



Puhelinverkko

Kirja sivut 97-144, 445-530



Langallinen puhelinverkko

- Puhelinverkko on yli sata vuotta vanha rakennelma
 - Voidaan pitää maailman suurimpana koneena
 - Erittäin standardoitu ja säännelty
 - Yhteiskunnan toiminnalle välttämätöntä infrastruktuuria
- Tällä luennolla esitellään
 - Puhelinkoje
 - Kanavointi
 - Keskus
 - Digitaalinen siirtoverkko
 - SS7 signaalointiverkko
 - Palveluita tarjoava älyverkko
- Ensi viikolla langattomat teknologiat



- (Lanka)puhelinverkon päätelaite on analoginen puhelin, joka on hyvin yksinkertainen laite
 - Mikrofoni, kuuloke, valitsin, soittokello, luurin kytkin
- On yhteydessä puhelinkeskukseen tai keskittimeen yhdellä parikaapelilla
 - Parikaapelin kaksisuuntainen käyttö aiheuttaa kaikua, jonka poistamista varten keskuksen päässä on kaiunpoistopiiri
- Numerovalinta pulsseina tai kaksitaajuisena äänisignaalina



Analoginen tilaajaverkko

- Asiakkaalta tuleva/menevä signaali on analogista
 - Digitaalinen tilaajaverkko ei ole yleistynyt
- Asiakkaan ja puhelinkeskuksen välillä on usein keskitin (concentrator) tai sama toiminnallisuus on puhelinkeskuksessa
 - Keskittimessä on A/D ja D/A -muunnin kullekin tilaajajohdolle
 - Keskittimelle saakka tilaajalta tulee kuparipari
 - Kuparipareista muodostuu suuria satojen parien kaapelikimppuja, joiden käsittely on vaikeata, jotka ovat kalliita ja joissa tapahtuu *ylikuulumista* (crosstalk)
 - Keskittimessä voidaan *kanavoida* (multipleksata, multiplexing) useita asiakaspuheluja yhteen optiseen kuituun, kuparipariin tai koaksaalikaapeliin



Puheen PCM-koodaus

- Analoginen äänisignaali muunnetaan digitaaliseksi ottamalla siitä 8000 näytettä sekunnissa ja koodaamalla ne 8-bittiseksi dataksi PCM-koodauksella (Pulse Code Modulation)
 - Puhe suodatetaan ensin 4 kHz kaistalle
 - Yksi puhelu on siis siis 64 kb/s tietovirta kumpaankin suuntaan
 - Koodaus tehdään puhelinkeskuksessa tai keskittimessä
 - *Kvantisointi* ei ole lineaarinen vaan pyrkii seuraamaan puhesignaalin tyypillisiä ominaisuuksia
- Tästä eteenpäin puhelinverkko on nykyään digitaalinen

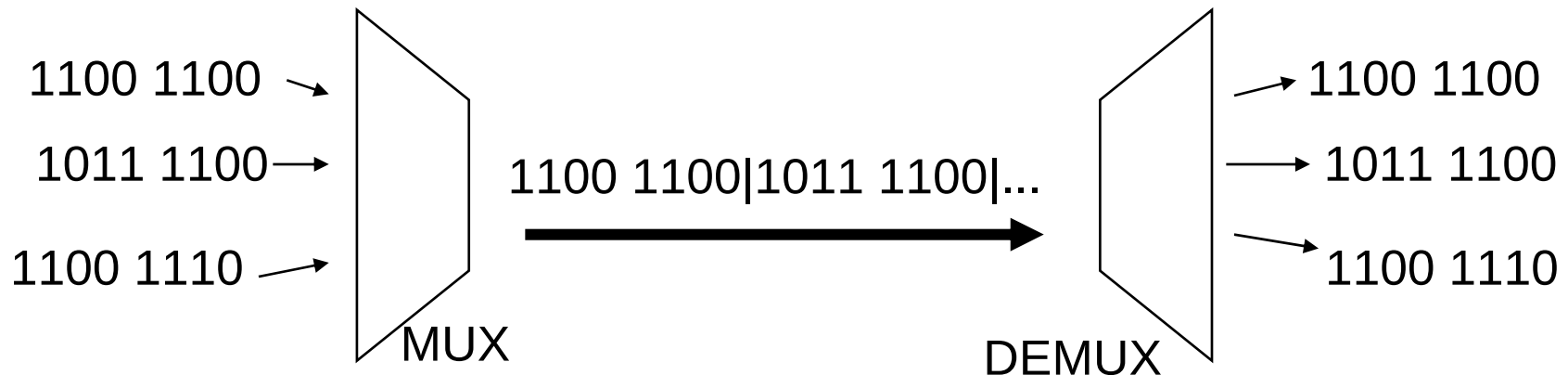


- Kanavointia (multiplexing) käytetään mm. puhelintekniikassa usean tietovirran siirtämiseksi yhtä fyysistä siirtokanavaa pitkin
- Yleisimmät tekniikat ovat:
 - Aikajakokanavointi TDM (Time Division Multiplexing)
 - Taajuusjakokanavointi FDM (Frequency Division Multiplexing)
 - Aallonpituuskanavointi WDM (Wavelength Division Multiplexing)
 - Koodikanavointi CDM (Code Division Multiplexing)



Aikajakokanavointi (TDM)

- Aikajakokanavointi on mm. puhelinverkossa käytettävä perustekniikka
- Puhesta otetaan sekunnissa 8000 näytettä
 - PCM-koodattu, yksi näyte on 8 bittiä, tuottaa siis 64 kb/s tavuvirran
- Yksi 2 Mb/s siirtokanava voidaan jakaa 32 aikaväliin, kussakin aikavälissä siirretään yhtä puhelua





Aikajakokanavoinnista lisää

- Aikajakokanavointi edellyttää, että lähettäjä ja vastaanottaja ovat synkronoituneet
 - Kellot ovat riittävästi samassa ajassa
- Lähettäjä tietää mihin aikaväliin tulevan datavirran data ohjataan ja vastaanottaja osaa purkaa datavirran oikeasta aikavälistä
- Aikajakoinen kanavointi on mielekästä, jos käytettävissä on vain yksi siirtotie tai yksittäisen siirrettävä vuon tarvitsema kapasiteetti alittaa siirtotien kokonaiskapasiteetin
- Aikajakoista kanavointia käytetään esim. televerkkojen ohjatuissa medioissa (sekä kupari että kuitu) ja GSM-radioliikenteessä



Taajuusjakokanavointi (FDM) ja aallonpituuskanavointi (WDM)

- Mikäli käytettävissä on riittävästi taajuuskaistaa, se voidaan jakaa kanaviin ja antaa kullekin lähettäjälle oma kanava
- Esim. yleisradiolähetykset, radiopuhelimet ja NMT-matkapuhelinjärjestelmä
- Termi FDM viittaa yleensä radiotaajuuksiin
- WDM-termiä käytetään puolestaan puhuttaessa valon aallonpituuksista ja WDM-tekniikkaa optisissa kuiduissa
- Vaikka FDM ja WDM edustavat samaa fysikaalista ilmiötä, käytännön toteutusteknologiat ovat erilaisia
 - Mm. WDM-kanavat voidaan erottaa näppärästi prismalla ja ohjata liikenne toisiin valokuituihin



Koodikanavointi (CDM)

- Koodikanavointi on hajaspektritekniikka, jossa lähettäjä ja vastaanottaja vaihtavat taajuutta koodin mukaan
 - Alunperin sotilastekniikka, torjui salakuuntelua ja lähettimen suuntimista
 - Nykyään käytetään 3G puhelinverkoissa taajuusalueen tehokkaamman hyödyntämisen mahdollistamiseksi
 - Muut lähetteet (puhelut) ovat taustakohinaa, kaistan päällekkäinen käyttö häiritsee vähemmän



Kanavoinnin merkitys

- Eri tekniikat mahdollistavat yhden siirtotien hyödyntämisen usealle samanaikaiselle käyttäjälle
 - Kukin saa oman osansa siirtotien kapasiteetista
- Menetelmä valitaan liikenteen luonteen mukaan
 - Analogista signaalia voi siirtää analogisena vain FDM-tekniikalla
- Pakettiverkoissa ei yleensä käytetä kanavointia, koska pakettien lomittuminen ajaa samaa asiaa
 - Pakettiverkko ei tarjoa taattua siirtokapasiteettia ilman erillisiä toimenpiteitä



Puhelinverkon siirtotekniikat

- Paitsi itse kanavointimenetelmää, puheluiden välittämiseen tarvitaan sovitut tavat kanavoida dataa
- Kiinteässä puhelinverkossa käytetään aikajakoisia (TDM) menetelmiä tai aallonpituuskanavoinnilla (WDM) luotuja virtuaaliyhteyksiä ja aikajakoa niiden sisällä
- Yleiset teknologiat ovat
 - Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)
 - Synchronous Digital Hierarchy (SDH)
 - Amerikassa vastaava teknologia nimellä SONET
 - Asynchronous Transfer Mode



Plesiochronous Digital Hierarchy

- PDH-tekniikka välittää 8000 kehystä sekunnissa
- Eurooppalaisen E1-yhteyden jokaisessa kehyksessä on 32 aikaväliä
 - Yhden tavun kokoisia (8 bittiä)
 - Aikaväli 0 on varattu kellosignaaleille
 - Aikaväli 15 on puhelinverkon merkinannolle (signaloinnille)
 - Muut aikavälit (30) ovat puheluille tai muulle datalle
- Lähettäjän ja vastaanottajan kellojen on oltava mahdollisimman synkronoituja
 - Verkoissa on yhdensuuntaisia yhteyksiä molempiin suuntiin
 - Kaikkien verkon nodien on oltava mahdollisimman synkronoituja tai dataa tulee liikaa/liian vähän
 - Kutsutaan luiskahdukseksi



PDH:n hierarkiat

- PDH-kanavakimppuja voidaan yhdistää suurempien siirtokapasiteettien saavuttamiseksi
- Edellisen kalvon E1 tarjoaa noin 2 Mb/s kapasiteettia
- Kapasiteettia voidaan kasvattaa
 - Kehyksien lähetystaajuus halutaan säilyttää samana 8000/s
 - E2 on neljä E1 kehystä, E3 on neljä E2 kehystä jne.
- Joten kehyksiin kasataan enemmän bittejä
 - Edellyttää siirtotietä, joka tukee suurempaa taajuutta
 - Paremmanlaatuinen kupariyhteys
 - Yksimuotokuitu
 - Bitit ovat "lyhyempiä"
 - E1-bitti on n. 500 ns (~150 m valopulssina tyhjiössä, lyhyempi väliaineessa)
 - E3-bitti on n. 30 ns



Synchronous Digital Hierarchy

- SDH käyttää samaa 8000 kehystä sekunnissa
- SDH:n kehysrakenne on monimutkaisempi kuin PDH:n ja siirtokapasiteetit suurempia
- Käytännössä SDH:ta käytetään vain optisilla yhteyksillä
- SDH edellyttää tarkempaa synkronointia kuin PDH
- SDH:n kautta voidaan välittää 64kb/s puheyhteyksiä tai kehyksestä voidaan varata muun kokoisia osia eri pisteiden yhdistämiseen
 - SDH tarjoaa joustavan infrastruktuurin hitaasti muuttuviin tarpeisiin



Asynchronous Transfer Mode

- ATM on puhelinteknologian pohjalta kehitetty piirikytkentäinen pakettiverkko
- ATM:n perustekniikka on 53 tavun mittainen solu, jossa on 5 tavua otsaketta ja 48 tavua hyötykuormaa
- ATM-soluja ei käsitellä yksitellen kuten IP-paketteja, vaan ensin luodaan virtuaalinen yhteys verkon kytkinlaitteiden kautta
- Kunkin solun otsakkeessa on VPI/VCI -tunniste
 - Virtual Path Identifier, Virtual Channel Identifier
- ATM-verkko on siis tietoinen yhteyksistä ja reitityspäätökset tehdään yhteyttä luotaessa
- ATM tarjoaa kiinteä- ja vaihtuvakapasiteettisia yhteyksiä
 - PDH ja SDH välittävät 8000 kehystä sekunnissa, vaikka hyötykuormaa ei olisi
 - ATM voi antaa etuaseman tietyille virtuaaliyhteyksille ja käyttää loput kapasiteetista muille



- ATM-soluissa voidaan kuljettaa puhelinliikennettä, IP-paketteja ja muuta dataa
- Koska ATM-solun hyötykuorma on vain 48 tavua, sovittamiseen käytetään ATM Adaptation Layer- kerroksia
 - AAL 1 määrittelee vakiokapasiteettisen tavuvirran (puhe)
 - ATM-kytkimet takaavat laadun
 - AAL 5 määrittelee pakettidatan jakamisen useaan soluun
 - Esim. IP-liikenteelle
- ATM tarjoaa teleoperaattorille joustavan infrastruktuurin
- Käytännössä ATM ei ole yleistynyt
 - ADSL-tekniikat ratkaisevat (toistaiseksi) tilaajien dataliittymät
 - 100 MB/s ja Gb/s Ethernet on halvempi lähiverkko kuin ATM



- Puhelinkeskus ottaa vastaan 64 kb/s puhevirtoja
 - Analogisia tilaajalinjoja, joille tehdään PCM-muunnos
 - PDH/SDH/ATM-tavuvirtoja keskittimiltä tai toisista keskuksista
- Puhelinkeskus kytkee tulevia ja lähteviä puheluita
- Puhelu tarvitsee yhden datavirran kumpaankin suuntaan
 - Analogisessa tilaajaliittymässä toteutetaan kaksisuuntainen liikenne hybridi-piirin avulla
 - Digitaalisessa verkossa puhelu on kaksi yksisuuntaista yhteyttä, jotka välitetään esim. PDH-virran aikaväleissä



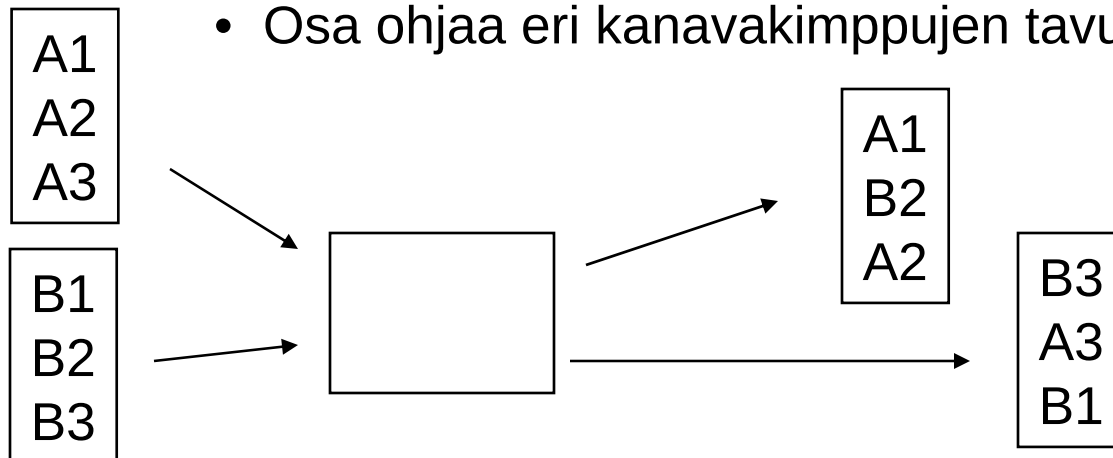
Puhelinkeskuksen tehtävät

- Puhelinkeskuksen tehtävät on määritelty tarkkaan ITU-T:n standardeissa
 - Tässä tärkeimmät
 - Yhden keskuksen puitteissa
- Tulkitsee puhelinnumeron A-tilaajalta (soittaja)
 - Pulssi- tai moniäänivalinta
- Tarkistaa onko vastaanottajan (B-tilaaja) linja vapaa ja yhdistää A-tilaajan puhelun siihen
- Generoi soittoaänen
 - Soittojännite puhelinkojeelle
 - Soittoääni soittajalle
- Tunnistaa milloin puhelu päättyy (a-tilaaja laskee luurin) ja purkaa yhteyden
- Piirin kytkentä (reitityspäätös) tehdään siis puhelun alussa



Puheen välitys keskuksessa

- Vanhoissa analogisen järjestelmän sähkömekaanisissa keskuksissa mekaaninen valintakytkin yhdisti soittajien kupariparit toisiinsa
- Nykyään siirretään tavuja tulevien kehysten aikaväleistä lähtevien kehysten aikaväleihin
 - Tähän on olemassa erityyppisiä kytkimiä
 - Osa vaihtaa tavujen järjestystä kehyksessä
 - Osa ohjaa eri kanavakimppujen tavuja toisiin kimppuihin





Merkinanto ja SS7

- Miten yhdistetään puhelinkeskuksia
 - Puhe kulkee linjoissa tai aikaväleissä
 - Lisäksi tarvitaan tieto siitä, minne tuleva yhteys yhdistetään
- Ensi alkuun kaukopuhelut olivat käsivälitteisiä
- Sitten käytettiin in-band merkinantoa keskuksien välillä
 - Tieto puhelinnumerosta johon puhelu on yhdistettävä siirrettiin äänitaajuuskoodeina samaa linjaa pitkin kuin puhelu
 - Johti huomattaviin väärinkäytöksiin
- Nykyään puhelinverkon yhteydessä on eriytetty merkinanto (out-of-band signaling) ja puheensiirto
 - Käyttäjätaso ja ohjaustaso erillään



Signaling system 7

- Oma pakettiverkko
 - Loogisesti erillä puhelinverkosta
 - Käyttää samoja PDH/SDH-yhteyksiä kuin puhelinverkko
- Ohjaa puhelujen muodostamista ja purkamista PDH/SDH-verkossa
 - SS7 ei siis siirrä puhedataa, vaan käskyjä muodostaa puhelu
 - Puhe kulkee PDH/SDH-verkon aikaväleissä
- SS7 määrittelee oman protokollapinonsa (kuten TCP/IP)
 - Puhelinverkko-orientoitunut



SS7:n toiminta

- Tilaaja a puhelinkeskuksessa A soittaa numeroon 1234567, joka on tilaajan b numero keskuksessa B
- Keskus A tulkitsee numeron ja ohjaa lähtevän puhelun vapaana olevaan PDH-aikaväliin 3 linjaan, joka on yhteydessä B:hen
- A lähettää SS7-viestin B:lle ja kertoo aikavälissä 3 olevan puhelun numeroon 1234567
- B yhdistää puhelun tilaajalle b, soittaa puhelimen kelloa ja kertoo A:lle liikenteen toiseen suuntaan tulevan paluusuuntaisessa PDH-aikavälissä 8
- Kun puheluun vastataan B kertoo puhelun olevan käynnissä
- Kun tilaaja a lopettaa puhelun, A lähettää B:lle viestin purkaa yhteys



SS7:n elementit

- SS7-järjestelmässä puhelinkeskusta kutsutaan nimellä Signal Switching Point (SSP)
- Puhelinkeskuksia yhdistävät SS7-reitittimet ovat nimeltään Signal Transfer Point (STP)
- Järjestelmässä on tietokantapalvelimia nimeltä Signal Control Point (SCP)
- Näillä on merkitystä, koska tarjoamalla puhelinverkon laajuisen ohjausverkon, SS7 mahdollisti seuraavan kehitysaskeleen, älyverkot



Älyverkot (Intelligent Networks, IN)

- Puhelinverkko on suuri kone, jonka omistaa teleoperaattori
 - Useimmissa maissa asiakas saa omistaa enintään puhelinkojeensa ja senkin on oltava hyväksyttyä mallia
- Operaattori siirtää bittejä, mutta myy palveluita
 - Perinteinen peruspalvelu on ollut puhelu, lisäarvopalveluita esim. neiti aika tai herätyspalvelu
- Tietokoneiden välisen tietoliikenteen häämöttäessä 1980-90 - luvuilla operaattorit alkoivat pelätä jäävänsä vain matalakatteisiksi bitinsiirtäjiksi
 - Tarve luoda joustavasti ja nopeasti uusia lisäarvopalveluita
- Älyverkko on puhelinoperaattorin joustavaa palveluinfrastruktuuria
 - Vrt. ATM on joustavaa tiedonsiirtoinfrastruktuuria



- Älyverkko rakentuu SS7:n palveluiden päälle
- Puhelinkeskuksiin lisätään toiminnallisuutta ja niitä kutsutaan nimellä Service Switching Point (SSP)
- SS7-verkon tietokantoja kutsutaan nimellä Service Control Point (SCP)
- SSP:lle määritellään liipaisimia (trigger), jotka käynnistävät toimintoja
 - Esimerkiksi: jos tulevaan puheluun ei vastata 20 sekunnissa (liipasin), kysy SCP:ltä ohjataanko puhelu vastaajaan tai toiseen numeroon (toiminto)



Esimerkki: 0800-puhelu

- Vastaanottaja maksaa -puhelut olivat älyverkon ensimmäisiä palveluita
- SSP tunnistaa asiakkaan valitseman numeron alun 0800 liipaisimeksi ja lähettää SS7-viestin SCP:lle
- SCP palauttaa tiedon varsinaisesta puhelinnumerosta, johon puhelu ohjataan
- Tästä eteenpäin puhelu muodostetaan normaalisti
- Puhelun jälkeen muodostettu laskutustietue siirtyy laskutuksessa vastaanottajan maksettavaksi



Älyverkon palveluita

- Soitonsiirto
- Erityishintaiset numerot (yritys- ja viihdenumerot)
- Viihdelukot
- Vastaanottajan maksamat numerot
- Matkapuhelimien numeronsiirto
- Vastaajapalvelut (vastaajajärjestelmä on älykäs lisälaite, intelligent peripheral)
- jne.



Älyverkon ilmiöitä

- Puhelinverkko eroaa Internetistä mm. siinä, että puhelinverkossa on laskutus
- Mitä tapahtuu jos 0800-numeron osoittamaan liittymään tehdään soitonsiirto?
 - Vastaanottava liittymä maksaa 0800-maksun?
 - Alkuperäinen kohdeliittymä maksaa 0800-maksun?
 - Puhelua ei siirretä?
- Älyverkon palveluiden luominen on vaativaa, koska uuden palvelun interaktiot olemassaolevien kanssa on määriteltävä



Internet-liikenne puhelinverkossa

- Puhelinverkolle Internet on siirrettävää dataa, käyttäjätasolla
- Modeemiliikenne siirretään kuin puhe, 64 kb/s
- Internetin runkoyhteydet on rakennettu teleinfrastruktuurin päälle
- Usein alla on PDH/SDH, joka tarjoaa yhteyden kahden pisteen välillä
 - Sen päälle voidaan tarjota kehystys IP-paketeille esim. PPP:llä (Point to Point Protocol), RFC 2615
 - SDH:n etuna on mm. se, että SDH sisältää tiettyjä kontrollimekanismeja, kuten optisen kaksoisrenkaan automaattisen korjautumisen
- TCP/IP-mallille koko televerkko on kerrosta 1



- Jatkossa Internet ja telemaailma tulevat yhdistymään
- VoIP (Voice over IP) on jo yleistymässä
- Matkapuhelimissa on myös Internet-palvelut
- Silti ratkaisemattomia kysymyksiä
 - Luotettavuus ja palvelunlaatu
 - Laskutus
 - Hätäpalvelut
 - Häiriönsieto ja kriisitilanteet