaan reititystietoja
 - liikenteenhallinta, laskenta, suodatus

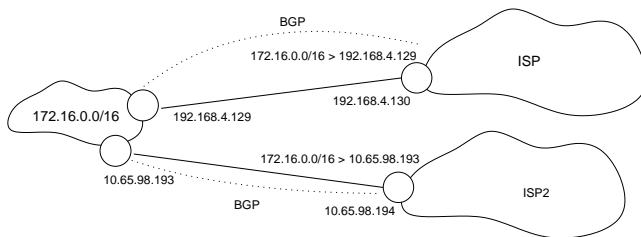
Asiakkaat yhdellä liitännällä

- Edullisin ja yksinkertainen ratkaisu
- Ei vikasietoinen
- Staattinen reititys järkevin



Asiakkaat useammalla liitännällä

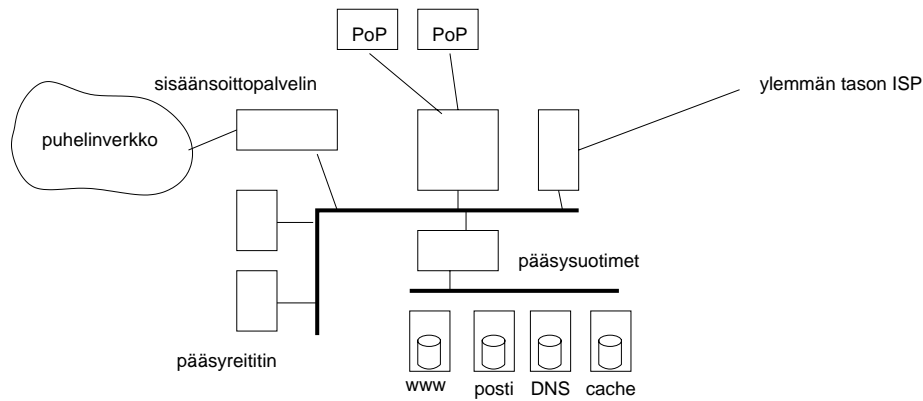
- Maantieteellisesti laajat asiakkaat
- Suojaa yhteyden katkeamiselta
- Riippuvainen samalta ISP:ltä
- Staattisilla reiteillä “closest exit” tai “hot potato”-reititys
- BGP-reititys [1] tarjoaa suojaa sisäisiltä verkkokatkoilta
⇒ *turvallisuus!*



Monikotiset asiakkaat

- Yhteydet usealta operaattorilta
 - vikasietoisuus
 - kustannusten optimointi
 - toimintatapojen ja turvallisuuden optimointi
- BGP-reitityksellä
 - oma AS
 - mainostetaan useamman operaattorin välityksellä
- Vaatii osaamista
- Hyvin toteutettuna luotettava

Operaattorin verkon rakenne



Yhteenveto

- Useita eri tekniikoita
- Valintaiset yhteydet pienile, ei-jatkuville siirroille
- Kiinteille yhteyksille useita tekniikoita
 - xDSL-yhteydet useisiin Mbit/s
 - Kuituyhteydet suuremmille nopeuksille
- Yksi tai useampia liitäntöjä yhdelle tai useammalle operaattorille
 - kustannukset, turvallisuus ja luotettavuus vaikuttavat

Viitteet

- [1] Y. Rekhter and T. Li. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). Request for Comments RFC 1771, Internet Engineering Task Force, March 1995. (Internet Draft Standard) (Obsoletes RFC1654). URL:<http://www.ietf.org/rfc/rfc1771.txt>.
- [2] C. E. Shannon. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27:379–423, 623–656, July, October 1948. URL:<http://cm.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/paper.html>.
- [3] W. Simpson and Editor. The Point-to-Point Protocol (PPP). Request for Comments RFC 1661, Internet Engineering Task Force, July 1994. (Internet Standard) (Updated by RFC2153) (Obsoletes RFC1548) (Also STD0051). URL:<http://www.ietf.org/rfc/rfc1661.txt>.
- [4] K. Sklower, B. Lloyd, G. McGregor, D. Carr, and T. Coradetti. The PPP Multilink Protocol (MP). Request for Comments RFC 1990, Internet Engineering Task Force, August 1996. (Internet Draft Standard) (Obsoletes RFC1717). URL:<http://www.ietf.org/rfc/rfc1990.txt>.