

Kalevi Kilkki
Aalto-yliopisto
Joulukuussa 2018

Informaatioteknologian perusteet

Alkusanat

Luet nyt ensimmäistä lausetta tekstistä, jonka ensisijaisena tavoitteena on toimia johdantona informaatioteknologiaksi kutsuttuun tekniikan osa-alueeseen. Tavoitteena on opettaa keskeisiä asioita tietoteknisten järjestelmien ominaisuuksista, kuten miten on mahdollista siirtää huimia määriä dataa silmänräpäyksessä, miten tietty data voidaan ohjata maailmanlaajuisten verkkojen läpi haluttuun kohteeseen ja miten mobiilit päätelaitteet voivat toisiaan häiritsemättä jakaa yhteisen resurssin eli taajuusalueen, ja miten informaatioteknologia tuottaa yhä uusia liiketoiminnan muotoja, esimerkkeinä Google ja Facebook. Lähestymistapa on filosofisempi kuin tyypillisessä tekniikan alan tekstissä; tarkoituksena on myös herättää lukijan kiinnostus asioiden perusteiden ymmärtämiseen.¹

Materiaali jakautuu seitsemään osioon:

1. Informaatio, historia ja merkitys
2. Liiketoiminta
3. Tiedonsiirron perusteet
4. Verkot, rakenne ja teknologia
5. Mobiili tietoliikenne
6. Tietojenkäsittely
7. Internet

Osiot ovat itsenäisiä kokonaisuuksia, joten ne voi lukea haluamassaan järjestyksessä. Jokainen osio sisältää hieman (ja jotkut vähän enemmänkin) matemaattista mallinnusta. Tekstistä pääosin ja kaikesta kuvituksesta (paitsi valokuvat, joista on pyritty mainitsemaan lähde) vastaa kirjoittaja. Materiaali on siis tarkoitettu Informaatioteknologian perusteiden kurssimateriaaliksi eikä sitä saa käyttää muuhun kuin opiskeluun ilman asianmukaista lupaa. Alaviitteet ovat tiedoksi asiasta kiinnostuneille, eivätkä siten kuulu kurssin varsinaiseen sisältöön eikä niitä kysytä tentissä. Lisäksi esitän kiitokset materiaalin eri versioita lukeneille ja kommentoineille, erityisesti Markus Peuhkurille ja Juho Kaivosojalle.

¹ Filosofinen ajattelu aiheuttaa myös ongelmia, [Philosophy Tech Support](http://existentialcomics.com/comic/51), <http://existentialcomics.com/comic/51>

1. Informaatio

Yliopiston keskeisinä tehtävinä ovat uuden tiedon kehittäminen ja tiedon välittäminen uusille sukupolville. Tieto ja siihen läheisesti liittyvät käsitteet kuten informaatio ja data ovat siten keskeisiä asioita millä tahansa yliopiston laitoksella tai kurssilla. Erityisesti keskeistä tietoa on kurssilla, jonka nimi on informaatioteknologian perusteet. Niinpä tällä kurssilla aloitetaan pohtimalla sitä mitä informaatio oikeastaan merkitsee. Tähän lähestymistapaan on hyvät historialliset perusteet, sillä informaatioteorian ”isä” Claude Shannon lähti alaa luodessaan alan peruskäsitteistä ja niiden syvällisestä ymmärtämisestä.

Tämän kurssin perusajatus on tarjota välineitä (tai vähintään vinkkejä) sekä filosofisiin pohdintoihin että alan historian päälinjojen ymmärtämiseen. Lisäksi tässä luvussa luodaan pohjaa myöhemmille teknisemmille osioille, muun muassa esittämällä kokonaiskuvat viestintäjärjestelmistä ja niiden perusosista. Tässä yhteydessä on myös hyvä korostaa sitä, että uuden asian opiskelun kannalta on tärkeää, että opiskelija voi sijoittaa asiat johonkin ymmärrettävään kokonaisuuteen. Irrallisten tosiasioiden ulkoa opettelu on vaikeaa ja enimmäkseen turhaa. Ja ulkoa on syytä, kaikesta huolimatta, opetella keskeisimmät lyhenneet. Lisäksi ymmärryksen kannalta on tärkeää ymmärtää mittasuhteita—minkälaiset lukuarvot ovat realistisia ja minkälaiset ei.

Tämän osion keskeisimmät asiat ovat siten:²

1. Informaatio käsitteenä
2. Viestintäjärjestelmän perusosat
3. Suuruusluokat femtosta petaan
4. Informaation lyhyt historia
5. Ihmisten tarve kommunikoida

Informaatio käsitteenä

Informaatio ja teknologia saattavat kuulostaa suomen kielessä käytettyinä hieman vierailta termeiltä. Muitakin termejä on käytetty alan kirjojen ja kurssien nimissä. Käypiä nimityksiä ovat ainakin tietotekniikka, kommunikaatioteknologia, tietoliikennetekniikka,

² Kaikki esseekysymykset tentissä (jotka siis liittyvät tässä materiaalissa käsiteltyihin aiheisiin) koskevat suoraan näitä lukujen alussa esitettyjä keskeisiä aiheita. Tentissä on lisäksi yhdestä kahteen laskutehtävää ja mahdollisesti yksi tehtävä liittyen kommunikaatioakustiikkaan tai puheteknologiaan. Mahdolliset pohdintaesseen aiheet on merkitty vihreällä värillä.

tiedonsiirtotekniikka, teletekniikka ja viestintäteknologia.³ Käytännön kannalta informaatioteknologia voidaan määritellä siten että se kattaa tietokoneet ja tietoliikennelaitteet sekä niiden avulla suoritettavan informaation muokkaamisen, siirron, tallentamisen ja hakemisen. Esimerkkeinä voidaan antaa Internet, älypuhelimet, kaupan tietojärjestelmät, sulauteut järjestelmät, langattomat lähiverkot, hakukoneet, sovellukset ja pilvipalvelut.

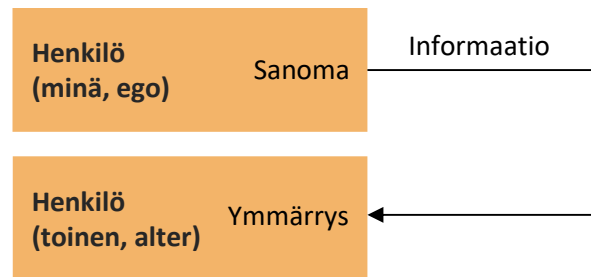
Tieto ja viesti ovat ymmärrettäviä suomen kielen sanoja, kun taas informaatio ja kommunikaatio ovat hieman vieraampia ja kuulostavat muodollisemmilta, ehkä jopa arvokkaammilta.⁴ Myös tekniikalla ja teknologialla on vivahde-ero: *logia*-pääte viittaa oppiin (*logos*) kun taas *tekhne* merkitsi antiikin Kreikassa vapaiden miesten työtä ja taitoja. Oppi katsotaan joskus arvokkaammaksi kuin käytäntö, varsinkin akateemisessa ympäristössä (joidenkin muiden mielestä asia päinvastoin). Ehkäpä juuri näistä vivahde-eroista johtuen termejä tietoteknologia ja informaatiotekniikka käytetään sangen vähän. Tälle kurssille aikanaan valittu nimi, informaatioteknologia, kuulostanee vakuuttavammalta kuin aikaisemmin käytetty teletekniikka. Itse tekstin sisällön kannalta termeillä tekniikka ja teknologia ei silti ole olennaista eroa. Sen sijaan telellä ja tiedolla on selkeä ero: *tele* tulee kreikan sanasta *tēle* ja viittaa etäisyyteen, kun taas *tieto* lienee johdos sanasta *tie* verbin *tietää* kautta.

Englannin kielessä olisi tässä yhteydessä käyttökelpoinen sana, *engineering*, jolle ei ole oikein luontevaa käännöstä suomeksi. Insinööriys tai insinööritaito ovat mahdollisia, mutta ne kuulostavat kömpelöiltä kuvaamaan sitä tosiasiaa, että tekniikkaan ja teknologiaan liittyy paljon inhimillistä toimintaa. On joka tapauksessa hyvä pitää mielessä, että teknologiaa kehittävät ja sitä käyttävät ovat, ainakin toistaiseksi, ihmisiä.

Inhimillisestä näkökulmasta katsottuna jokaisella ilmaistulla lauseella on jokin sanoma, jonka henkilö (tässä tapauksessa tekstin kirjoittaja) pyrkii välittämään vastaanottajalle (sinulle, hyvä lukija). Lukijan ymmärrys ei kuitenkaan koskaan ole täsmälleen sama kuin se alkuperäinen merkitys, jota lauseella tai sanomalla on tahdottu ilmaista. Tämä pätee riippumatta siitä, minkälaisia teknisiä välineitä on käytetty tiedon välittämiseen ja miten virheetöntä informaation tekninen välitys on ollut. Vaikka informaatio kuvassa 1.1 näyttäisikin pysyvän täysin muuttumattomana henkilöiden välillä, edustavat kaksi henkilöä aina merkittävästi erilaisia järjestelmiä—mielemme ovat erilaisia, näemme maailman eri tavoin ja pyrimme eri tavoitteisiin. Kuvassa 1.1 hahmoteltu kommunikaatio kahden ihmisen välillä on siis aina epätäydellistä.

³ 1990-luvulla TKK:lla oli myös kurssi nimeltä Teletietotekniikka.

⁴ Niille, jotka ovat kiinnostuneita suomalaisten sanojen alkuperästä, suosittelen kirjaa K. Häkkinen, Nykysuomen etymologinen sanakirja, WSOY, 2004. Sieltä selviää mm. että *viesti* on lainaa venäjän sanasta *vest'*. *Sanoma* on käytännössä synonyymi sanalle *viesti*, mutta sanan *sana*, josta siis sanoma on johdettu, alkuperää ei tunneta.



Kuva 1.1. Yksinkertainen inhimillinen viestintä.

Lisäksi viestin välityksessä voi tapahtua virheitä: *tekstistä* olisi voinut jäädä *k* pois, jolloin tuloksena olisi ollut *testistä*—jonka jälkeen lauseen tarkoitus olisi entistä hämärämpi. *Testin* tapauksessa lukijan pitäisi pohtia, voisiko tosiaankin olla kysymys testistä, ja jos on niin, mitä kirjoittaja oikein testillä haluaa tarkoittaa, vai onko kyseessä sittenkin vain huolimattomuusvirhe? Voisihan olla, että ”virhe” oli tahallinen ja sillä haluttiin ilmaista tai opettaa jotain erityistä? Erilaiset tulkinnat ovat mahdollisia.⁵

Lukija voi myös miettiä, onko tällaista materiaalia tarpeen aloittaa pohtimalla joidenkin termien olemusta. Toinen vaihtoehto aloitukselle voisi olla tällainen:

Henri istui luennolla ja mietti kuumeisesti mitä kalvolla esiintynyt lyhenne ARP tarkoitti, sillä saattoihan olla, että sitä tietoa tarvitsee tentissä tai että se muuten sisältää tärkeä informaatiota. Kun luennoitsija oli jo ehtinyt seuraavaan asiaan, Henri päätti ottaa puhelimen esille ja googlettaa. Nopean haun perusteella Henri havaitsi että ARP voi tarkoittaa ainakin kahta asiaa: ”protokollaa, jolla Ethernet-verkoissa selvitetään IP-protokollaa käytettäessä IP-osoitetta vastaava Ethernet- eli MAC-osoite” tai sitten ”autoradiopuhelinta, joka oli Suomen ensimmäinen kaupallisesti toiminut julkinen matkapuhelinverkko.”

Mistähän tällä kertaa olikaan kyse? Ilmeisesti tietoverkkojen historiasta, johon kyllä molemmat merkitykset voisivat liittyä—ehkä luennoijan antama ARP-signaali oli turhan tiiviisti koodattu, ajatteli Henri insinöörimäisesti. Mutta hänhän istui luennolla juuri siksi, että oli kiinnostunut siitä miten ihmiset kommunikoivat erilaisilla teknisillä vempaimilla. Jossain mielen sopukoissa viipyili ajatus siitä, että jonain päivänä hänkin voisi olla kehittämässä entistä ehompia laitteita tai sovelluksia. Ennen sitä hänen kuitenkin pitäisi ymmärtää miten ihmeessä kännykällä saattoi noin vain etsiä tietoa tietokoneelta, joka saattoi sijaita Haminassa tai Kaliforniassa. Aika ihmeellistä, sillä eihän edes muutaman kymmenen vuoden takaisissa tieteiselokuviissa osattu kuvitella tällaista.

”Onko kysymyksiä?” Henri palasi ajatuksistaan luennolle ja huomasi, että luennoitsija oli havainnut hänen keskittyneen pikemminkin kännykän käyttöön kuin luennon seuraamiseen. Onneksi Henrillä oli valmis kysymys mielessä: ”Anteeksi, minulle jäi

⁵ Näistä viestinnän ongelmista Osmo A. Wiio on kehittänyt lait inhimillisestä viestinnästä, suosittelen luettavaksi: <http://osmo.wiio.net/wiion-lait/>

hieman epäselväksi mihin edellisellä kalvolla esiintynyt lyhenne ARP viittasi?” Luennoitsija näytti suorastaan ilahtuneelta kysymyksestä ja palasi edelliseen kalvoon ja sen sanomaan.⁶

Tästä voisi jatkaa esimerkkien avulla siihen miten informaatioteknologia on muuttanut jokapäiväistä elämäämme reilun sadan vuoden aikana—ja miten se on samalla luonut tuhansittain lyhenteitä. Tällaisen aloituksen tarkoitus olisi ollut olennaisesti sama kuin ensimmäinen aloituksen eli johdattaa lukija informaatioteknologian piiriin, mutta toisesta suunnasta, arkipäivän elämästä filosofisen pohdinnan sijasta. Molemmat ovat tärkeitä näkökulmia.

Kolmas näkökulma olisi lähteä suoraan tekniikasta:

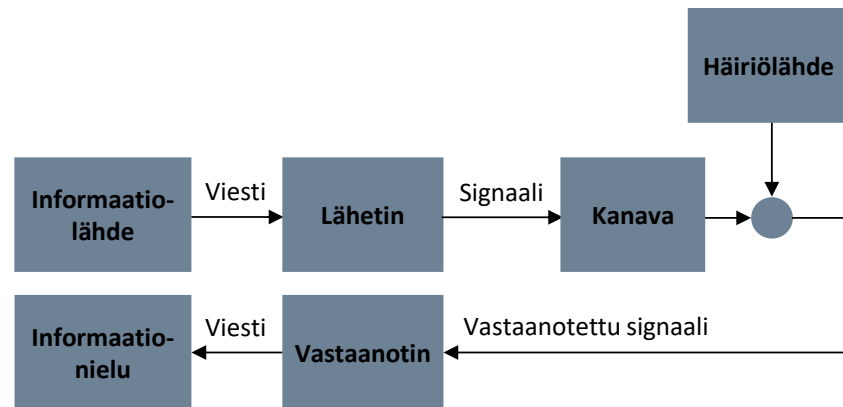
Internet on verkko, joka koostuu reitittimistä, niiden välisistä linkeistä ja päätelaitteista. Informaatiota kuljetetaan verkon sisällä määrämuotoisissa yksiköissä, joita yleensä kutsutaan IP-paketeiksi.⁷ IP-paketit sisältävät käyttäjän datan lisäksi riittävästi tietoa, jotta IP-paketit voidaan välittää verkon läpi vastaanottajalle.

Jos tarkoitus olisi vain jakaa tietoa tekniikasta, tämä olisi hyvin toimiva tapa. Tällä kurssilla pyritään kuitenkin näkemyksellisempään katsaukseen koko informaatiokentän alueesta, mukaan lukien kysymykset miksi ja miten nykyisiin teknologioihin on päädytty. Tätä tarkoitusta varten tarvitaan yhdistelmä erilaisia näkökulmia.

Koska informaatioteknologian ensisijainen tarkoitus on toimia arkipäivän elämässä (pikemminkin kuin tehdä tiedettä), sen ei tulisi irtautua kovin kauas arkipäivän kokemuksesta silloinkaan kun kehitetään tulevaisuuden teknologioita. Toisaalta nykypäivän teknologiat ovat niin monimutkaisia ja vaativia ymmärtää, että systemaattinen ajattelu ja erilaisten menetelmien ja jopa teorioiden hallinta on välttämätöntä. Tämä oppimateriaali pyrkii yhdistämään molemmat näkökulmat, painopisteen ollessa systemaattisen tarkastelun puolella. Esimerkkinä järjestelmällistä ajattelusta on kuvassa 1.2. esitetty informaatioteknologinen malli.

⁶ Jos luennolla joku asia jää sinulle epäselväksi, kysy ihmeessä välittömästi (koskee ainakin tätä kurssia)!

⁷ IP-paketin (**IP packet**) sijaan on myös käytetty nimityksiä datagrammi (**datagram**) ja tietosähke.



Kuva 1.2. Informaatioteknologinen malli.⁸

Informaatioteknologian uranuurtajat Claude Shannon ja Warren Weaver jakavat viestinnän perusongelmat kolmeen tasoon A, B ja C.⁹

Kuva 1.3. Viestinnän perusongelmat

Taso A: Kuinka tarkasti viestinnässä käytetyt merkit (symbolit) voidaan välittää (tekninen ongelma).
Taso B: Kuinka tarkasti käytetyt merkit vastaavat tarkoitettua merkitystä (semanttinen ongelma).
Taso C: Kuinka tehokkaasti vastaanotettu merkitys vaikuttaa vastaanottajan käyttäytymiseen halutulla tavalla (tehokkuusongelma).

Tason A keskeiset kysymykset on esitetty kuvassa 1.3. Varsin usein tietoliikennetekniikan ajatellaan käsittelevän vain tasoa A. Se tarjoaa kuitenkin rajoittuneen kuvan yleisemmästä informaatioteknologian käsitteestä. Nykyinen informaatioteknologia pyrkii avustamaan myös tason B semanttisten¹⁰ ongelmien ratkaisemisessa: tätä tekstiä kirjoittaessani käytän tekstinkäsittelyohjelmaa, sen oikeinkirjoituksen tarkistusominaisuutta, erilaisia muotoilu- ja kuvanteko-ominaisuuksia, jotta saisin haluamani merkityksen lukijoiden mieleen saakka. Lisäksi käyn tarkistamassa termien merkityksiä verkon kautta eri lähteistä.

Käytännön vuorovaikutustilanteissa useinkin haastavimmat ongelmat koskevat tasoa C, sillä riippumatta käytettyjen merkkien oikeellisuudesta ja virheettömyydestä, varsinainen viestinnän vaikutus voi olla aivan muuta kuin mihin viestinnän osapuolet ovat pyrkineet.¹¹ Tason C ongelmat kuuluvat pikemminkin psykologian tai sosiologian alueille politiikkaa unohtamatta, eivätkä siten kuulu tämän kurssimateriaalin keskeisiin aiheisiin.

Kun Shannon kehitti informaatioteoriaansa 1940-luvun lopulla nykyisen kaltaista informaatioteknologioiden kehitystä, sen tunkeutumista kaikille elämän osa-alueilla tuskin

⁸ Shannon & Weaver, *The Mathematical Theory of Communication* (1963). Kirja käsittelee informaation esittämistä ja siirtämistä, ei niinkään informaation käsittelyä.

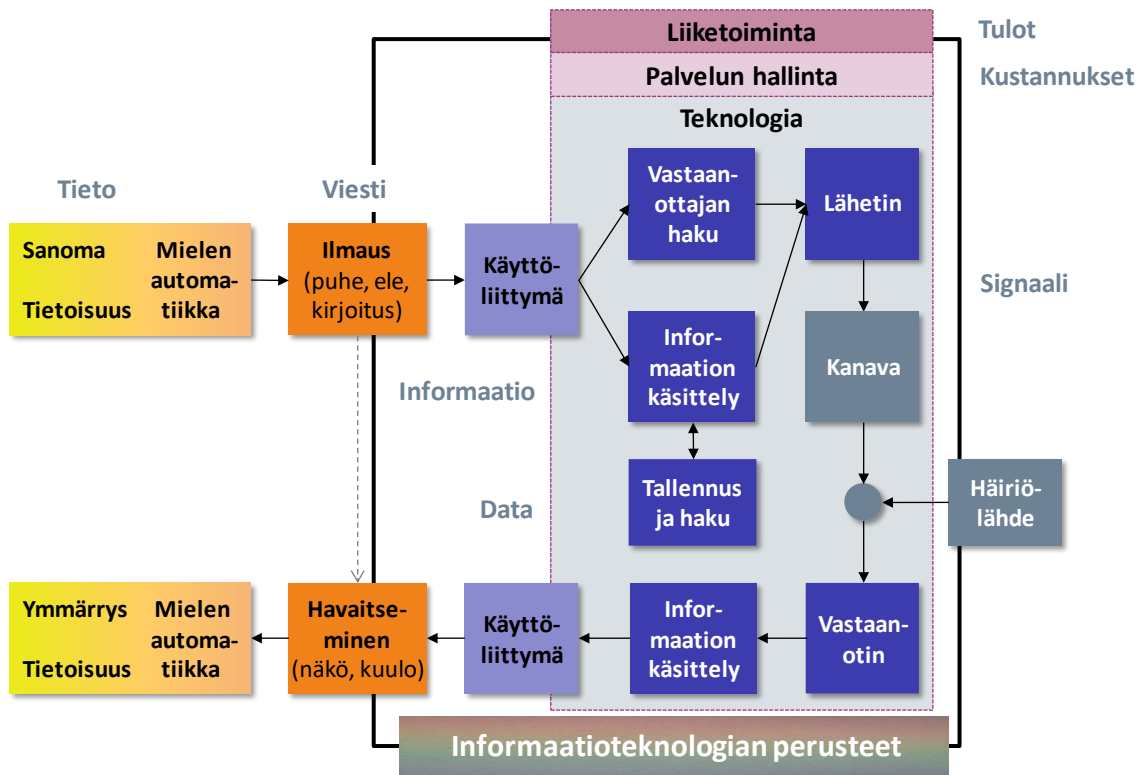
⁹ Tämä on esitetty Shannonin & Weaverin kirjan johdantoluvussa, jota voi suositella kaikille asiasta kiinnostuneille.

¹⁰ *Semanttinen* tarkoittaa merkitystä koskevaa, kun taas *syntaksi* tarkoittaa erilaisten kielten lauseoppia.

¹¹ Vastaukset tenttitehtäviin paljastavat usein merkittäviä viestinnän ongelmia tälläkin kurssilla.

kukaan saattoi aavistaa. Mutta nyt saatamme, koska kaikki käytämme lukuisia informaatioteknologian tuotteita ja palveluita päivittäin lukuisia kertoja. Kuva 1.4 hahmottaa informaatioteknologian nykytilannetta, jossa inhimillinen ja tekninen sekoittuvat toisiinsa monin tavoin. Erityisesti käyttöliittymä (*user interface*) on alue, jossa psykologia, tekniikka ja talous kietoutuvat toisiinsa. Teknologian lisäksi viestintäjärjestelmiin liittyy kiinteästi palveluiden hallinta ja liiketoiminta, jotka usein esitetään teknologian yläpuolisina tasoina kuva 1.4 mukaisesti.

Yksi tärkeimmistä tehtävistä, jotta kommunikaatio saadaan toimimaan, on sopia siitä miten informaatiota esitetään; ihmisten välisessä kommunikaatiossa ensisijaisesti puhutusta kielestä.¹² Vastaavaa yhteensopivuutta tarvitaan myös muilla, teknisemmällä tasolla, jotta verkon laitteet voivat toimia yhdessä.



Kuva 1.4. Viestintäjärjestelmien rakenneosia ja termejä.

Mitkä ovat sitten informaation välittämisen haasteet, vaikeudet ja ongelmat, joiden ratkaisemiseen tarvitaan insinööritaitoa? Yksi perusongelma on niukkojen resurssien (esim. taajuuskaistan) jakaminen eri käyttäjien kesken järkevästi ja oikeudenmukaisesti. Lisäksi tarvitaan tietoturvaratkaisuja, joilla pyritään estämään lähetettävän informaation joutumi-

¹² Meidän kannattaa arvostaa suuresti sitä tosiasiaa, että biologinen ja kulttuurievoluutio yhdessä ovat luoneet kielen, jolla tietoisuudet voivat kommunikoida keskenään. Selvää on, että ilman kieltä tätäkään lausetta ei olisi kirjoitettu.

nen väärin käsiin, silmiin tai korviin. Kannattavaa liiketoimintaa varten tarvitaan menetelmiä, joilla käyttäjiltä voidaan periä suoraan tai epäsuorasti (esimerkiksi mainosten avulla) maksuja. Kuvan 1.4 tapaisen järjestelmän haasteita ovat siten muiden muassa:

- Vastaanottajan paikantaminen verkosta, reititys sekä osoitetietojen hallinta.
- Tiedon salaustas ja suojaus; kuinka estää lähetettävän informaation joutumista väärin käsiin.
- Niukkojen resurssien (esim. taajuuskaistan) jako eri käyttäjien ja palveluiden kesken ja tähän liittyen palveluiden hinnoittelu.
- Informaatiota kuljettavien signaalien vaimenemisen, vääristymisen ja kohinan vaikutuksen kompensointi ja ylikuulumisen ja muiden häiriötekijöiden hallinta.
- Kustannusten pitäminen hyväksyttävällä tasolla suhteessa saavutettuihin hyötyihin ja käyttäjien maksuhalukkuuteen.

Kuvan 1.4 näkökulma peittää alleen monia muita olennaisia jaotteluita, kuten ero liittymäverkon (**access network**) ja runkoverkon (**core network**) välillä. Verkot ja niiden palvelut voivat myös olla yksityisiä (**private**) tai julkisesti käytettäviä (**public**).

Konkreettisella tasolla tietoliikenteessä on kysymys datan siirtämisestä. Tällöin nopeus on olennainen tekijä, kahdessa suhteessa. Ensiksikin millä nopeudella (yksikkönä m/s tai km/h) tieto siirtyy paikasta toiseen. Toiseksi on tiedonsiirron kapasiteetti, josta myös termiä nopeus käytetään, yksikkönä bit/s. Yksi alan opiskelun kannalta välttämättömistä taidoista on lyhenteiden hallinta. Ensiksikin tavun lyhenne on B (ei b), eikä B koskaan tarkoita bittiä (bittejä ja tavuja ei saa sekoittaa, vaikka niin tehdäänkin mainoksissa ja muissa epäluotettavissa julkaisuissa). Termit ja lyhenteet petaan (P) saakka ylöspäin ja femtoon (f) saakka alaspäin on osattava automaattisesti. Taulukossa 1.1. on esitetty lyhenteitä ja esimerkkejä tehoasteikoilla (tässä on käytetty tehoasteikkoa, koska sille löytyy järkeviä esimerkkejä pienimmistä suurimpiin lukuihin).

Taulukko 1.1. Lyhenteet attosta (a) eksaan (E) ja esimerkkejä tehoasteikolla.

			Teho desibeleinä vs. mW (dBm) ¹³	Esimerkkejä tehona (W)
eksa (<i>exa</i>)	E	10 ¹⁸	1 EW = 210 dBm	2,6 EW riittäisi höyrystämään yhden kuutiokilometrin verran vettä sekunnissa
peta	P	10 ¹⁵	1 PW = 180 dBm	Auringon säteilyteho maahan ≈ 174 PW
tera	T	10 ¹²	1 TW = 150 dBm	Sähkön tuotanto maailmassa keskimäärin ≈ 3 TW
giga	G	10 ⁹	1 GW = 120 dBm	Ihmiskunnan aivojen tehonkulutus ≈ 100 GW Sähkön tuotanto Suomessa keskimäärin ≈ 8 GW Bitcoinin laskennan tehonkulutus ≈ 8 GW
mega	M	10 ⁶	1 MW = 90 dBm	Haminan datakeskuksen tehontarve ≈ 100 MW Suomen mobiiliverkkojen yhteenlaskettu tehonkulutus ≈ 60 MW
kilo	k	10 ³	1 kW = 60 dBm	Teslan kahden moottorin yhteisteho ≈ 580 kW TV-lähetyksen säteilyteho mastossa (max) ≈ 2 kW
-	-	1	1 W = 30 dBm	Tukiaseman säteilyteho (max) makrosoluissa ≈ 200 W, mikrosoluissa ≈ 10 W Aivojen tehonkulutus ≈ 20 W Mobiiliverkon tehonkulutus liittymää kohti ≈ 10 W
milli	m	10 ⁻³	1 mW = 0 dBm	Matkapuhelimen lähetysteho (max) ≈ 100 mW WLAN tukiaseman lähetysteho ≈ 100 mW Tyypillinen Bluetooth lähetysteho ≈ 2,5 mW
mikro (<i>micro</i>)	μ	10 ⁻⁶	1 μW = -30 dBm	Täysikuun valon teho paljaaseen silmään ≈ 1 μW
nano	n	10 ⁻⁹	1 nW = -60 dBm	TV-lähetyksen signaalin voimakkuus, kun signaali on vahva ≈ 1 nW
piko (<i>pico</i>)	p	10 ⁻¹²	1 pW = -90 dBm	Aivojen tehonkulutus hermosolua kohti ≈ 200 pW Tyypillinen vastaanotetun signaalin voimakkuus matkapuhelimessa (4G) ≈ 10 pW Pohjantähden valon teho silmään ≈ 1 pW
femto	f	10 ⁻¹⁵	1 fW = -120 dBm	Vastaanotetun signaalin voimakkuus matkapuhelimessa, jolla juuri ja juuri saa yhteyden ≈ 10 fW
atto	a	10 ⁻¹⁸	1 aW = -150 dBm	Teoreettinen raja signaalin voimakkuudella, joka riittää toimivaan puheyhteyteen ≈ 3 aW

¹³ dBm tarkoittaa tehoa suhteessa milliwattiin desibeliasteikolla. Desibelejä käsitellään tarkemmin 3. luvussa.

Kun suuria lukuja on todella vaikea hahmottaa sellaisenaan, otetaan vielä esimerkiksi giga eli G:¹⁴

- Maailmassa on noin 7,6 G asukasta.
- Suurin prosessorilla saavutettu kellotaajuus on noin 8,4 GHz, tyypillinen kello-taajuus on 3,5 GHz.
- 5G-verkossa tullaan käyttämään mm. 3,5 GHz:n taajuusaluetta. Nopeimmat 5G yhteydet kännykään voivat olla useita Gbit/s.
- Tyypillinen keskusmuistin (RAM) koko kannettavassa tietokoneessa on 8 GB ja kännykässä 4 GB.
- Sata vuotta on noin 3,15 Gs.
- Viisi kertaa kuuhun ja takaisin on matkana noin 3 Gm.
- Suomen valtio kerää vuodessa noin 7,4 G€ valmisteveroja¹⁵ kun vastaavasti korkeakouluopetus ja tutkimus vievät noin 3,3 G€ vuodessa.

Erityisesti huomattavaa, että tietokoneen kellojakson pituuden suhde sekuntiin on suunnilleen saman kuin sekunnin suhde sataan vuoteen. Tiedonsiirtonopeuksia voi suhteuttaa myös ihmisen tiedonsiirtokykyyn. On arvioitu, että silmästä aivoihin johtavien hermosolujen yhteenlaskettu tiedonsiirtokapasiteetti on noin 6 Mbit/s, mutta tietoisuuteen asti pääsee informaatiota ehkä 100 bit/s tai jopa vähemmän.¹⁶

Informaation sisältö

Mistä on kysymys, kun puhumme tiedosta tai informaatiosta ja teknologiasta tai tietoliikenteestä? Wikipediassa todetaan, että ”informaatio on järjestystä, johon voidaan liittää jokin tulkinta.”¹⁷ Mutta mitä ihmettä on tulkinta? Tulkinnan tuloksen tulisi olla jollain tavoin jonkun järjestelmän hyödynnettävissä. Ihminen ja yhteiskunta ovat tässä mielessä järjestelmiä. Käytännöllisten ja teknisten tarpeiden kannalta tämä tulkintaan perustava informaation määritelmä on riittävä. Teoreettisiin tarpeisiin se on hankala, koska se liittyy

¹⁴ G eli giga on yksiselitteisempi lyhenne kuin miljardi, sillä englannin kielessä miljardi on **billion**, mikä aiheuttaa monesti sotkuja käännoissään.

¹⁵ Valmisteverot koostuvat pääasiassa energia-, alkoholi- ja tupakkaveroista.

¹⁶ Nämä arviot: https://www.researchgate.net/post/Estimates_of_quantified_human_sensory_system_throughput10

¹⁷ <http://fi.wikipedia.org/wiki/Informaatio>. Yleisohjeena Wikipedian suhteen: jos haluaa viitata johonkin ”tosiasiaan” niin silloin on aina syytä etsiä alkuperäinen lähde, näin erityisesti oppinnäytetoissa ja tieteellisissä artikkeleissa. Wikipediaa voi käyttää johdantona ja yleisesityksenä itselle vieraaseen aihepiiriin. Tällöin kannattaa tarkistaa sekä englannin- että suomenkielinen versio.

tulkinnan kautta hyvin monitahoiseen *järjestelmän* (system) käsitteeseen. Niinpä informaatioteorian alueella informaatio esitetään symbolijonona, jota ei tarvitse tulkita eikä sillä siten tarvitse olla mitään erityistä käyttötarkoitusta.

Periaatteellisen eron tekeminen tulkinnallisuuden ja pelkän symbolijonon välillä on haastavaa. Kuvan 1.4 vasemmalla reunalla informaatioon liittyy aina tulkinta, koska muuten informaatio olisi pelkkää kohinaa, jota aivomme yrittävät suodattaa pois ennen tietoisuuteen nousevaa tulkintaa.¹⁸

Sen sijaan kuvan oikean laidan kanavassa¹⁹ (channel) informaatio on olennaisesti symbolijonoja, joita siirretään paikasta toiseen ilman, että kukaan tai mikään pyrkii niitä millään tavoin tulkitsemaan. Jossain näiden ääripäiden välissä on vaihe, jossa tulkittava informaatio muuttuu symboleiksi ilman tulkintaa ja päinvastoin. Käyttöliittymä on tässä suhteessa avainasemassa.

Entäpä jos vaikka tekstiä tuotetaan satunnaisesti, käyttämällä tietokoneen kykyä tuottaa jonkin algoritmin mukaan tekstiä, jolla on haluttuja ominaisuuksia. Sisältääkö satunnaisesti tuotettu teksti informaatiota ja jos sisältää, niin mitä informaatiota? Havainnollistetaan tätä seuraavalla esimerkillä:

Takeas vihoht'astun nyt pi misevät la. Japaikat, huumausketi eukiinä sa näksiä pysyn myönistin vatarakkiele tälänä pisti, jossarskui noulopuuttehipi, mikävä minaaniin olinkuolikäyrisen pärevatoollumiten sa tulostelä vihkäkirjelin ta nyttani.

Kun tuota lukee, alkaa väistämättä hakea tulkintaa, merkitystä tai ainakin tyydyttävää selitystä. Kyseessä ei ole mikään oikea kieli, vaikka teksti onkin sukua suomelle. Tuotos on generoitu seuraavalla tavalla:²⁰

- 1) Otetaan Seitsemän veljeksen koko teksti.²¹
- 2) Lasketaan jokaisen merkkiparin jälkeisten merkkien määrä: esimerkiksi merkkipari "ne" esiintyy tekstissä 3245 kertaa ja sitä seuraa merkki "a" 10 kertaa, merkki "n" 1627 kertaa, merkki "." 15 kertaa, jne.

¹⁸ Kohinan voidaan ajatella olevan informaatiota, josta vastaanottaja ei ole kiinnostunut. Tietoliikenneinsinööri ei yleensä ole kiinnostunut lämpösäteilyn yksityiskohtaisista ominaisuuksista. Jos taas naapurin signaali indusoituu omalle puhekanavalle, sitä voidaan pitää joko kohinana (joka häiritsee oman signaalin vastaanottoa) tai informaationa (jos naapurin välittämät tiedot sattuvat kiinnostamaan).

¹⁹ Kanavalla tarkoitetaan tässä yhteydessä jotain väliaineen ominaisuutta, jota käytetään signaalien siirtämiseen. Kanava voi koostua myös sarjasta erilaisia osia eli erilaisia väliaineita ja niiden ominaisuuksia.

²⁰ Sama menetelmä on esitetty mm. kirjassa J. Gleick, Informaatio, Art House (käännös alkuteoksesta, *The Information: A History, a Theory, a Flood*, 2012).

²¹ <http://www.gutenberg.org/files/11940/11940-8.txt>

- 3) Lasketaan jokaiselle merkkiparille todennäköisyydet, että seuraava merkki on tietty merkki. Esimerkiksi merkkiparin ”ne” jälkeen tulee merkki ”a” 0,31 prosentin todennäköisyydellä, merkki ”n” 50,1 prosentin todennäköisyydellä ja merkki ”.” 0,46 prosentin todennäköisyydellä.
- 4) Aloitetaan merkkiparilla ”.” (jossa siis pisteen jälkeen tulee välilyönti).
- 5) Tämän jälkeen arvotaan (satunnaislukujen avulla) aina seuraava merkki niiden todennäköisyyksien mukaan jotka saatiin 3-kohdassa. Esimerkiksi merkkiparia ”ne” seuraa useimmiten n, mutta välillä myös a, piste tai joku muu 30 mahdollisesta merkistä. Jos seuraava merkki on vaikka a, niin seuraavaksi arvotaan jokin niistä merkeistä, joka seuraa merkkiparia ”ea”.

Tuloksena on periaatteessa loputon, satunnaisesti etenevä merkkijono, jolla on joitain mielenkiintoisia ominaisuuksia. Mutta sisältääkö tulos informaatiota vai kenties kohinaa? Teoreettisessa merkityksessä tuotos sisältää informaatiota, koska siinä esiintyy merkkejä peräkkäin. Kyseinen merkkijono voidaan välittää kanavassa ja se voidaan esittää käyttöliittymän kautta vastaanottajalle. Mielen automatiikka yrittää parhaansa mukaan tulkita tuotosta. Mieli saattaa pitää sitä vaikeaselkoisena tekstinä. Tilastollisessa mielessä tuo keinotekoinen tekstipätkä vastaa siis suomenkielistä tekstiä, mutta ilman varsinaista sanomaa kuvan 1.4 mielessä.

Jossain kuvan 1.4 esittämien ääripäiden (ihminen ja tekninen kanava) välissä, on vielä kolmas näkökulma. Tom Stonier on määritellyt informaation kyvyksi luoda tai ylläpitää järjestystä jossain järjestelmässä.²² Tätä voisi kuvata informaation tekniseksi määrittelyksi; teknologian tavoitteena on tuottaa ja käsitellä järjestelmiä, joiden toivotaan toimivan jollain ennalta määrätyllä, järjestelmällisellä tavalla. Informaation siirtäminen on välttämätön osa kaikkia monimutkaisia teknisiä järjestelmiä. Nyt meillä on siis seuraavat määritelmää informaatiolle:

1. Informaatio on järjestystä, johon voidaan liittää jokin tulkinta.
2. Informaatio on kyky luoda järjestystä.
3. Informaatio on jono merkkejä.

Tähän meidän on tyytyminen, eli riippuen tilanteesta ja tarpeesta, päädytään erilaisiin määritelmiin.²³ Otetaan esimerkiksi nuo seitsemän kuulua veljestä:

²² T. Stonier, *Information and the Internal Structure of the Universe*, Springer-Verlag, 1990.

²³ Tiedosta kiinnostuneen kannattaa käydä tutustumassa finton sivustoon <http://finto.fi/tt/fi/page/t117>, jolla systemaattisesti määritelty lukuisia tietoon liittyviä käsitteitä.

”Veljesten nimet vanhimmasta nuorimpaan ovat: Juhani, Tuomas, Aapo, Simeoni, Timo, Lauri ja Eero. Ovat heistä Tuomas ja Aapo kaksoispari ja samoin Timo ja Lauri. Juhani, vanhimman veljen, ikä on kaksikymmentä ja viisi vuotta, mutta Eero, nuorin heistä, on tuskin nähnyt kahdeksantoista auringon kierrosta.”

Näissä kahdessa lauseessa on varmasti kaikkien määritelmien mukaan informaatiota, vaikka kertomus ei varsinaisesti todellisia henkilöitä kuvaakaan. Joka tapauksessa Aleksis Kivellä oli sanoma, jonka hän toivoi tulevan ymmärretyksi. Samoin voidaan ajatella, että lauseet luovat lukijan aivoihin järjestystä, jota lukija voi myöhemmin hyödyntää. Merkkijono on ilmeinen.

Entä sitten tilastollisen informaation avulla tuotettu satunnainen teksti:

”Ja ko taani ja silin olasis, tui ihme sa on ta kinnen manoikaani, ja erojaivatekset, mah! Tuni, eipysyvinä juuttiehumassaukkoa kohin aannen kuinnä kivas. La pä, ja lanhanauliva keanasemakia kenensiinentelkässä ohtee helukkerta, ja iskuloikin tonneen.”

Merkkijonona tulos on samankaltainen kuin Kiven teksti. Tulkinta, vaikea sanoa, merkkijono kun luo aivoihin pikemminkin hämmennystä kuin järjestystä.

Sitten voimme mennä vielä askeleen pidemmälle. Otetaan Seitsemän veljeksien teksti ja pakataan se zip-muotoon. Alkuperäisen tekstitiedoston koko oli 626 kilotavua kun taas pakattuna koko on 254 kilotavua.²⁴ Tuloksena on merkkijono tähän tapaan:

]5#¶:TqŽí-!8M[öëv<øáRM1M}_ÄqÛ°ê¶Å® úú ism Þ¾ S7GûÑ>Û!&Ußz¿f³¶Ûö@új_h•Ú.'°j½

Tätä tiedoston keskeltä otettua pätkää on mahdoton erottaa satunnaisesta merkkijonosta, ellei käytettävissä ole pakkauksen avaamiseen tarvittava informaatio. Inhimillinen tulkinta on mahdotonta ilman koneen suorittamaa käännöstä. Voidaan sanoa, että kyseessä on informaatio *yhdessä käännöksen tekemiseen tarvittavan informaation kanssa*.

Informaatio on siis vaikea ja tulkinnallinen käsite. Yksi mahdollisuus on käyttää eri termejä eri merkityksille. Termillä *data* voidaan tarkoittaa merkkijonoa ilman tulkintaa, tai mitattuja arvoja ennen tiedonkäsittelyä. Valitettavasti mitään täysin vakiintuneita, laajasti käytettyjä määrittelyjä näille termeille ei ole.²⁵

Lisäksi suomen kielessä on käytettävissä sangen yleiskäyttöinen sana *tieto*. ”Klassisen” määritelmän mukaan tieto on perusteltu, tosi uskomus.²⁶ Suomenkielen *tietää* verbi on

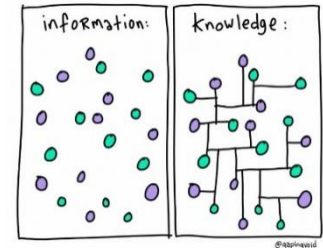
²⁴ Informaatioteknologian alueella tavu muodostuu 8 bitistä. Yhdellä bitillä voidaan esittää tieto, jolla on kaksi mahdollista arvoa.

²⁵ Tämä on informaatioteknologian alan yksi perusongelma: eri osa-alueet ovat kehittäneet omia käsitejärjestelmiään, jotka eivät useinkaan ole yhteensopivia toistensa kanssa. Alan opiskelijoille ja ammattilaisillekin tästä aiheutuu melkoisesti vaivaa ja hämmennystä.

²⁶ Platon, Theaitetos-dialogi.

merkinnyt alun perin tien tuntemista, mahdollisesti myös jälkien muodostaman uran seuraamista, josta sitten on voinut kehittyä yleisempi menettelytavan tuntemisen merkitys.²⁷ Tieto viittaa siis inhimillisiin olentoihin ja mieleen ja sen sisältöihin kun taas informaatio viittaa pikemminkin biologisiin tai teknisiin järjestelmiin.

Tieto on kuitenkin sanana varsin kuormitettu. Esimerkiksi englannin kielen sanat *information* ja *knowledge* käännetään usein sanalla tieto. Englannin kielessä sanoilla on melko selkeä ero, kuten oheinen kuva pyrkii ilmaisemaan.²⁸



Entä mitä on *teknologia* tai englannin kielellä *engineering*? Herbert Simon on ilmaissut asian seuraavalla tavalla:²⁹

“Engineering, medicine, business, architecture and painting are concerned not with the necessary but with the contingent - not with how things are but with how they might be - in short, with design.”

Simonin mukaan siis teknologia ja muut vastaavat alat ovat kiinnostuneita siitä, miten asiat *voisivat* olla, eivät siitä, miten asiat välttämättä ovat. Niistä asioista jotka voisivat olla, voidaan valita joku toteutettavaksi. Insinöörin tavoite on löytää uusia mahdollisuuksia eli teknisiä ratkaisuja ja tehdä valintoja erilaisten ratkaisujen välillä. Tyypillistä ”insinööriajattelulle” on myös perusoletus, että monimutkainenkin järjestelmä voidaan rakentaa suhteellisen pienistä, ymmärrettävistä osista, joilla kullakin on tarkasti määrätty tehtävä.

Vastaavasti voidaan ajatella, että tieteen tehtävä on selvittää mikä on *välttämättä* jollain tavoin. Ymmärrys välttämättömyyksistä on tarpeen, jotta uusia teknologioita voidaan kehittää. Radiotien ominaisuuksia voidaan kuvata Maxwellin yhtälöillä äärimmäisen tarkasti. Yleistä suhteellisuusteoriaa tarvitaan, jotta GPS (*Global Positioning System*) pystyy antamaan tarkan paikkatiedon. Elliptisten käyrien teoriaa käytetään salausalgoritmien suunnitteluun ja toteuttamiseen. Näiden teorioiden perusteellinen hallinta vaatii kykyjä ja taitoja, jotka ovat useimpien insinöörien ulottumattomissa; silti niitä käytetään matkapuhelinverkkojen, päätelaitteiden ja sovellusten toteuttamiseen. Tuskin kukaan yksittäinen henkilö enää hallitsee kaikkia niitä lukuisia teknologian osa-alueita, joita käytetään esimerkiksi älypuhelimissa.

Teknologian kehittäminen on siis verkostoitunutta toimintaa, jossa tietty ihmisryhmä (insinöörit) soveltaa tieteellistä tietoa ja toisia teknologioita käytännön ongelmien ratkaisemiseksi jotain vastinetta, tyypillisesti palkkaa, vastaan. Jonkun toisen ihmisryhmän tehtävä

²⁷ K. Häkkinen, *Nykysuomen etymologinen sanakirja*, WSOY 2004.

²⁸ <http://www.gapingvoidart.com/gallery/information-knowledge/>

²⁹ H. Simon, *The Sciences of the Artificial*, MIT Press, 1996, p. xii.

on sitten hyödyntää kehitettyjä teknologioita kaupallisesti ja siten mahdollistaa vastikkeiden antamisen insinööreille.

Kolme huomionarvoista seikkaa:

1. Sanana teknologia viittaa järjestelmälliseen, tavoitteelliseen ja organisoituun toimintaan, jonka takana on huomattavia kaupallisia tai muita intressejä. Yksittäisten Pelle Pelottomien rooli on yleensä vähäinen teknologian varsinaisen kehitystyön aikana, sen sijaan uusien alueiden ja sovellusten löytämisessä ja alullepanemisessa yhdellä henkilöllä voi olla ratkaiseva merkitys.
2. Insinööri voi toki kehittää laitteita tai tietokoneohjelmia omaksi huvikseen ilman suoranaista palkkaa, joko yksin tai osana yhteisöä. Vastine on tällöin vaikeammin mitattavissa, mutta silti merkittävä: se voi olla joko suorittamisen luoma välitön tyydytys tai sosiaalisen pääoman kertyminen.
3. Nykyinen tieteen kehitys on suuresti riippuvainen teknologiasta; esimerkiksi sellaisen fysiikan tutkimuksen kohteen kuin Higgsin hiukkasen löytäminen on vaatinut moninaisten teknologioiden kehittämistä ja toteuttamista. Tieteen ja teknologian suhde ei ole yhdensuuntainen vaan ne ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa toisiinsa.

Esimerkkinä sekä 1. että 2. kohdassa voidaan mainita Linus Torvalds ja Linux, Tim Berners-Lee ja WWW, sekä ehkä myös Steve Jobs ja henkilökohtainen tietokone.³⁰ Kolmannesta kohdasta esimerkkinä voisi olla Bitcoinin³¹ kehittäjä ”Satoshi Nakamoto”—kuka hän sitten lieneekin.

Insinööriys on venyvä käsite. Osa insinööriydestä menee hyvin lähelle perustieteitä kun taas monen insinöörin työ on pääosin henkilöjohtamista ja ideoiden ja tuotteiden markkinointia. Eli työnkuva vaihtelee kahden ääripään välillä:

- Perustiedettä syvästi hallitseva henkilö, jonka tavoite on soveltaa vaativia teorioita käytännön ongelmaan. Radioaaltojen etenemisen teorian ja mallit hallitseva insinööri voi kehittää uusia antenniratkaisuja älypuheliin. Elliptisten käyrien teorian soveltaminen salausalgoritmeissa on toinen ajankohtainen esimerkki.
- Myynti-insinööri, jolla on riittävästi tietoa ja ymmärrystä tuotteen tekniikasta, jotta hän pystyy myymään tuotetta tehokkaasti suurimmalle osalle asiakaskuntaa. Liian syvä tekninen ymmärrys saattaa olla jopa haitaksi, sen sijaan käytännön ihmistuntemus on myyntityössä erittäin hyödyllistä.

³⁰ Korostettakoon sitä, että vaikka Linuxella ja Jobsilla on ollut merkittävä rooli kehityksen alullepanijoina ja suunnan näyttäjinä, varsinainen tuotos (Linux, Applen tuotteet) on ollut erittäin suuren joukon yhteistyön tulos.

³¹ Bitcoin on tunnetuin ja laajimmin käytetty lohkoketju (Blockchain) –teknologia, katso esim. <https://bitcoin.org/en/protect-your-privacy>.

Näiden väliin mahtuu paljon erilaisia insinööritehtäviä, kuten soveltavaa tutkimusta, standardointia, tuotekehitystä, testausta, tuotannon ohjausta, konsultointia ja markkinointia. On helppo otaksua, että älyllisesti vaativinta on teoreettisin työ ja vähiten älyllisesti vaativaa on työ kauimpana teorioista. Toisaalta, mikä sitten on kaikkein vaikeinta ymmärtää? Ehkä kvanttifysiikka ja yleinen suhteellisuusteoria, vaikka ihmisen aivot ja mieli ovatkin äärimmäinen monimutkaisia kokonaisuuksia.

Insinöörit ratkaisevat teknisiä ongelmia kykyjensä mukaan, kun taas organisaatiot ja yhteisöt pyrkivät turvaamaan oman toiminnan menestyksen ja jatkumisen, jota suuret muutokset saattavat uhata. Uudet tekniset ratkaisut, hyvänä esimerkkinä Internet, johtavat väistämättä suuriin muutoksiin. Tästä seuraa teknologiayrityksien kannalta vakava ristiriita: mitä tehokkaammin organisaatio kehittää ja tuo markkinoille uusia entistä kyvykkäämpiä tuotteita, sitä todennäköisempää on, että yrityksen perinteinen liiketoiminta joutuu oman kehitystyön uhriksi.³² Uudet tuotteet korvaavat vanhat ja samalla muuttavat liiketoiminnan suhteita ja toimijoiden välisen pelin luonnetta.

Informaation lyhyt historia

Nykyihmisten kaukaiset esivanhemmat Afrikan savanneille eivät käyttäneet viestintäänsä juurikaan teknisiä apuvälineitä: äänet, eleet ja kosketukset (ja ehkä kivenmurikat painottamaan jonkun asian tärkeyttä) riittivät viestinnän tarpeisiin. Toisaalta ei pidä aliarvioida viestinnän monimutkaisuutta ja –muotoisuutta jo silloin kun ihmiset elivät muutamien kymmenien jäsenten ryhmissä.³³

Minkä verran ihmiset jättivät tarkoituksella jälkiä tai merkkejä ryhmän muille jäsenille tai muille ryhmille esimerkiksi merkkeinä puissa tai asettamalla kiviä järjestykseen, jäänee arvailujen varaan.³⁴ Mitä ilmeisimmin niillä on jokin tietoisten olentojen ilmaisema sanoma, vaikka meille nykyihmisinä niiden tulkinta on vaikeaa (ja ilman tulkintaa ei ole informaatiota). Sen sijaan vanhimpien tunnettujen kirjoitusten tulkinta ei jätä paljon epäilykselle sijaa: mesopotamialaisia kirjoitusmerkkejä lähes kuusi tuhatta vuotta sitten käytettiin maataloustuotteiden kirjanpidon ja verotuksen välineenä.

Rumpujen käyttö viestinnässä on hyvin vanhaa perua. Samoin huutoketjuilla siirrettiin jo muinoin viestejä noin 20 kilometrin tuntinopeudella. Savu- ja tulimerkkejä on käytetty

³² Clayton Christensenin *Innovator's Dilemma* vuodelta 1997 on tämän kysymyksen klassikko.

³³ Geneettisesti emme ole juurikaan muuttuneet noista ajoista, jolloin kuljimme pienehköissä ryhmissä savanneilla. Voidaan olettaa, että evoluution tuloksena viestintätaitomme ja -tapamme ovat sopeutuneet noiden aikojen tarpeisiin.

³⁴ Mikä on esimerkiksi Stonehengen (<http://fi.wikipedia.org/wiki/Stonehenge>) kivien kertoma viesti? Katso ja kuuntele <http://www.youtube.com/watch?v=mbyzggee2mg>

laajasti siitä lähtien kun ihmiset ovat järjestäytyneet yhteiskunniksi. Lukijana voit miettiä vaikkapa miten nämä esimerkit sopivat kuvan 1.4 malliin.

Foneettinen (eli ääntämisen mukainen) kirjoitus noin tuhat vuotta myöhemmin oli valankumouksellinen keksintö: se mahdollisti kertaalleen laaditun viestin monistamisen, säilyttämisen ja kuljettamisen olennaisesti helpommin ja luotettavammin kuin pelkästään suulliseen viestintään perustuvissa kulttuureissa oli mahdollista. Mutta ehkäpä juuri kirjallisen ilmaisun vallankumouksellisen luonteen vuoksi kirjoittaminen pysyi hyvin rajallisen ryhmän tehtävänä seuraavien vuosituhansien aikana.³⁵ Keskeisin poikkeus lienee Rooman valtakunta, jossa lukutaitoisuus oli ilmeisesti varsin korkea. Valtakunnan romahtamisen jälkeen lukutaito pysyi pienen eliitin etuoikeutena 1600-luvun lopulle saakka.³⁶

Kirjapainotaidon kehittyminen 1400-luvun puolivälissä merkitsi muutamassa vuosikymmenessä radikaalia muutosta entiseen tilanteeseen, jossa (lähes pelkästään uskonnollisten ja filosofisten) kirjojen kopiointi tapahtui pääosin kirkon valvonnassa ja toimesta. Mielipiteen vapaus oli silloin hyvin rajallinen käsite niidenkin, useimmiten munkkien, joukossa jotka kirjoitustaitoa viljelivät. Sen sijaan kirjapainojen kautta oli mahdollista välittää monenlaisia ajatuksia laajalle lukijakunnalle; vuoteen 1500 mennessä Euroopassa painettiin yli 20 miljoonaa kappaletta kirjoja. Mutta kehitys lähti nopeasti käyntiin vain eräissä osissa Eurooppaa, ei esimerkiksi Kiinassa tai muualla Aasiassa vaikka teknisesti se olisi ollut mahdollista kaikkialla.³⁷

Kirjapainon merkitystä on tässä syytä korostaa siksi, että sillä oli olennainen merkitys sille, miten tiede ja teknologia lähtivät kehittymään. Kaikista rajoitteista huolimatta ihmisten ja yhteisöjen välisen viestinnän tehokkuus ylitti jonkin vaikeasti määriteltävän rajan, jonka jälkeen julkaistun tiedon määrä lähti eksponentiaaliseen nousuun 1600-luvulta alkaen. Lisäksi kirjapainotekniikka voidaan ajatella varhaiseksi informaatioteknologian ilmentymäksi: keskeisin käyttöliittymä vastaanottopäässä oli painettu teksti, lehti tai kirja.

Informaatioteknologia on kuitenkin tapana käsittää tietokoneiden ja tietoliikennelaitteiden avulla suoritettavaksi informaation muokkaamiseksi, siirroksi, tallennukseksi ja hauksi (joka siis kuvassa 1.4 merkitty sinisellä alueella). Tämän määritelmän mukaan informaatioteknologian kehityksen alku voidaan sijoittaa 1800-luvun alkupuolelle.³⁸

³⁵ Koska tieto on valtaa, kirjoitukseen perustuvan tiedon vapaata leviämistä on pidetty (aiheellisestikin) uhkana itsevaltaisesti johdetuille yhteiskunnille. Pohjois-Korea on nykypäivän räikein esimerkki.

³⁶ Ruotsi (johon Suomi tällöin kuului) oli ilmeisesti ensimmäinen valtio, joka määräsi lukutaidon kaikille pakolliseksi vuonna 1686. Lukutaidon kehittymisestä kts. Roser & Ortiz-Ospina, *Literacy*, <https://ourworldindata.org/literacy/>

³⁷ Ajatusmaailman muutoksesta lyhyt artikkeli ja kirja: B. DeLong: *Economic history: The roots of growth*, https://www.nature.com/articles/538456a?WT.feed_name=subjects_economics

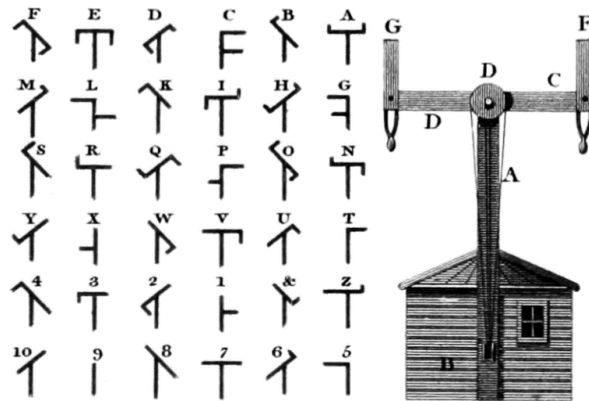
³⁸ Tosin kauemminkin ajassa taaksepäin voidaan mennä. Ramon Llull kehitti jo 1200-luvun lopulla menetelmän, jonka avulla väittelijä saattoi, ainakin periaatteessa, löytää vastauksen mihin tahansa kristinuskoa koskevaan argumenttiin tai kysymykseen. Llull kehitti myös "koneita" tätä tarkoitusta varten, katso http://fi.wikipedia.org/wiki/Ramon_Llull.

Tietoliikenteen merkkipaaluja

Mitä sitten voidaan kutsua ensimmäiseksi nykyaikaisen tietoliikenteen ilmentymäksi, jos kirjeiden tai kirjojen kuljettamista hevosvankkureilla ei sellaiseksi lasketa? Hyvä ehdokas on optinen lennätin³⁹, jollaisia alettiin rakentaa Euroopassa 1700-luvun lopulla. Optinen lennätin (**optical or semaphore telegraph**) perustui merkkitaulujen ja kaukoputkien käyttöön. Ranskaan Pariisin ja Lillen välille rakennettiin 15 asemaa käsittänyt 230 km pitkä optinen lennätinlinja, jonka avulla pystyttiin siirtämään pari merkkiä minuutissa. Vuonna 1794 linjaa käytettiin siirtämään tieto siitä, että Ranska oli valloittanut Lillen lähellä sijaitsevan Condé-sur-l'Escaut:n kylän Itävaltalaisilta. Tieto siirtyi alle tunnissa. Vastaavanlainen optinen lennätinyhteys rakennettiin Krimin sodan aikaan (v. 1854 - 56) Hangosta Pietariin sotilaallisia tarkoituksia varten. Se korvattiin pian sodan jälkeen sähköisellä lennättimellä.

Myöhemmän tietoliikenteen kehityksen kannalta mielenkiintoista on optisen lennättimen sanomien koodaus. Claude Chappen kehittämällä optisella lennättimellä pystyttiin esittämään 192 erilaista merkkiä vaihtamalla palkkien asentoja. Kuvassa 1.5 on esitetty aakkosia ja numeroita vastaavat merkit. Osa merkeistä oli kuitenkin koodattu siten, että kahden merkin yhdistelmällä voitiin tuottaa 8464 erilaista sanaa tai sanontaa.⁴⁰ Koska linjan välityskapasiteetti oli sangen rajallinen, koodauksen tehokkuuteen kannatti panostaa.

Kuva 1.5. Chappen optinen lennätinasema ja osa käytetyistä koodeista.⁴¹



Sähkölennätin kehitettiin 1800-luvun alussa. Sähkölennättimen käyttöä rajoitti kuitenkin sähköisen signaalin vaimeneminen siirtoetäisyyden kasvaessa. Samuel Morsen keksimän relepiirin avulla signaalia pystyttiin vahvistamaan, mikä johti lennätinverkkojen nopeaan yleistymiseen 1840-luvulla. Lennätinyhteyksien rakentaminen maksoi paljon, mutta sekä poliitikot että ennen kaikkea liikemiehet ymmärsivät nopeasti lennättimen arvon. Ensimmäinen yritys rakentaa kuparikaapeliin perustuva lennätinyhteys Atlantin

³⁹ Lennättimellä tarkoitetaan järjestelmää, jolla voidaan siirtää tekstimuotoisia viestejä ilman esineiden fyysistä siirtämistä.

⁴⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_telegraph

⁴¹ http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rees%27s_Cyclopaedia_Chappe_telegraph.png

poikki tehtiin jo 1857 - 58.⁴² Valitettavasti lennätinyhteys lakkasi toimimasta jo muutaman viikon jälkeen.

Vastoinikäymisistä huolimatta työtä jatkettiin. Vuonna 1866 saatiin lopulta rakennettua toimiva merikaapeliyhteys Atlantin poikki. Vaikka projekti oli ollut hyvin kallis suhteutettuna silloisiin taloudellisiin voimavaroihin, niin palvelulle riitti myös kysyntää. Sanomien hinta oli 10 dollaria sanaa kohti ja vähimmäissanamäärä oli 10 sanaa, silti esimerkiksi syksyllä 1868 sanomia välitettiin keskimäärin noin 30 päivässä.⁴³

Tämän jälkeen huomattavaa edistystä merikaapeleiden osalta tapahtui vasta vuonna 1956, kun TAT-1 kaapeli laskettiin Skotlannin ja Newfoundlandin välille. Sen kapasiteetti oli 36 puhekanavaa. Seuraava porras kapasiteetin kasvukäyrällä oli siirtyminen optisiin merikaapeleihin vuodesta 1988 alkaen. Ensimmäisen optisen kaapelin kapasiteetti oli 560 Mbit/s. Vuoteen 2001 mennessä yhden optisen merikaapelin kapasiteetti oli jo 640 Gbit/s eli noin 100 000 000 000 kertaa suurempi kuin vuoden 1856 kaapelin kapasiteetti. Ei siis ihme, että datan siirtäminen valtameren yli tuntuu nyt ilmaiselta.

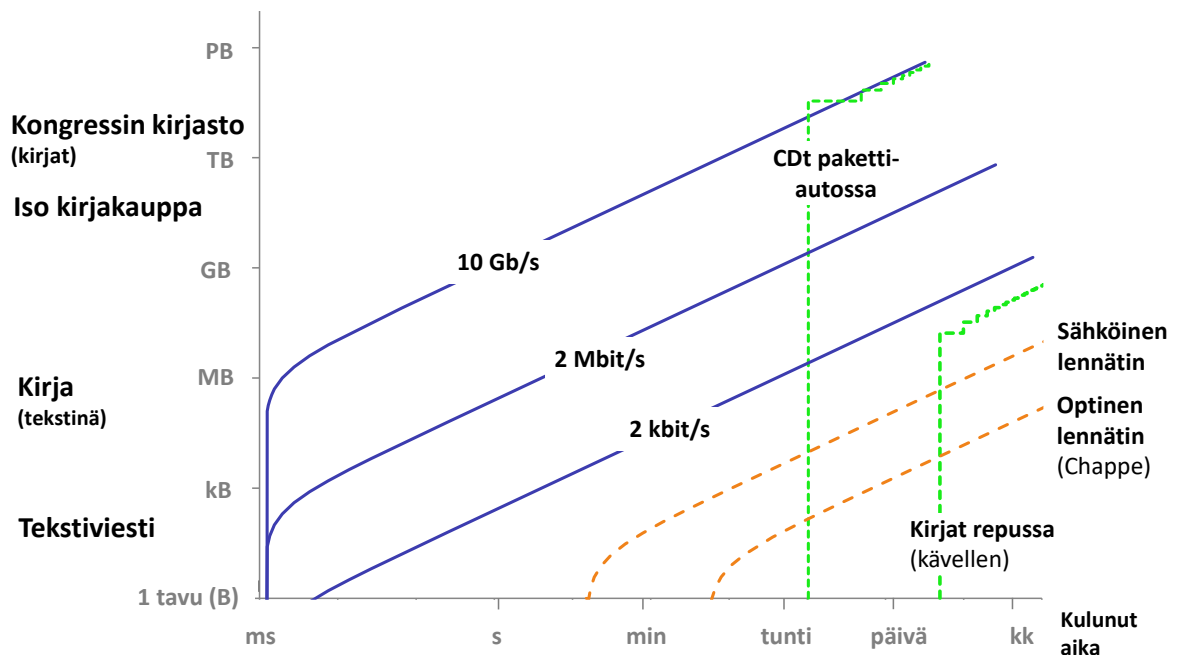
Miten sitten tiedonsiirron kapasiteetti on kehittynyt optisesta lennättimestä alkaen? Kuva 1.6 valaisee muutoksen suuruutta. Kuvassa on esitetty tiedonsiirtokapasiteetin ja viiveen suhde eri aikoina erilaisilla tiedonsiirron menetelmillä. Esimerkkinä olkoon aikaisemmin mainittu Paris-Lille (230 km) väli. Ensimmäinen tavu saatiin siirrettyä noin 10 minuutissa, jonka jälkeen päästiin noin yhteen tavuun minuutissa. Tavallisen kirjan välittämiseen optimisella lennättimellä olisi mennyt vähintään vuosi ottaen huomioon sään ja pimeyden aiheuttamat ongelmat. Suuren informaatiomäärän siirtämiseen kirja reppuun ja kävelemään olisi siten ollut huomattavasti nopeampi ja halvempi tiedonsiirtomenetelmä, sillä optisen linjan ylläpitäminen vaati satojen henkilöiden työpanoksen. Viiveen olennainen pienentyminen lyhyillä sanomilla oli siten ainoa merkittävä optisen linjan etu.

Vastaavasti voidaan ottaa noin vuoden 1985 huipputeknologiat eli CD-levy (750 MB, 15 grammaa), pakettiauto (80 km/h, 1000 kg) ja vuokrattu yhteys (2 Mbit/s). Samassa ajassa kuin pakettiautolla ajaisi 230 km, vuokratulla yhteydellä olisi saanut siirrettyä noin neljän CD:n verran informaatiota. Yhteen pakettiautoon saisi lastattua 50000 CD-levyä, joka tekee siitä suunnilleen yhtä tehokkaan tiedonsiirtovälineen kuin 10 Gbit/s optisen yhteyden pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. Noin suuri määrä levyjä olisi toki epäkäytännöllinen menetelmä, mutta periaatteessa yhdellä pakettiautollisella voisi siirtää USA:n kongressin kirjas-

⁴²Atlantin kaapeleita koskevat tiedot: J. Hayes: *A History of Transatlantic Cables*, IEEE Communications Magazine, Sept. 2008.

⁴³ Vertailukohtana: Yhdysvaltain kongressiedustajan palkka tuohon aikaan oli noin 100 dollaria viikossa.

ton kirjojen tekstit. Nyt saman tietomäärän saisi kuljetettua muutamalla kiintolevyllä. Tiedonsiirtomenetelmän valinnassa on aina kysymys yhtä aikaa kapasiteetista, viiveestä ja hinnasta. Eri tekijät painottuvat eri tilanteissa ja eri aikoina eri tavoin.



Kuva 1.6. Tiedonsiirtoa eri menetelmillä 230 km matkalla, vaaka-akselilla käytetty aika ja pystyakselilla siirretyn datan määrä (molemmat logaritmisella asteikolla).

Esimerkki 1.1. Siirtonopeuksien suhteita

Oletetaan että teekkari Janne avustaa kesätyönään projektia, jossa Aalto-yliopisto ja Helsingin Yliopiston fysiikan laitos kehittävät yhdessä monimutkaista ilmastomallia. Jannen pitää siirtää ilmastomalliin liittyvää dataa 1,9 teratavua (TB) Otaniemestä Kumpulaan. Jannella on käytettävissä vain 12 kpl 32 GB:n muistitikkua ja polkupyörä. Matkaa on 10 km, mutta onneksi on kesäkuu ja ilmat ovat suotuisat. Toinen vaihtoehto on datayhteys Otaniemen ja Kumpulan välillä.

A. Kuinka nopea datayhteyden tulee vähintään olla, jotta koko datamäärän siirto tapahtuisi nopeammin datayhteydellä kuin polkupyörällä?

B. Entä kuinka nopea datayhteyden pitää olla, jotta se olisi nopeampi kuin tiedon siirtäminen kahdella yhden teratavun kovalevyllä ja autolla?

Ratkaisu

Tässä täytyy tehdä monenlaisia arvioita ja oletuksia ennen kuin päästään varsinaiseen laskelmaan. Ensiksikin muistitikuille kirjoittaminen ja lukeminen vievät aikaa. Jos oletetaan että kirjoitusnopeus on 80 Mbit/s ja lukunopeus 200 Mbit/s niin, 32 GB:n kirjoittamiseen ja lukemiseen

menee yhteensä noin 75 minuuttia.⁴⁴ Oletetaan nyt optimistisesti, että kaikkia 12 tikkua voidaan ensin lukea datakeskuksen muistista ja sitten kirjoittaa toisen datakeskuksen muistiin rinnakkain. Sitten jos pyörällä ajamiseen kuluu suuntaansa 35 minuuttia ja vielä 15 minuuttia muuhun tikkujen kanssa pelaamiseen molemmissa päissä, niin optimistisesti arvioiden yhteen kierrokseen menisi yhteensä 175 minuuttia. Kierroksia tarvitaan yhteensä $5 = 1900/32/12$. Viimeinen 35 minuuttia takaisinpäin voidaan kuitenkin vähentää kokonaisajasta, koska tehtävä on sitä ennen saatu loppuun. Aikaa kuluu siten yhteensä $5 \cdot 175 - 35$ minuuttia eli 14 tuntia. Aikaa menee, mutta tuleepahan myös kuntoiltua 100 km:n verran.

Mitä tämä vastaa sitten siirtonopeutena? Kokonaisdatamäärä on 1,9 TB eli $1,9 \cdot 10^{12}$ bittiä.⁴⁵ Vastaavasti 14 tuntia tarkoittaa 50 400 sekuntia. Nopeudeksi saadaan siten noin 302 Mbit/s. Tämä on varsin suuri nopeus, mutta se on hyvinkin saatavissa kahden yliopiston datakeskusten välille.

Kovalevyillä aika menee kirjoittamiseen ja lukemiseen. Jos nopeuksiksi oletetaan 280 Mbit/s lukemiselle ja 200 Mbit/s kirjoittamiselle, niin molemmat operaatiot vievät yhdellä kovalevyllä noin 19 tuntia! Jos kovalevyjäkin voidaan kirjoittaa ja lukea rinnakkain, niin koko toimenpiteeseen matkoineen menee ehkä 20 tuntia. Siitä saadaan keskimääräiseksi nopeudeksi 211 Mbit/s.

Opetus

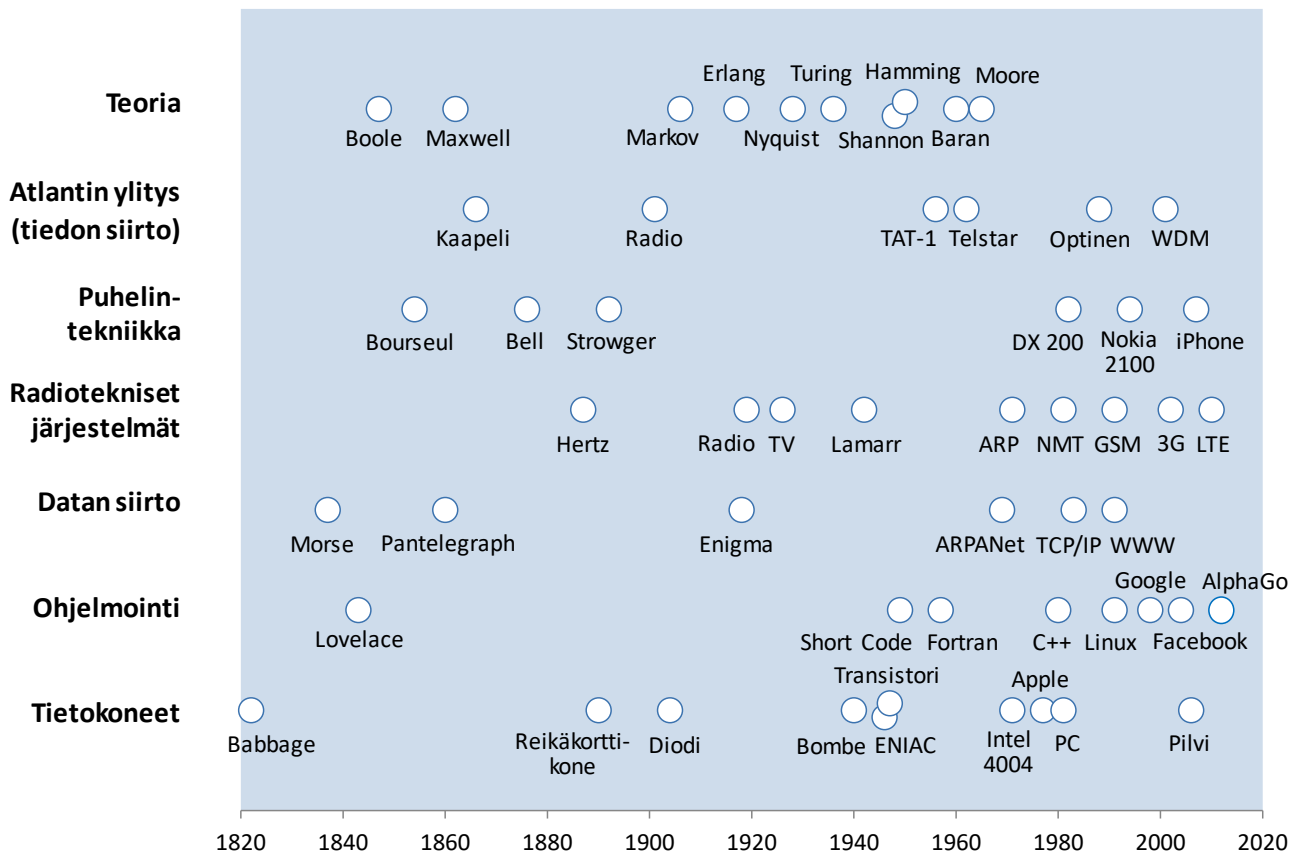
Käytännössä muistitikkujen kanssa pelaaminen varmaan veisi enemmän aikaa; silti sen tehollinen tiedonsiirtonopeus on varsin suuri tällaisella matkalla riippumatta siitä ajaako pyörällä vai autolla. Pullonkaulaksi muodostuu lähinnä muistiin tallentaminen, joka on suhteellisen hidasta helposti siirrettävillä muistiyksiköillä. Jos data on siirrettävillä kovalevyillä valmiina, päästään niitä siirtämällä helposti hyvin suurin tehollisiin siirtonopeuksiin.

Informaatioteknologian historiaa

Seuraavassa on listattu informaatiotekniikan kehityksen merkkitapahtumia viimeisen 200 vuoden aikana. Tapahtumat on esitetty kuvassa 1.7 jaoteltuna seitsemään osa-alueeseen: teoriat, tiedonsiirto Atlantin yli, puhelintekniikka, radiotekniikkaan perustuvat järjestelmät, datan siirto, ohjelmointi ja tietokoneet.

⁴⁴ Nopeuksien arviointiin on käytetty sivustoa <http://usbspeed.nirsoft.net/>. Huomaa, että sivustolla käytetään nopeuden yksikkönä MB/s eli megatavua sekunnissa. Olkaa tarkkana b:n ja B:n suhteen!

⁴⁵ Tässä oletetaan että teratavut on ilmoitettu kymmenjärjestelmän mukaan, katso esim. http://fi.wikipedia.org/wiki/Tavu_%28tietotekniikka%29. Lisäksi pitää aina muistaa että tavu on 8 bittiä.



Kuva 1.7. Informaatioteknologian kohokohtia kahden vuosisadan ajalta.

Joissakin tapauksissa kehitys on ollut nopeaa, mutta toisaalta joissakin tapauksissa voidaan jälkikäteen ihmetellä kehityksen hitauttakin:

- Siitä kun Hertz osoitti, että radioaallot siirtyvät valon nopeudella paikasta toiseen, kesti sata vuotta ennen kuin tavalliset ihmiset pystyivät laajassa mitassa hyödyntämään ilmiötä henkilökohtaisiin tarpeisiinsa.⁴⁶
- Siitä kun Morse kehitti sähköisen lennättimen, kesti 120 vuotta ennen kuin data-siirron nopeudet alkoivat merkittävästi nousta.
- Siitä kun lennätin saatiin toimimaan Atlantin poikki, kesti 90 vuotta ennen kuin kaapeleiden kautta voitiin tarjota puhelinpalveluita.⁴⁷

Monella alueella kehitys lähti vauhtiin vasta toisen maailmansodan jälkeen, usein suurten sotilaallisten kehitysprojektien vauhdittamana. Viimeisen kahdenkymmenen viiden vuoden aikana kehitys on ollut huimaa. Nokia 1011 vuodelta 1992 painoi lähes puoli kiloa ja

⁴⁶ Hertzin kokeista meni yleisradiolähetysten alkuun 32 vuotta, joka on varsin tarkkaan sama aika, joka meni pakettikytkentäisten verkkojen alusta Internetin kaupalliseen käyttöön.

⁴⁷ Radioteitse oli tarjolla hyvin kallis puheyhteys Atlantin yli vuodesta 1926.

sillä saattoi jopa lähettää tekstiviestejä.⁴⁸ Hinta oli 8250 mk, joka vastaa nykyrahassa noin 2000 euroa. Nyt vuonna 2017 vastaavalla rahalla saa vaikkapa sekä älypuhelimien että taulutietokoneen ja vielä jää rahaa muihin hankintoihin.

Tässä vielä kronologinen katsaus keskeisiin tapahtumiin:

- 1822 Babbage: Charles Babbage esitteli suunnitelman differenssikoneesta, jolla olisi voinut taulukoida polynomifunktioita. Toteutusta ei saatu Babbagen aikaan valmiiksi, mutta toisen version suunnitelman perusteella v. 1991 rakennettu kone osoittautui täysin toimivaksi.
- 1837 Morse: Samuel Morse esitteli sähköisen lennättimen v. 1837 ja seuraavana vuonna järjestelmän, joka nimettiin morseaakkosiksi.
- 1843 Lovelace: Ada Lovelace julkaisi kirjoituksen ”Notes”, jossa hän kuvaa ohjelmoitavan, yleiskäyttöisen tietokoneen keskeiset periaatteet.
- 1847 Boole: George Boole julkaisi kirjan *The Mathematical Analysis of Logic*, jossa hän esitteli Boolean algebran, joka on myös binäärisen tietojenkäsittelyn perusta.
- 1854 Bourseul: Ranskalainen Charles Bourseul esitti lehtikirjoituksessaan ajatuksen puhelimen periaatteesta, mutta ei pystynyt itse rakentamaan toimivaa puhelinta.
- 1860 Pantelegraph: Ensimmäinen pantelegraph-kuva lähetettiin Pariisista Amiensiin marraskuussa 1860. Pantelegraph oli Giovanni Casellin kehittämä varhainen telekopiolaite (faksi), jolla voitiin siirtää piirroskuvia ja kirjoitusta lennätinlinjan yli.
- 1862 Maxwell: James Clerk Maxwell kehitti Maxwellin yhtälöt, jotka kuvaavat sähköisten ja magneettisten kenttien käyttäytymistä ja niiden vuorovaikutusta.
- 1866 Kaapeli: Ensimmäinen toimiva lennätinkaapeliyhteys Atlantin yli.
- 1876 Bell: Alexander Graham Bell patentoi ensimmäisen toimivan puhelimen. Vastaavan tyyppinen puhelin oli tosin esitelty jo vuonna 1860.
- 1887 Hertz: Heinrich Hertz osoitti kokeellisesti, että radioaaltoja voidaan lähettää ja vastaanottaa ja että radioaallot etenevät valon nopeudella.

⁴⁸ <http://mobilenewspedia.com/20-years-ago-launched-the-first-gsm-phone-the-nokia-1011/>

- 1890 Reikäkorttikone: Herman Hollerith kehitti reikäkorttikoneen eli korttistojen käsittelyä helpottavan sähkömekaanisen laitteen USA:n vuoden 1890 väestölaskentaa varten.
- 1892 Strowger: Ensimmäinen automaattinen, Almon Strowgerin kehittämä ja patentoima puhelinkeskus otettiin käyttöön Yhdysvalloissa.
- 1902 Marconi: Guglielmo Marconi onnistui vastaanottamaan ensimmäinen Atlantin yli lähetetyn varmennetun radiosignaalin.
- 1904 Diodi: Sir John Ambrose Fleming kehitti vuonna 1904 tyhjiöputkeen perustuvan diodin.
- 1906 Markov: Andrei Markov julkaisi artikkelin, jossa hän esittää jonoteorian kannalta olennaisen Markovin ketjun periaatteet.
- 1917 Erlang: A. K. Erlangin kirjoittama artikkeli julkaistiin Electroteknikerenlehdessä. Erlangin kaavalla voidaan laskea puhelujen estymisen todennäköisyys, kun tunnetaan tarjottu liikenne ja johtojen määrä.
- 1918 Enigma: Saksalainen insinööri Arthur Scherbius haki patenttia salauslaitteelle, joka koostui mekaanisesti pyörivistä salauskiekoista ja sähköisestä osasta, jolla varsinainen salaus tapahtui.
- 1919 Radio: Ensimmäiset säännölliset radiolähetykset aloitettiin Haagissa marraskuussa 1919.
- 1926 TV: Ensimmäinen TV-esitykseksi luokiteltava demonstraatio järjestettiin Lontoossa tammikuussa 1926.
- 1928 Nyquist: Harry Nyquist esitti teoreeman, että signaalista tulee ottaa näytteitä taajuudella, joka on vähintään kaksinkertainen signaalin suurimpaan taajuuteen verrattuna.
- 1936 Turing: Alan Turing kehitti teoreettisen mallin yleispätevälle tietokoneelle.
- 1940 Bombe: Englantilaiset saivat purettua sähkömekaanisella Bombe-laitteella Saksan ilmavoimien Enigma-viestejä.
- 1942 Lamarr: Hedy Lamarr kehitti George Antheilin kanssa taajuushyppelyyn perustuvan hajaspektritekniikan, joka on perusta nykyisille mobiiliradiotekniikoille kuten CDMA:lle.
- 1946 ENIAC: Ensimmäinen elektroninen yleiskäyttöinen tietokone saatiin toimintakuntoon. Sitä käytettiin pääasiassa sotilaallisiin sovelluksiin kuten ballistisiin laskutoimituksiin.

- 1947 Transistori: Walter Brattain ja John Bardeen kehittivät ensimmäisen transistorin Bellin laboratoriossa.
- 1948 Shannon: Claude Shannon julkaisi artikkelin *A Mathematical Theory of Communication*, joka loi perustan informaatioteorialle.
- 1949 Short Code: John Mauchlyn *Short Code* vuodelta 1949 oli ensimmäisiä (suhteellisen) korkean tason ohjelmointikielistä. Ohjelma piti kuitenkin kääntää joka kerta sitä ajettaessa, joten se oli huomattavasti hitaampi kuin konekieli.
- 1950 Hamming: Richard Hamming julkaisi artikkelin *Error detecting and error correcting codes*, *Bell System technical journal* –lehdessä 2/1950.
- 1956 TAT-1: Ensimmäinen puhelinliikennettä välittävä Atlantin alittava kaapeli. Alkuvaiheessa kapasiteetti oli 36 kappaletta 4 kHz puhelinyhteyttä.
- 1957 Fortran: Ensimmäinen FORTRAN-kääntäjä ja sen myötä ensimmäinen FORTRAN-versio ilmestyi huhtikuussa 1957.
- 1960 Baran: Paul Baran alkoi vuonna 1960 julkaista kirjoituksia, joissa esitettiin keskeisimmät periaatteet, joiden pohjalta Internet myöhemmin suunniteltiin.
- 1962 Telstar: Telstar 1 satelliitti laukaistiin kiertoradalleen heinäkuussa 1962. Sillä välitettiin mm. suoraa televisiokuvaa Yhdysvalloista Ranskaan, mutta se säilyi toimintakykyisenä vain kaksi kuukautta.
- 1965 Moore: Gordon Moore esitti arvionsa, että integroitujen piirien kapasiteetti (mitattuna transistorien määrällä) kaksinkertaistuu kahdessa vuodessa.
- 1969 ARPANET: Ensimmäinen sanoma ARPANET-verkossa lähetettiin lokakuussa 1969 UCLA:sta Stanfordin yliopistoon.⁴⁹
- 1971 ARP: Suomen ensimmäinen kaupallisesti toiminut matkapuhelinverkko (Autoradiopuhelin, ARP) aloitti toimintansa. Taajuusalue oli 150 MHz, joten yksittäisen tukiaseman kuuluvuusalue oli suuri.
- 1971 Intel 4004: Intel julkaisi ensimmäisen mikroprosessorinsa. Tärkeimmät ominaisuudet: 4-bittinen, 2300 transistoria, suurin kellotaajuus 740 kHz ja 46 käskyä.

⁴⁹ UCLA (University of California, Los Angeles) ja Stanford ovat yliopistoja Kalifornian osavaltiossa, Stanford sijaitsee lähellä San Franciscoa.

- 1977 Apple: Apple toi markkinoille ensimmäisen kuluttajille suunnitellun mikrotietokoneensa, Apple II:n.
- 1980 C++: Bjarne Stroustrup kehitti C++:n C-kielestä lisäämällä siihen muun muassa olio-ohjelmointiin liittyviä ominaisuuksia. Suurin osa käyttäjärjestelmistä perustuu C++ kieleen.
- 1981 NMT: Yhteispohjoismainen radiopuhelinverkko aloitti toimintansa lokakuussa 1981, Suomessa seuraavana vuonna. Alussa taajuusalue oli 450 MHz ja myöhemmin myös 900 MHz.
- 1981 IBM PC: IBM toi markkinoille henkilökohtaisen tietokoneen, josta tuli vallitseva mikrotietokoneiden arkkitehtuuri lähes kaikissa muissa paitsi Applen laitteissa ja pelikäyttöön tarkoitetuissa kotitietokoneissa.
- 1982 DX 200: Ensimmäinen yleiskäyttöisiin mikroprosessoreihin perustuva, digitaalinen DX 200 puhelinkeskus otettiin käyttöön Kokkolassa.
- 1983 TCP/IP: ARPANET siirtyi TCP/IP:n käyttöön vuoden 1983 alussa.
- 1988 Optinen: Ensimmäinen Atlantin alittava optinen kaapeli otettiin käyttöön. Kaapelin kapasiteetti oli 2 kertaa 280 Mbit/s.
- 1991 GSM: Ensimmäinen GSM-puhelu kaupallisessa verkossa käytiin heinäkuussa 1991 kun Harri Holkeri soitti puhelun Radiolinjan verkossa.
- 1991 WWW: Tim Berners-Lee postitti yhteenvedon [World Wide Web](#) (WWW) -projektista elokuussa 1991. Tämän jälkeen WWW oli julkisesti käytettävissä oleva palvelu Internetin yli.
- 1991 Linux: Linus Torvalds julkaisi ensimmäisen version Linuxista Usenetin kautta.
- 1994 Nokia 2100: Nokian ensimmäinen kansainvälinen menestys matkapuhelimissa. 2100-sarjan puhelinten myyntitavoite oli 400 000, niitä myytiin yhteensä 20 miljoonaa.
- 1998 Google: Larry Page ja Sergei Brin perustivat Google-yhtiön vuonna 1998. Yhtiö listautui pörssiin vuonna 2004.⁵⁰
- 2001 WDM: TAT-14 kaapelissa käytettiin aallonpituusmultipleksointia (WDM), joka mahdollisti 160 Gbit/s kapasiteetin yhdellä kuidulla ja 640 Gbit/s kapasiteetin koko kaapelilla.

⁵⁰ Altavista-hakupalvelu oli julkistettu jo vuonna 1995. Tämä on oiva esimerkki siitä, miten ensimmäinen markkinoille ehtinyt ei välttämättä pysty pitämään dominoivaa asemaansa uuden haastajan paineessa.

- 2002 3G: Ensimmäiset 3. sukupolven (3G) matkapuhelinpalvelut otettiin käyttöön Etelä-Koreassa vuonna 2002. Tosin jo edellisenä vuonna oli rakennettu toimivia 3G-verkkoja, mutta 3G puhelimia ei ollut tällöin vielä kaupallisesti saatavilla.
- 2004 Facebook: Facebook perustettiin vuonna 2004 ja se listautui pörssiin 2012.⁵¹
- 2006 Pilvi: Amazon aloitti ensimmäisenä pilvilaskentapalvelun ([cloud computing](#)) tarjoamisen.
- 2007 iPhone: Apple esitteli iPhone-puhelimen, joka muutamassa vuodessa muutti matkapuhelimien markkinat. Muutos merkitsi Nokian puhelimen valtakauden loppua, joka oli alkanut vuonna 1994 Nokia 2100 -puhelimien myötä.
- 2010 LTE: Ensimmäiset kattavat LTE ([Long Term Evolution](#)) palvelut aloitettiin Yhdysvalloissa vuonna 2010. Vaikka LTE:tä markkinoidaan 4G:nä, teknisesti se on edistynyt 3G-teknologia, joka parantaa erityisesti Internet-yhteyden laatua.
- 2016 AlphaGo: Google AlphaGo voitti Go-pelissä maailman parhaan pelaajan Lee Sedolin viiden ottelun sarjassa 4-1.

Entä mikä Suomen osuus informaatioalan kehityksessä on ollut? Nokian puhelimet (aikanaan) ja Linux ovat varmaan olleet kansainvälisesti tunnetuimmat saavutuksemme, unohtamatta peliteollisuuden tuotteita.⁵²

Ennustamisen sietämätön vaikeus

Edellä on kuvattu tietoliikenteen ja tietotekniikan historiaa. Entä mitä voimme sanoa informaatioteknologian kehityksestä seuraavien vuosien ja vuosikymmenien mittaan? Kysymyksen voi jakaa useampaan alakysymykseen: 1) Miten tiedonvälitykseen ja tiedonkäyttöön käytettävien laitteiden suorituskyky kasvaa? 2) Miten informaatiotekniset järjestelmät muuttuvat? 3) Miten tietotekniset palvelut ja niihin liittyvä liiketoiminta muuttuvat? 4) Miten tekniikan ja palveluiden muutokset vaikuttavat ihmisten elämään ja yhteiskuntaan? Nämä ovat isoja kysymyksiä, varsinkin käsiteltäviksi peruskurssilla. Kaikkia näitä ainakin sivutaan myöhemmissä osioissa, ja ainahan on mahdollista pohtia asioita myös itsenäisesti.

⁵¹ <http://www.theverge.com/a/new-devils-dictionary#facebook>

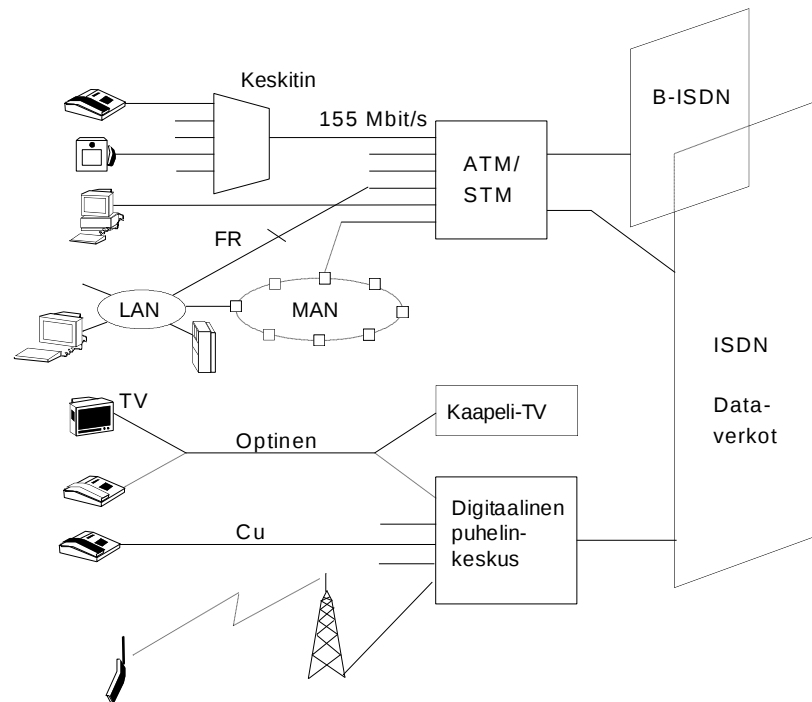
⁵² Hyvä yhteenveto koskien viimeistä kahtakymmentä vuotta on Suomen Digitalisoinnin Historia 1995–2015, erityisesti Yrjö Neuvon artikkeli ”Maailmankartalle osaamisella, tekemisellä ja innostuksella” ja Matti Rossin artikkeli ”Suomalainen menestysinfra.” <http://suomidigi.fi/#articles>

Tekniikalla on ollut taipumus kehittyä jatkuvasti ainakin viimeiset viisisataa vuotta. Informaatioteknologian osalta muutokset ovat joillakin aloilla olleet nopeita ja jopa hyp-päyksenomaista, kun taas joillakin lähinnä määrällisiä (eli kvantitatiivista). Joskus tapah-tuu suoranaisia teknisen sukupolven muutoksia. Sukupolven voidaan sanoa vaihtuvan sil-loin 1) kun laitteiden ja järjestelmien suunnitteluun ja operointiin tarvittava tietotaito muuttuu olennaisesti, 2) kun eri sukupolvien järjestelmien yhteensovittamista varten tarvi-taan erityisiä laitteita ja järjestelmiä ja 3) kun järjestelmän mahdollistamat ominaisuudet ja palvelut muuttuvat olennaisesti. Esimerkiksi muutos analogisesta digitaaliseen merkitsee kaikkia näitä; muutos tapahtui ensin kiinteän verkon puolella ja sitten matkapuhelinver-koissa. Se, miten Internetissä käytetty IP-teknologia on korvannut aikaisemmat tiedonväli-tysteknologiat, on toinen tyypillinen esimerkki sukupolvimuutoksesta.

Vaikka teknisten komponenttien kehittymistä voidaan melko luotettavasti ennustaa, jär-jestelmätasolla ennustaminen on vaikeampaa. Oikeastaan ainoa lähes varma ennuste on, että järjestelmissä tapahtuu olennaisia teknisiä muutoksia vähintään muutaman vuosikym-menen välein. Se mikä on vaikeaa, on ennustaa mikä seuraava järjestelmä tulee olemaan, esimerkkinä kuva 1.8. Siinä on esitetty vuoden 1995 näkemys televerkkojen rakenteesta 90-luvun lopulla. Kuva on otettu tätä kurssia vastaavan kurssin oppimateriaalista, seuraavin arvioin (suora lainaus):

Verkkotasolla kapeakaistaiset palvelut (puhelinverkko, ISDN ja dataverkot) ovat hallit-sevia ja erilaisten matkaviestimien osuus tilaajaliitännöistä tulee olemaan erittäin merkittävä. Laajakaistaisen ISDN:n kattavuus on rajoitettu ja se käyttää pääosin samoja siirto-järjestelmiä kuin kapeakaistainen ISDN. Suurin osa keskuksista on kapeakaistaiseen ISDN:ään tarkoitettuja, mutta osassa keskuksista tarjotaan myös laajakaistaista ATM-välitystekniikkaa.

Kotitilaajat liitetään ISDN-keskuksiin ja vain poikkeustapauksissa tarvitaan laajakais-taisia palveluja, jolloin liitântä voi tapahtua ATM-keskukseen. TV-kuvan jakelu kotitilaa-jille perustuu, yleisradiolähetysten lisäksi, pääosin erillisiin kaapeli-TV-verkkoihin. Kaapeli-TV ja kytkentäiset palvelut saattavat kuitenkin käyttää yhteisiä optisia tilaajajoh-toja.



Kuva 1.8. Ennuste vuodelta 1995 (alkuperäinen kuva ilman muutoksia): ”Televerkon rakenne 90-luvun lopulla”. Lyhenteet: ATM = **Asynchronous Transfer Mode**, B-ISDN = **Broadband ISDN**, ISDN = **Integrated Services Digital Network**, STM = **Synchronous Transfer Mode**, FR = **Frame Relay**, LAN = **Local Area Network**, MAN = **Metropolitan Area Network**, Cu = kupari.

Kuva 1.8 edusti aikansa vallitsevaa käsitystä siitä mihin verkot olivat menossa. Näkemys vastasi perinteisten puhelinoperaattoreiden ja tärkeimpien telealan laitevalmistajien uskomuksia ja tavoitteita. Huomaa myös, että kuva sisältää vain laatikoita ei pilviä, kuten nykyisin on tapana! Jos vastaavan kuvan olisi tehnyt eri taustan omaava henkilö, vaikka Internetin kehittämisessä aktiivisesti mukana ollut, kuvasta olisi tullut erilainen.⁵³ Nyt kuvassa Internet ei ole edes näkyvässä – tai ehkä se oli piilossa ”Dataverkot” -termin takana. Arvio matkaviestimisestä oli sentään oikean suuntainen, mutta kovin varovainen.

Sama ongelma koskee myös nykyisiä ennusteita: suunnan voi nähdä ehkä muutama vuosi eteenpäin, mutta luotettavasti ei kovin paljon pidemmälle. Suurimmatkin toimijat erehtyvät joskus pahasti, kun kehitystä pitäisi arvioida muutamaa vuotta pidemmälle (Nokian matkapuhelintoiminta Suomen kannalta varoittavana esimerkkinä).

TKK:n heikkovirtatekniikan professori Jaarli Jauhiainen onnistui ennustamisessa paremmin, sillä hän esitti vuonna 1958 luennollaan ”meidän tulee asettaa tavoitteeksi, että vuonna 1970 jokaisessa suomalaisessa kodissa on puhelin ja vuosituhannen vaihteessa jokainen suomalainen voi käyttää puhelinta ajasta, paikasta ja elintasosta riippumatta.”⁵⁴

⁵³ Osallistuin Internetin DiffServ-liikenteen hallinnan kehittämiseen vuosina 1997 – 2001. Näkemykseni verkoista ja niiden kehittämisestä muuttui tuona aikana oleellisesti.

⁵⁴ A. Parviala (toim.), *Jaarli Jauhiainen puhelinalan näkijä ja tekijä*, 2000 (myös kirjassa M. Sandelin, J. Partanen, *Nokian jalokivi Tarina suomalaisesta DX 200 puhelinkeskuksesta*, 2015).

Tavoite toteutui hämmästyttävän tarkasti. Tähän voidaan soveltaa Alan Kayn lausumaa: ”The best way to predict the future is to invent it.”⁵⁵ Toisen tunnetun lausuman mukaan meillä on taipumus yliarvioida muutoksia ja niiden vaikutuksia lyhyellä aikavälillä (esimerkiksi vuosi tai pari) mutta aliarvioida muutosten vaikutusta pitkällä aikavälillä (esimerkiksi kymmenen tai kaksikymmentä vuotta).

Ennustaminen on vaikeaa silloinkin kun tietoa on käytettävissä ja kokemusta alasta pitkältä ajalta.⁵⁶ Mikä informaatioteknologian tilanne on vuonna 2050, jää uuden sukupolven kehitettäväksi. Monessa suhteessa tapahtuu varmasti muutoksia, joita nyt emme osaa ennustaa. Voidaan toki olettaa, että tietojenkäsittelykapasiteetti kasvaa edelleen huimasti. Vaikeampaa on ennustaa, miten teknologiset muutokset vaikuttavat jokapäiväiseen elämään. Lisäksi jopa insinöörin on hyvä pitää mielessä, että teknologian historia on täynnä negatiivisia vaikutuksia ja rikottuja lupauksia.⁵⁷ Esimerkiksi erään USA:ssa vuonna 2013 tehdyn tutkimuksen mukaan 54 prosenttia vastaajista oli yrittänyt vähentää teknologisten välineiden osuutta ja suosia enemmän suoraa henkilökohtaista kanssakäymistä.⁵⁸ Kaikki alalla toimivat insinöörit ovat omalta osaltaan vastuussa siitä, että kehitettävä teknologia palvelee ihmisten oikeita tarpeita.

⁵⁵ Vuodelta 1971, katso esim. <http://www.smalltalk.org/alankay.html>

⁵⁶ Katso myös Andrew Odlyzkon lyhyt mutta valaiseva artikkeli: Technology predictions: Intelligence and brute force, *ON Magazine*, No. 4, 2009, <http://www.dtc.umn.edu/~odlyzko/doc/intelligence.brute.force.txt>. Yleisemmin ennustamisen vaikeudesta: <https://www.cbinsights.com/blog/big-compay-ceos-execs-disruption-quotes/> tai B. Evansin Asking the wrong questions http://ben-evans.com/benedictevans/2017/01/11/wrongquestions?utm_content=buffer281c4&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer ja I. Pestov: Worst Tech Predictions Of The Past 100 years, <https://medium.com/@ipestov/worst-tech-predictions-of-the-past-100-years-c18654211375#.lg1k50o5m>

⁵⁷ Katso esimerkiksi K. Albrecht: The Information's Broken Promises, *The Futurist*, March-April, 2014, <http://www.karlalbrecht.com/downloads/Albrecht-IR-BrokenPromises-WorldFutureSociety.pdf>

⁵⁸ Americans Spend 23 Hours Per Week Online, Texting, *BusinessNewsDaily*, July 02, 2013, <http://www.businessnewsdaily.com/4718-weekly-online-social-media-time.html>