



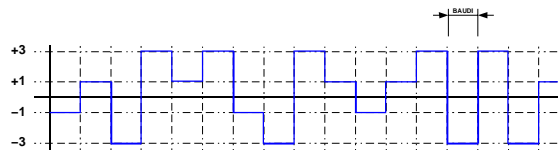
S–38.192 Verkkopalvelujen tuotanto

Luento 6: xDSL tekniikalla toteutettu tilaajaliitännä



2B1Q

- Nelitasoinen kantataajuussignaali
 - 2 bittiä per symboli
- Käytetään
 - ISDN perusliitännässä (DSL)
 - HDSL



HDSL

- **HDSL** (High Bit–Rate Digital Subscriber Line)
 - Ensimmäinen kehitetty xDSL–tekniikka
 - Kantataajuus pohjainen toiminta (2B1Q)
 - Samalla linjalla ei ole mahdollista tuottaa yhtäaikaista puhelinpalvelua
 - Molempiin suuntiin symmetrinen
 - Etua yritysten dataverkkoja liitettäessä
 - Puhelinvaihteiden tilaajajohtotekniikka 'yrityslittymissä'
 - Pimeät aikavälit
 - Käyttää useampaa kuin yhtä tilaajajohtoa palvelun tuottamiseen
 - Kahden tilaajajohdon avulla päästään 1.5Mbps (T1) nopeuteen
 - Kolmella tilaajajohdolla nopeus voidaan nostaa aina 2Mbps (E1) asti
 - Tilaajayhteyden maksimipituus on normaalioloissa 3–4km



SDSL

- **SDSL** (Single–Line Digital Subscriber Line)
 - Yhden tilaajajohdon muunnelmä HDSL:stä.
 - Käyttää samaa 2B1Q modulaatiota
 - Nopeudet vastaavat täysin HDSL:n arvoja
 - Suosio on HDSL–tekniikkaa suurempi
 - Maksimipituus tilaajajohdolle on 3km



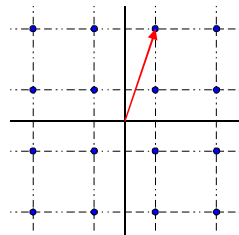
G.SHDSL

- **G.SHDSL** (Symmetric High Bit-Rate Digital Subscriber Line)
 - ITU-T Recommendation G.991.2
 - T1E1 – HDLSL2
 - ETSI – SDSL
 - Siirtonopeudet 192 kbps – 2.312 Mbps
 - Koodaus 16-Level TC-PAM (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation)
 - Yhden johdinparin tekniikka
 - Siirrettävä informaatio rakenteellista
 - ATM
 - TDM
 - IP
 - Sekoitus



CAP/QAM

- Carrierless AM/PM – Quadrature Amplitude Modulation
 - Kaksiulotteinen koodiavaruus
 - Ortogonaaliset signaalikomponentit
 - Amplitudi / Vaihe
- Käytetään
 - ADSL
 - VDSL



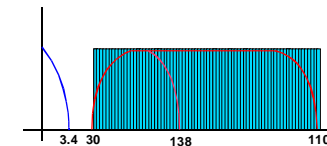
ADSL

- **ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line)
 - Yleisimmin käytetty xDSL-tekniikka.
 - Asymmetrinen eli nopeus verkosta tilaajalle on suurempi kuin tilaajalta verkkoon
 - Jakaa käytettävän taajuuskaistan kolmeen osaan:
 - 0–3400Hz puhelinpalvelu
 - 20–160kHz kaksisuuntainen datakanava
 - 240–1100kHz verkosta tilaajalle oleva datakanava
 - Kanavat on jaettu 256 kantoaaltoon
 - Kantoaaltoja voidaan aktivoida ja passivoida siten, että asiakkaalle tarjottava kokonaiskapasiteetti on maksimissaan 1.5–8Mbps verkosta asiakkaalle ja 1.5Mbps asiakkaalta verkkoon
 - Tilajajohdon maksimipituus on 4–5km välillä



DMT

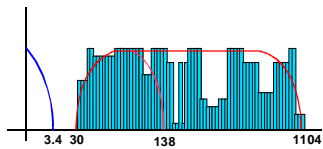
- Discrete Multitone
 - $N \times$ CAP/QAM
 - Linjakoodi muodostuu N :stä osakoodista
 - ADSL $\rightarrow N = 256$
 - Osakoodit muodostetaan nopealla (diskreetillä) Fourier muunnoksella (DFT, FFT, IFFT)
- Käytetään
 - ADSL
 - VDSL





ADSL

- DMT:tä käyttävä ADSL-järjestelmä mittaa jatkuvasti tilaajajohdon laatua
 - Ylikuulumista
 - Bittivirheitä
- Symbolinopeus sovitetaan tilaajajohdon laatuun



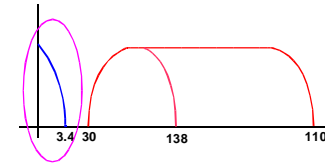
ATU-C

- ADSL Tranceiver Unit Central Office
 - Verkon aktiivilaiteesta löytyvä modeemi, joka huolehtii yksittäisen tilaajan tilaajayhteydestä
 - Tyypillisesti yhdistetty suuremmaksi kokonaisuudeksi -> DSLAM
 - Sisältää useita modeemeja
 - Kanavointiyksikkö, jolla modeemien informaatiovirta välitetään runkoverkkoon



ATU-R

- ADSL Tranceiver Unit Remote
 - Tilaajan verkkopäätte, johon ADSL-siirtoyhteys terminoidaan
 - Tyypillisesti, joko
 - Kortti tilaajan päätelaitteessa
 - Erillinen aktiivilaite
 - Voi sisältää itsessään kaistanpäästösuodattimen, jolla puhesignaali erotetaan datasignaalista



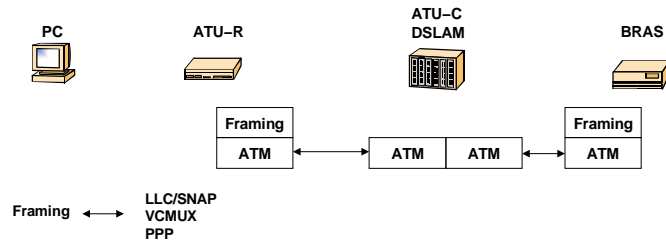
Informaation kehystys

- xDSL-tilaajaliitännät on tyypillisesti tarkoitettu datan siirtoon
- Dataa siirretään joko
 - Kotitilaajalta julkiseen palveluverkkoon (Internet)
 - Kotitilaajalta yrityksen sisäiseen verkkoon (Intranet)
 - Yrityksen toimipisteiden välillä
- Kaikissa näissä tapauksissa voi tilaaja olla
 - Reititetty
 - Tilaaja on oman aliverkon takana
 - Sillattu
 - Tilaaja on usean muun tilaajan kanssa samassa aliverkossa



Kehystysvaihtoehdot

- RFC2684: Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5
- RFC2364: Point to Point Protocol over ATM
- RFC 2516: A Method for Transmitting PPP Over Ethernet (PPPoE)
- Point to Point Protocol over Ethernet over ATM



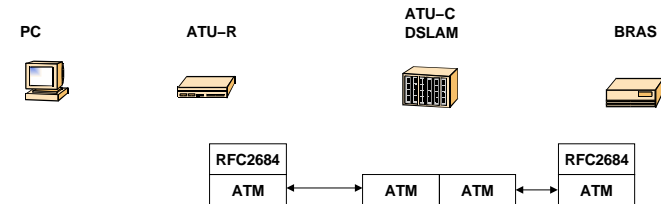
RFC2684

- Kaksi tapaa toimia:
 - **VC-kanavointi**
 - Ei kehystystä → yksittäisellä ATM virtuaaliyhteydellä voidaan siirtää vain yhden tyyppistä informaatiota
 - Yhteyden päätepisteiden tulee olla tietoisia informaation rakenteesta
 - **LLC-kapselointi**
 - IEEE 802.2 kehystys lisätään kaikkeen informaatioon → yksittäinen kanava voi siirtää mitä tahansa tietoa



RFC 2684

- **RFC 2684: Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5**
 - Aiempi versio RFC 1483



RFC 2684

- **VC-kanavointi** hyödyntää suoraan ATM AAL5:n CPCS-rajapintaa
 - **Reititetyt protokollat** sijoitetaan suoraan CPCS-PDU:n sisälle
 - **Sillattujen protokollien** tapauksessa liitetään mukaan vastaanottajan MAC-osoite

CPCS-PDU	
PAD (0-47 octect)	
CPCS-UU (1-octect)	
CPI (1 octect) = 0x00	
Length (2 octect)	
CRC (4 octect)	

PAD =00-00
MAC Destination
MAC kehys
LAN FCS (Riippuu VC:stä)
PAD (0-47 octect)
CPCS-UU (1-octect)
CPI (1 octect) =0x00
Length (2 octect)
CRC (4 octect)

RFC 2684

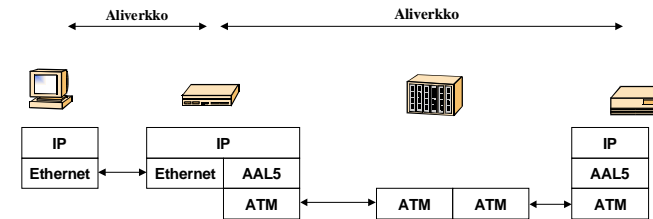
- **VC-kanavointi edellyttää kommunikoivien päiden keskinäistä sopimusta virtuaalikanavalla välitettävän informaation rakenteesta**
 - PVC-yhteyksillä vastuu jää ylläpitäjälle
 - SVC-yhteyksillä hyödynnetään merkinantoprotokollan optioita

RFC 2684

- **LLC-kapselointi**
 - LLC:n otsikko ilmaisee protokollan tyypin
 - **Reititettyjen protokollien** tapauksessa voidaan käyttää mitä tahansa seuraavista kehystys vaihtoehdoista
 - Pelkkä LLC

Destination SAP
Source SAP
Frame Type
Information
PAD (0-47 octect)
GPGS-UU (1-octect)
CPI (1 octect) =0x00
Length (2 octect)
CRC (4 octect)

Reititetyt protokollat



RFC 2684

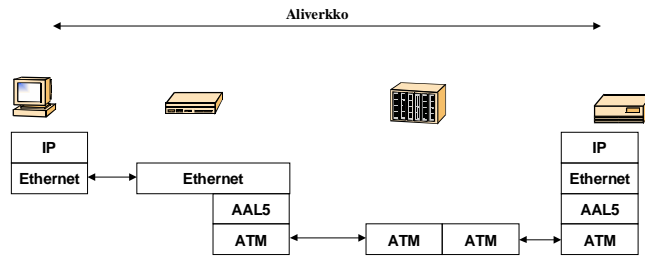
- **LLC/SNAP**
 - Pakollinen, jos protokolla on IP
- **LLC/NLPID:tä**

Destination SAP =AA	AA-AA-03 -> SNAP
Source SAP =AA	
Frame Type =03	
OUI =00-00-00	00-00-00 -> Ethertype
Ethertype =08-00	08-00 -> IPv4
Information	
PAD (0-47 octect)	
GPGS-UU (1-octect)	
CPI (1 octect) =0x00	
Length (2 octect)	
CRC (4 octect)	

Destination SAP =FE	FE-FE-03 -> NLPID
Source SAP =FE	
Frame Type =03	
NLPID	
Information	
PAD (0-47 octect)	
GPGS-UU (1-octect)	
CPI (1 octect) =0x00	
Length (2 octect)	
CRC (4 octect)	



Sillatut protokollat



Point to Point Protocol (PPP)

- **RFC 1661: Point-to-Point Protocol** (1994)
- Point-to-Point Protocol (PPP) tarjoaa yhtenäisen rajapinnan erilaisten verkkoprotokollien toiminnalle point-to-point (suorajohto) yhteyksillä
- PPP rakentuu kolmesta osasta:
 - **Kapselointimenetelmästä**, joka kapseloi verkkoprotokollan geneeriseen protokollariippumattomaan muotoon
 - **Siirtoyhteyden valvontaprotokollasta** (Link Control Protocol), joka muodostaa, ohjaa ja valvoo siirtoyhteyksiä
 - **Verkkoyhteyden valvontaprotokollasta** (Network Control Protocol), joka muodostaa ja ohjaa verkkoyhteyksiä



RFC 2684

- **Sillattujen protokollien** tapauksessa käytetään aina LLC/SNAP – kapselointia

Destination SAP =AA
Source SAP =AA
Frame Type =03
OUI =00-80-C2
PID =00-01 / 00-07
MAC Destination
MAC kehys
LAN FCS (PID=00-01)
PAD (0-47 octect)
GPFS-UU (1 octect)
CPI (1 octect) =0x00
Length (2 octect)
CRC (4 octect)

AA-AA-03 -> SNAP
 00-80-C2 -> Bridging
 00-01 -> FCS säilytetty
 00-07 -> FCS ei säilytetty



PPP – kehysrakenne

- Kapselointi perustuu verkkoprotokollan kehystämiseen
 - 1-2 mittaisella protokollatunnisteella
 - Tarvittavan mittaisella täytteellä

Protokollatunniste (1-2 tavua)	Verkkoprotokolla (N tavua)	Täyte (M tavua)
-----------------------------------	-------------------------------	--------------------

- Varsinainen kehystys riippuu käytetystä siirtotekniikasta
 - PSTN
 - ISDN
 - Ethernet
 - ATM
 - FrameRelay

PPP – yhteyskäytäntö

- PPP:ssä on hallittu yhteyskäytäntö:
 - Siirtoyhteyden avaus
 - LCP asettaa siirtoyhteyksikohtaiset ohjausparametrit
 - Käyttäjän tunnistus
 - Käyttäjän tunnistus on vapaaehtoinen toiminne, jonka käyttö tulee huomioida siirtoyhteyden avausvaiheessa
 - Verkkoyhteyden avaus
 - Verkkoyhteyden avaus on protokolla riippuvainen toiminne, jossa NCP asettaa verkkoyhteyksikohtaiset ohjausparametrit
 - Verkko- / siirtoyhteyden purku
 - Verkkoyhteyksiä voidaan avata ja purkaa yksittäisen siirtoyhteyden sisällä vapaasti
 - Siirtoyhteyden purku katkaisee kaikki verkkoyhteydet, jotka on avoinna

PPP – LCP ohjausparametrit

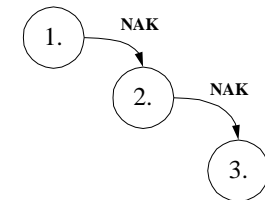
- Maximum Receive Unit
 - Kertoo maksimaalisen paketin koon, jota laite kykenee käsittelemään
 - Oletusarvo ja minimi vaatimus siirtoyhteydelle on 1500 tavua
 - Käytettävä pakettikoko on usein riippuvainen käytetystä mediasta
 - Hitaassa mediassa pitkä paketti aiheuttaa siirtoyhteyden varaamisen pitkäksi aikaa yhdelle verkkoyhteydelle
 - 1500 tavua 56 kbps modeemiyhteydellä (ilman kehystystä) kestää 210 ms
 - 1500 tavua 10 Mbps ethernet yhteydellä (ilman kehystystä) kestää 1.2 ms

PPP – LCP ohjausparametrit

- Kompressio
 - Protocol-Field-Compression
 - Hitailla yhteyksillä on mahdollista kompressoida PPP-kapselin protokollakenttä yhden tavun mittaiseksi (50% säästö)
 - Address-and-Control-Field-Compression
 - Hitailla yhteyksillä on mahdollista kompressoida L2 osoite
 - PPP-yhteydet ovat luonteeltaan suoria kaksipiste yhteyksiä, joten päätepisteet voidaan tunnistaa kokonaisluvuilla → helppo kompressio
 - LCP-paketteja ei saa kompressoida, jotta hallintainformaatio on varmasti luettavissa

PPP – LCP ohjausparametrit

- Autentikointimenetelmä
 - *Configure Request* –sanoman lähettänyt päätepiste odottaa vastaanottajan autentikoivan itsensä
 - Autentikointimenetelmän valinta tapahtuu iteratiivisesti
 - Päätepisteet neuvottelevat protokollan suosituimmuus järjestyksessä
 - Autentikointi voidaan suorittaa kumpaankin suuntaan
 - Kumpikaan osapuoli ei ole 'luotettu'
 - Menetelmän valinta riippumaton





PPP – Autentikointi

- **Password Authentication Protocol (PAP)**
 - RFC 1334
 - Käyttää yksinkertaista kättelyä
 - Asiakaspää lähettää
 - Verkkotunnuksen
 - Salasanan
 - Palvelinpää kuittaa
 - Kättelyn onnistuminen on varmistettu toistuvilla lähetyksillä ennen kuittausta tai yhteyden purkua
- **Heikkoudet**
 - Tunnus/salasana ovat selkokieliisiä
 - Mahdollistaa kaappauksen ja sitä kautta hyökkäykset
 - Yksisuuntainen salaus mahdollista, mikäli asiakasohjelma tukee
 - Skannaus mahdollista
 - Tunnus ei lukitu virheellisistä yrityksistä
 - Mahdollista tehdä tietokantaan



PPP – Autentikointi

- **CHAP ongelmia**
 - Haaste pohjautuu operaattorin tietoon asiakkaan kyvystä vastata haasteeseen
 - Kuinka tietää asiakkaan identiteetti ???
 - Tarvitaan primäärinen tunnistaminen
 - » Tunnus/Salasana
 - » Tilaajajohto
 - » Tuki kaksinkertaiselle tunnistamiselle ???
- **CHAP ongelmia**
 - Miten välittää salaiset avaimet asiakkaalle ilman riskiä
 - Jos autentikointipalvelin ei sisällä kaikkia asiakastietoja
 - Kuinka välittää salainen avain verkon yli salattuna



PPP – Autentikointi

- **Challenge Handshake Authentication Protocol (CHAP)**
 - RFC 1994
 - Perustuu kaksinkertaiseen kättelyyn
 - Palvelin lähettää haasteen
 - Asiakas vastaa hash-funktion tuottamalla tuloksella (yksisuuntainen)
 - Palvelin tarkastaa tuloksen ja
 - Kuittaa
 - Purkaa yhteyden
- Kättely voidaan suorittaa tarvittaessa uudestaan
 - Rajoitetaan murrettun avaimen mahdollistama vahingon tuottamista
- Salainen avain, jota käytetään hash-funktion laskennassa voi perustua mihin tahansa tekniikkaan
 - Pankkiavaimet !!!
- **Ongelma**
 - Salainen avain pitää olla myös palvelimessa selväkielisenä
 - Tietoturvariskit



PPP – Autentikointi

- **PPP Extensible Authentication Protocol (EAP)**
 - RFC 2284
 - Tarjoaa tuen useiden autentikointimenetelmien käyttöön
 - Siirtää autentikaatiomenetelmän valinnan LCP:ltä varsinaiseen autentikointivaiheeseen
 - Siirtoyhteys on pystytetty valmiiksi
 - Mahdollistaa lisäinformaation keräämisen asiakkaasta ennen algoritmin päättämistä
 - Mahdollistaa erillisen autentikointijärjestelmän käyttämisen PPP:n yhteydessä (RADIUS)



PPP – Autentikointi

- EAP perustuu vähintään kaksinkertaiseen kättelyyn
 - Palvelin lähettää yhden tai useamman pyynnön asiakkaalle
 - Ensimmäinen pyyntö on tyypillisesti identiteetin tunnistus
 - Pyyntö sisältää tyyppi kentän, joka identifioi pyynnön luonteen
 - Identiteetti
 - Tunnus / Salasana
 - Kertaluontoinen salasana
 - MD5 –haaste ...
 - Asiakas vastaa pyyntöihin niiden tyyppin mukaisella tiedolla
 - Palvelin vertaa vastausta ja kuittaa vastauksen, joko *onnistuneeksi* tai *epäonnistuneeksi*



PPP – LCP ohjausparametrit

- Magic Number
 - Päätepisteen tunniste, joka perustuu satunnaisuuteen
 - Generoidaan reaaliaikakellosta, verkkokortin MAC-osoitteesta tai muusta lähteestä, joka johtaa suurella todennäköisyydellä yksilölliseen tulokseen
 - Auttaa tunnistamaan siirtoyhteydellä mahdollisesti esiintyvät virheet
 - Esimerkiksi: kaiutus



PPP – LCP ohjausparametrit

- Quality Protocol
 - PPP on tarkoitettu toimimaan erilaisissa ympäristöissä
 - Jotkut siirtotekniikat aiheuttavat toisia enemmän pakettihukkaa sekä bittivirheitä
 - Näissä tapauksissa voidaan käyttää siirtoyhteyden laadun tarkkailua, jonka tuloksia päätepiste voi soveltaa yhteyden uudelleen parametrisointiin
 - Kumpaankin suuntaan riippumaton prosessi



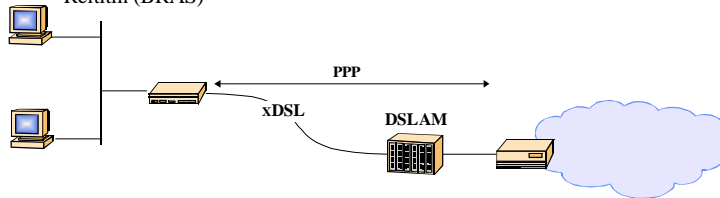
PPP over ATM (PPPoA)

- RFC 2364: PPP over AAL5
 - PPP paketit kehystetään AAL5 kehykseen
 - Virtuaalikanava pohjaisella kanavoinnilla
 - LLC/SNAP pohjaisella kapseloinnilla
 - AAL5 –kerros tarjoaa PPP:lle
 - Point-to-point yhteyden, joka on bittisynkronisesti toteutettu
 - Yhteyden hallintasiignaalit
 - LCP:n yhteyden 'UP' ja 'DOWN' tapahtumat



PPP over ATM (PPPoA)

- PPP-yhteys muodostetaan ATM:n terminaalien välille
 - Tyypillinen ADSL yhteys terminoidaan modeemiin, joka on joko
 - Kortti PC:ssä
 - Erillinen aktiivilaite
 - Verkossa yhteys terminoidaan aktiivilaitteeseen
 - Reititin (BRAS)



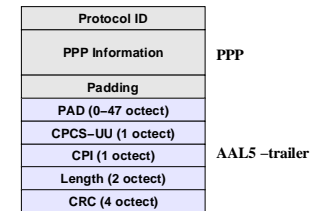
PPP over ATM (PPPoA)

- PPP-yhteyden yli siirretään tyypillisesti, joko
 - Ethernet kehysiä
 - Sillattu palvelu
 - Verkkokerroksen ohjausprotokolla –BCP
 - IP paketteja
 - Reititetty palvelu
 - Verkkokerroksen ohjausprotokolla –IPCP

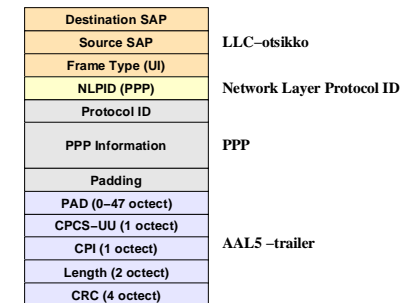


PPP over ATM (kanavointi)

- VC-kanavointi
 - AAL5 –kehys ei sisällä tietoa informaation muodosta



- LLC-kanavointi

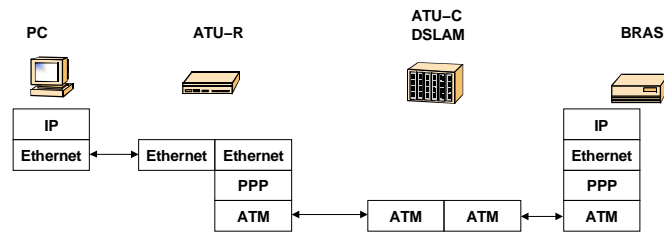


PPP – BCP

- **RFC 2878: PPP Bridging Control Protocol**
 - Mahdollistaa sillatun verkkopalvelun konfiguroinnin ennen varsinaisen informaation välittämistä linkillä
 - Sillan ID – jos tilaajan verkkopääte on loogisesti osa keskitintä
 - Yhteys ID – jos tilaajayhteys mallinnetaan sillattavana verkkona (SR)
 - MAC tuki – mitä verkkoja silta tukee (802.3, 802.4, 802.5)
 - Tinygram kompressio – minimi kehyspituutta edellyttävät täytteet poistettu
 - MAC-osoite – mahdollisuus mainostaa omaa MAC-osoitetta vastaanottajalle (Access Control)
 - IEEE 802 Tag – VLAN tunnisteen käyttö
 - Kanavan sisäinen hallinta – erilaisten sovellushallinta protokollien aktivointi (GVRP, GMRP)

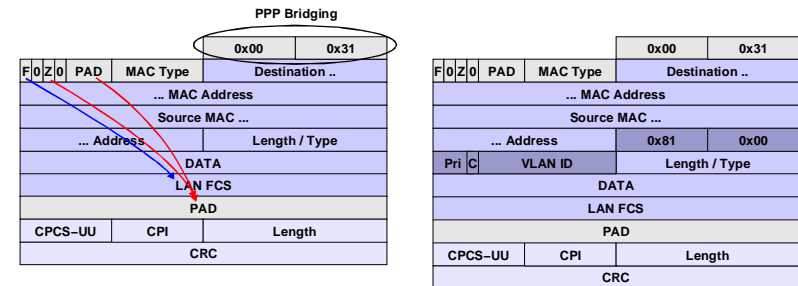


Sillattu PPP-yhteys



PPP – BCP

- 802.3 kapselointi
- 802.3 kapselointi (VLAN tuella)

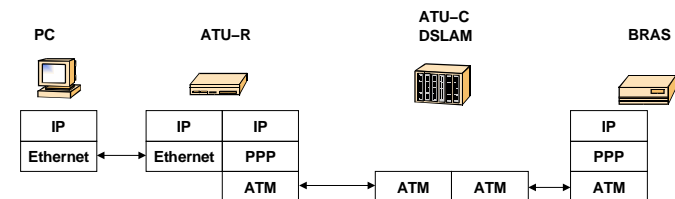


PPP – IPCP

- **RFC 1332: The PPP Internet Protocol Control Protocol**
 - Mahdollistaa reititetyn verkkopalvelun konfiguroinnin ennen varsinaisen informaation välittämistä linkillä
 - IP-osoitteen välittämisen asiakkaalle
 - TCP/IP -otsikoiden kompressio
 - Van Jacobsonin kompressio TCP-otsikolle
 - » 40 tavua → 2–5 tavua
 - Mobile IPv4
 - DNS (primary, secondary)
 - NBNS (primary, secondary)



Reititetty PPP-yhteys





PPP over ATM (PPPoA)

- **Hyvää**
 - ATM-yhteys on todella aidosti yhden asiakkaan yhteys
 - Kapasiteetti taattu asiakkaalle
 - Yhteyden turvallisuus on taattu, jos jokainen asiakas on omassa IP-aliverkossa
- **Huonoa**
 - Yhteys on luonteeltaan operaattorilta asiakkaan xDSL-päätteeseen
 - Autentikointi pitää rakentaa verkkoprotokollan päälle
 - Asiakkaan päätelaite voi olla sammutettuna mutta LCP ei näe sitä, koska modeemissa on virrat päällä
 - Tietoturva
 - Resurssien käyttö



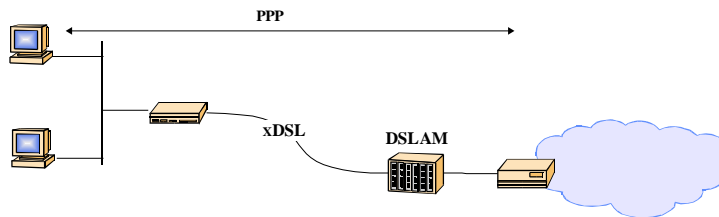
PPP over Ethernet (PPPoE)

- RFC 2516: [A Method for Transmitting PPP Over Ethernet \(PPPoE\)](#)
 - PPP-paketit kehystetään Ethernet-kehukseen
 - PPP toimii resurssien jakajana Ethernet-verkossa
 - Tarkoitettu mahdollistamaan ns. kiinteistöverkot
 - Kiinteistön sisällä
 - Jaettu Ethernet-verkko
 - Yksi liitäntäpiste operaattorille (sillattu liikenne)
 - Asiakkailla
 - Jokaisella oma yksilöllinen sopimus operaattorin kanssa
 - » Oma palveluprofiili
 - » Oma laskutus
 - » Oma autentikointi ja salaus

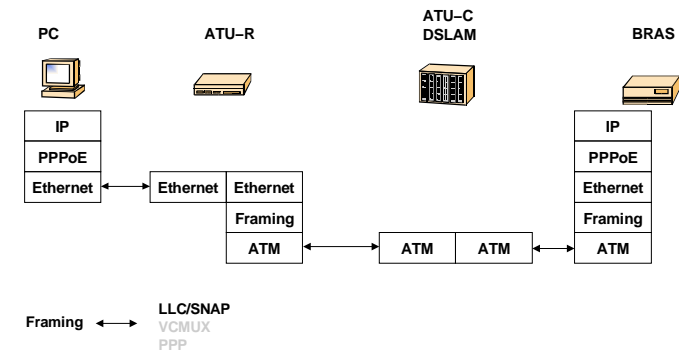


PPP over Ethernet (PPPoE)

- Toiminta jakautuu kahteen vaiheeseen:
 - Yhteyden alustusvaihe (Discovery stage)
 - PPP-istuntovaihe (PPP session stage)



Informaation kehystys





PPP over Ethernet (Discovery)

- Käynnistys vaihe
 - Asiakas lähettää käynnistyspyynnön Ethernet levitysosoitteeseen
 - point-to-multipoint
 - Käynnistyspyyntö sisältää palvelun nimen
 - ISP:n nimi
 - Palveluluokan nimi
- Tarjous vaihe
 - Tilajakeskittimet, jotka tarjoavat asiakkaan pyytämää palvelua vastaavat asiakkaan Ethernet osoitteeseen
 - point-to-point
 - Tarjous sisältää tilajakeskittimen nimen sekä pyydetyn palvelun nimen



PPP over Ethernet (Discovery)

- Pyyntö vaihe
 - Asiakas valitsee yhden tilajakeskittimen, jolta pyytää palvelua
 - Point-to-point
 - Palvelupyyntö sisältää palvelun nimen
- Vahvistus vaihe
 - Tilajakeskitin vastaa asiakkaan palvelupyyntöön
 - Point-to-point
 - Vastaus sisältää
 - Palvelun nimen
 - Avatulle PPP-yhteydelle generoidun yhteystunnisteen (SESSION_ID)



PPP over Ethernet (Session)

- PPP istunnon aikana paketit lähetetään vastaanottavalle tilajakeskittimelle varustettuna yhteystunnisteella, jonka tilajakeskitin on yhteydelle generoinut
- PPP kehyksen maksimi koko on 1492 tavua, johon lisätään PPP protokolla ID ja Ethernet kehystys – > 1500 tavua

Destination Address	Ethernet otsikko
Source Address	
Ether Type	PPPoE otsikko
Version	
Type	
Code	
Session ID	PPP
Length	
Protocol ID	
PPP Information	
Padding	
Checksum	



SummaSummarum

- DSLAM on kaikissa tapauksissa vain 'tyhmä keskittin'
 - Eri asiakkaiden ATM-yhteydet kanavoidaan yhdelle siirtoyhteydelle kohti verkon älyä
 - BRAS
 - Tyypillisesti yhteydet on toteutettu PVC:nä
- Asiakasmodeemi on joko
 - Rajallisella älykkyydellä varustettu silta
 - Älykäs reititin, joka suorittaa pääsyn valvontaa, reititystä jne
- Päätelaitte voi olla täysin riippumaton verkosta tai sitten vaatia PPPoE protokollatuen