

PETTERI JÄRVINEN

TAMMI

TEKOÄLY
JA MINÄ

IHMISENÄ TEKOÄLYN AIKAKAUDELLA

PETTERI JÄRVINEN

TEKOÄLY
JA MINÄ

IHMISENÄ TEKOÄLYN AIKAKAUDELLA



tammi

80 VUOTTA

HELSINKI



© Petteri Järvinen ja Tammi 2023

Kuvat: Petteri Järvinen

Tammi on osa Werner Söderström Osakeyhtiötä

ISBN 978-952-04-5757-0

Painettu EU:ssa

SISÄLLYS

ESIPUHE.....	9
1. DIGITALISAATIO.....	13
Proessorit ja transistorit.....	17
Muisti.....	26
Tiedonsiirto.....	30
Verkottuminen ja Metcalfen laki.....	34
Shakkilaudan jälkipuoliskolla.....	37
Digitalisaation vaikutuksia.....	39
2. MITÄ TEKOÄLY ON?.....	48
Älyä etsimässä.....	49
Tekoälyn lyhyt historia.....	53
Tietokone pelaa shakkia.....	62
Koneoppiminen.....	72
Moravecin paradoksi.....	83
Tekoälyä kansalle.....	84
3. TEKOÄLYN KYVYT JA RAJAT.....	86
Kuvien tunnistaminen.....	88

Puheen tunnistaminen	94
Kielen kääntäminen	96
Tekoäly sijoittajana.....	109
IBM Watson.....	111
Kielimallit.....	117
Mitä pitää osata?	132
4. ROBOTIAUTOT	140
Ajaminen – sehän on helppoa.....	141
Auto on pahis	144
Robottiautojen synty.....	147
Hypestä realismiin.....	155
Yllättäviä seurauksia.....	163
Tavarakuljetukset	166
Tuleeko robottiautoja koskaan?	172
Ilmojen halki	174
5. MINÄ VAI KONE?	176
Tekoälyn heikkoudet.....	177
Missä kone on parempi?.....	185
Missä ihminen on parempi?	188
Voiko tekoäly olla luova?	197
Tekoälyn huijaaminen.....	202
6. NUORENA HUIPULLA.....	211
Huipulta vain alaspäin.....	212
Viidennen asteen yhtälön arvoitus	216
John Nash	222
Einstein ja suhteellisuusteoria.....	224
Uusi kvanttimekaniikka.....	235

7. URAUTUMISEN VÄLTÄMINEN	241
Kokemuksen merkitys	242
Aiemmin opittu ohjaa ajattelua	248
Omat rutiinit.....	253
Pidä huolta aivoistasi.....	256
Aivojen hoito-ohjeita.....	261
”En jaksa aina oppia uutta”	268
Mallia eläimistä	272
Uusi tietojärjestelmä ei ole aina parempi	275
8. TYÖ DIGIAIKANA	278
Työn olemus	279
Kaksi muutostekijää.....	286
Esimerkkinä juristit.....	288
Robotiikka	291
Lähettilärobotit.....	297
9. TEKOÄLYN TULEVAISUUS.....	303
Kohti superälyä	305
Sähköaivot	315
Älyä ilman empatiaa	317
Kiltti tekoäly.....	319
VIITTEET	322
HAKEMISTO	327

ESIPUHE

Tekoäly kehittyy jättimäisin harppauksin. Samalla digitalisaatio siirtää palveluita verkkoon ja tekee laitteista älykkeitä. Moni kansalainen on syystäkin huolissaan. Miksi kaikki muuttuu koko ajan? Tuhoaako tietotekniikan kehittyminen työpaikat? Voiko tekoäly korvata minutkin? Mitä tekoäly oikeastaan on?

Uutiset kertovat päivittäin tekoällyn voittokulusta ja kaikesta siitä, mihin tekoäly jo nyt pystyy. Tämän kirjan näkökulma on hieman erilainen. Keskityn asioihin, joita tekoäly ei ainakaan vielä osaa tehdä. Analysoin koneen toimintaa, sen heikkouksia ja toisaalta ihmisen vahvuuksia. Kehittyneisyydestään huolimatta tekoäly on vain tietokoneohjelma, ja siksi ihmisellä tulee aina olemaan omat kilpailuvalttinsa. Niiden muistaminen on tärkeää, sillä uutisten huolestuttamat ihmiset tarvitsevat myös toivoa ja uskoa tulevaan.

On kuitenkin selvää, ettei digiaika päästä ihmistä helpolla. Tietotekniikan kustannukset suhteessa tehtyyn työhön laskevat koko ajan, kun taas ihmistyön kustannukset nousevat joka vuosi. Tuloksena on yhä suurempi tuottavuuskuilu ihmisen ja koneen välillä. Meidän on kyettävä muuttumaan, hylkäämään vanhentuneet toimintatavat ja oppimaan uutta, jotta kuilu ei revähdä liian isoksi.

Kun puhutaan tekoälystä, puhutaan yleensä koneoppimisesta. Juuri oppiminen on kaiken avain. On jotain filosofista siinä, että vuosikymmenten kompuroinnin jälkeen tekoäly lähti kunnolla kehittymään vasta kun insinöörit luopuivat yrityksestä opettaa konetta ja ohjelmoivat sen oppimaan itseksensä. Oman henkilökohtaisen kilpailukykyämme säilyttämiseksi meidän on pystyttävä samaan.

Kirjan ensimmäinen luku käsittelee prosessorien, muistien ja tiedonsiirron eksponentiaalista kehitystä, joka on ratkaiseva voima digitalisaation ja tekoälyn taustalla. Hieman yllättävästi kyse ei ole pelkästä prosessoritekniikasta. Vähintään yhtä tärkeää on ollut viestinnän kehittyminen. Ilman internetiä ja sen valtavaa sisältöarkistoa ei olisi myöskään nykyistä tekoälyä.

Toisessa luvussa esittelen lyhyesti tekoälyn historian virsitanpylväitä sekä tekoälyn teknisiä periaatteita. Miten on mahdollista, että kone pystyi jo vuonna 1997 voittamaan shakin hallitsevan maailmanmestarin, vaikka shakkia oli siihen asti pidetty inhimillisen älykkyyden mittarina? Osoittautuu, että vaikka kaikki puhuvat tekoälystä, älyn määrittelemineen on liki mahdotonta. Äly ilmenee monella tavalla, eikä tekoäly ole samanlaista kuin ihmisäly. Molemmille on paikkansa, jolloin ne täydentävät toisiaan.

Kolmannessa luvussa tekoäly esittelee ihmismäisiä kykyjään. Kone ymmärtää puhetta, tunnistaa valokuvissa esiintyviä kohteita sekä kääntää tekstiä kieleltä toiselle. Kielimallit antavat tekoälylle lähes ihmisen tasoisen kyvyn tuottaa uutta tekstiä ja käydä ymmärrettävää keskustelua. Silti neuroverkot ovat vain tietokoneohjelmia, aivoista innoituksen saaneita mutta monella tapaa rajoittuneempia.

Robottiautot ovat pitkään olleet tekoälykehityksen ytimessä, joten neljäs luku on omistettu autoille ja autoilun yhteiskunnallisille vaikutuksille. Vaikka auton ajaminen on pohjimmiltaan helppoa, rekkakuskien ei vielä pitkään aikaan tarvitse olla

huolissaan työpaikkojensa tulevaisuudesta. Autoilu kun on sosiaalista ja siten inhimillistä toimintaa.

Viides luku on ihmisen puolustuspuhe. Uutisissa ei juurikaan mainita tekoälyn heikkouksia ja rajoituksia. Inhimillisestä toiminnasta löytyy monia alueita, joilla ihminen tulee aina olemaan parempi. Koneen kanssa ei voi kilpailla sen ehdoilla vaan kehittämällä omia, inhimillisiä vahvuuksia.

Kuudennessa luvussa esittelen aivojen kehityskaaren. Lapsena opimme nopeasti uusia taitoja ja imemme tietoa kuin sieni. Nuoren aikuisen aivot ovat fysiologisen kehityksensä huipulla. Kultainen aika osuu noin 25–30 ikävuoteen. Sen jälkeen aivot alkavat korvata heikkeneviä kykyjä kokemuksella, mikä ennen riitti ihan hyvin. Digiajan muutoksissa sen sijaan on vaara, että aiempi kokemus kääntyy rasitteeksi ja suorastaan kehittymisen esteeksi.

Luvun lopussa perustelen, miksi kenenkään ei tarvitse hävetä aivojensa toiminnan muuttumista iän mukana. Tunnettujen matemaatikkojen ja Albert Einsteinin esimerkit osoittavat, että sama kehitys vaikuttaa myös suuriin neroihin.

Aivojen muuttuminen on väistämätöntä, mutta kehityksessä on useita puolia. Tärkeintä on estää itseä urautumasta niin, että pidämme tiedostamatta kiinni vanhoista tavoista. Seitsemännen luvun aiheena ovat keinot, joilla jokainen voi hidastaa kognitiivisten taitojensa taantumista ja säilyttää mielen avoimena uusille ideoille.

Kahdeksas luku käsittelee työpaikkoja. Niin kauan kuin on ollut koneita, on pelätty niiden vievän ihmisiltä leivän. Historia osoittaa, että kehitys on ollut pikemminkin päinvastainen. Tekniikan ansiosta maatalousyhteiskunta on vaihtunut teollisuusyhteiskunnaksi ja edelleen tietoyhteiskunnaksi. Muutamia vanhoja ammatteja on hävinnyt, mutta niiden vastapainoksi on syntynyt valtavasti uusia töitä ja uutta hyvinvointia.

Mikään tekoälykirja ei voi välttää kysymystä kehityksen vaarallisuudesta. Viimeisessä luvussa käsittelem tulevan

tekoälykehityksen riskejä. Ihmiskunta on aina syöksynyt innokkaasti ja varomattomasti uusiin tieteellisiin löytöihin sekä pyrkinyt hyödyntämään niitä kaupallisesti. Vahinkoja on sitten korjailtu mahdollisuuksien mukaan jälkikäteen. Tekoälyn uhkakuvista pitää herättää riittävästi keskustelua etukäteen, jotta pystyisimme tällä kertaa välttämään pahimmat virheet.

Olen kehitellyt tämän kirjan ajatuksia vuosien mittaan ja puhunut niistä erilaisille yleisöille. Rohkaisevan palautteen ansiosta sain lopulta koottua hajanaiset asiat kirjaksi, joka on järjestyksessään kolmaskymmeneskuudes. Kiitän erityisesti seuraavia henkilöitä: Anneli Karhula (Metsä Group), Riitta Tihinen (HAUS kehittämiskeskus), Helena Åhman (Hunting minds), Juuso Heinisuo (Kangasalan kaupunki), Kaija Pöysti (Aldanella) ja Juhani Pääkkönen (Aldanella).

Osa tämän kirjan ajatuksista poikkeaa valtavirrasta ja voi olla väärää. Olen insinööri, en psykologi. Toisaalta kirja osoittaa, että asioita voi – ja pitääkin – tarkastella myös oman ammattialueen ulkopuolelta. Toivottavasti kirja herättää lukijassa ajatuksia. Uuden oppiminen on Suomelle kansallinen tehtävä, eikä tekoälyn pelkääminen hyödytä ketään.

Lisätietoja ja mahdollisia sisällöllisiä korjauksia on osoitteessa www.petterijarvinen.fi. Siellä ovat myös toimivina nettilinkeinä kirjan viitteet, jotka löytyvät samassa muodossa kirjan sähkökirjaversiosta. Kaikki palaute on tervetullutta sähköpostilla osoitteeseen petteri@pjoy.fi.

Tämän kirjan teksti on kokonaan luomua.

Espoossa 28.1.2022–13.4.2023

13706/695

1.

DIGITALISAATIO

Muistatko vielä tavalliset A4-paperiarkit, joita joskus käytettiin tulostamiseen? Paperittoman toimiston myötä ne ovat hyvää vauhtia häviämässä, mutta muistikuvat ovat jäljellä.

Tavallisen A4-arkin paksuus on 0,1 millimetriä. Kymmenen arkin pinosta tulee kirjoituspöydälle yhden millimetrin korkuinen pino. Sata arkkiä nostaa pinon korkeuden senttimetriin. Metrin pinoa varten tarvitaan jo 10 000 arkkiä.

Paperien pinoaminen päällekkäin kuvaa lineaarista eli tasaista kasvua. Jokainen uusi arkki kasvattaa pinoa 0,1 millimetrin verran. Tarvitaan monta arkkiä päällekkäin ennen kuin ihminen alkaa kiinnittää huomiota pinon korkeuteen.

Askartelutöissä paperin olemus muuttuu aivan toiseksi. Kun A4-arkki taitellaan kahtia, sen koko pienenee A5-arkiksi mutta paksuus tuplaantuu 0,2 millimetriin. Uusi taitos puolittaa mitat A6-kokoon. Paksuus nousee 0,4 millimetriin.

Nyt on jo helppo nähdä, mihin toistuva paperin taitteleminen johtaa: eksponentiaaliseen kasvuun, joka karkaa nopeasti käsistä. Kasvunopeus ei ole tasaista, vaan itsekä kasvavaa. Askartelijalle sen vaikutukset ovat dramaattiset: paperinipusta tulee yhä paksumpi ja sen taitteleminen käy yhä työläämmäksi.

Asiaa kokeillessani pääsin tasolle kuusi. Arkki oli silloin kutistunut jo postimerkin kokoiseksi eivätkä käsivoimat enää riittäneet seitsemänteen taittamiseen.

Voimme kuitenkin jatkaa ajatusleikkiä. Kuvitellaan, että lähtötilanteessa arkki on paljon A4-mittoja suurempi mutta paksuus säilyy 0,1 millissä. Kuinka monta taitosta tarvitaan ennen kuin paperin paksuus ylittää kilometriin? Entä Maasta Kuuhun? Tai peräti Aurinkoon asti?

Pieni Excel-taulukko vastaa kysymyksiin nopeasti. Kahdeskymmenesneljäs taitos kasvattaa paksuuden 1678 metriin, jolloin ohitetaan kilometrin rajapyykki. Matkaa Kuuhun on 384 000 kilometriä, mikä tulee täyteen 42. taitoksella. Aurinko (149 miljoonaa kilometriä) jää kauas taakse 51. taitoksella.

Ihmisen on vaikea käsittää, miten millimetrin kymmenesosa kasvaa muutaman kymmenen taittamisen jälkeen astronomisiin mittoihin. Olemme tottuneet lineaarisiin muutoksiin, koska ympäristömme on täynnä niitä.

Aamulla kaadamme itsellemme kahvia, jolloin juoman pinta mukissa nousee tasaisesti. Syksyn vaihtuessa talveksi maahan alkaa sataa lunta. Toistuvat lumisateet kasvattavat kinoksia vaihtelevalla mutta kuitenkin likipitäen tasaisella vauhdilla, kunnes keväät kääntää ilmiön päinvastaiseksi.

Aika kuluu päivä kerrallaan, 24 tunnin erissä, kunnes 365 vuorokauden jälkeen on jälleen yksi vuosi takana. Elämä itsessään on tasaista, lineaarista liikettä tunnista, päivästä ja kuukaudesta toiseen.

Shakin keksijän palkkio

Paperia tunnetumpi ja paljon vanhempi esimerkki eksponentiaalisesta kasvusta liittyy shakin historiaan. Kerrotaan, että kun matemaatikko Sissa ben Dahir oli keksinyt pelin, se miellytti suuresti intialaista kuningas Shirhamia. Kuningas kysyi keksijältä, mitä tämä halusi palkkioksi.

Sissa esitti vaatimatonta: ”Arvon kuningas, jos voisin saada yhden vehnänjyvän ensimmäiselle ruudulle, kaksi jyvää toiselle, neljä kolmannelle, kahdeksan neljännelle ja niin edelleen, kunnes kaikki 64 ruutua ovat täynnä.”

Kuningas äimistyi pyynnöstä ja kysyi, oliko matemaatikko typerys. Ei, sitä Sissa ei ollut. Hän vain oivalsi aikalaisiaan paremmin, miten toistuva kaksinkertaistuminen vaikuttaa. Kuninkaalle sen merkitys valkeni vasta, kun hän alkoi toteuttaa toivetta. Vehnänjyvien määrä kasvoi niin suureksi, ettei koko valtakunnasta löytynyt tarpeeksi viljaa shakkilaudan peittämiseen.

Paperin taitteluun verrattuna shakkiesimerkissä luvut kasvavat vielä nopeammin, koska vehnänjyvien määrä kumuloituu. Ensimmäisen rivin viimeiseen, kahdeksanteen ruutuun tulee $2^7 = 128$ jyvää, mikä on yhtä paljon kuin edeltävien ruutujen määrä yhteensä ($1 + 2 + 4 + 8 + 16 + 32 + 64 = 127$). Kaikkiaan ensimmäisellä rivillä on siten 255 jyvää.

Eksponentiaalisen kasvun vuoksi aiemmilla ruuduilla ei kuitenkaan ole suurta vaikutusta lopputulokseen, sillä seuraavan ruudun jyvämäärä on aina yhtä suurempi kuin kaikkien aiempien ruutujen yhteensä.

Laudan puolivallassa, ruudussa 32, jyviä on pari miljardia (2 147 483 648), mikä on vielä kutakuinkin ymmärrettävä määrä. Sen jälkeen kasvu karkaa täysin käsistä ja viimeiseen 64. ruutuun tulee 2^{63} eli 9 223 372 036 854 775 808 jyvää. Potenssi on 63 eikä 64, sillä ensimmäisessä ruudussa on vain yksi jyvä ($2^0 = 1$).

Vehnänjyvää on käytetty vanhana painomittana, jolloin se vastasi 64,8 milligrammaa. Jyvien yhteismäärä laudalla (18 446 744 073 709 551 615) painaisi siten 1 195 miljardia tonnia, mikä ylittää koko maailman vehnäntuotannon noin 1500-kertaisesti. Edes nykyisellä tehoviljelyllä emme pystyisi toteuttamaan keksijän palkkiotoivetta kuin 53. ruutuun asti.

Tarina on ikivanha, sillä arabialainen oppinut Ibn Khallikan kirjasi sen muistiin jo vuonna 1256. Myös italialainen runoilija

Dante Alighieri (1265–1321) saattoi tuntea tarinan, sillä hän vertaa *Jumalaisen näytelmän Paratiisi*-osassa taivaan valojen määrää shakkilautaan:

Paloo niiden kukin seuras säen,
niin että olivat ne lukuisimmat
kuin kerrattuina ruudut shakkilaudan.

(SUOM. EINO LEINO, 1914.)

Sissa ben Dahir oli todellinen hahmo, joka eli joskus 400–600-luvuilla. Vehnänjyvien laskenta lienee puhdasta legenda, mutta ainakin tarina on havainnollinen ja jää hyvin mieleen.

Kertomuksesta on useita variaatioita. Joissakin shakkilaudalle pinotaan vehnän sijaan riisinjyviä. Joissakin tarina päättyy siihen, että kuningas palkitsee nenäkkääksi osoittautuneen keksijän teloittamalla tämän. Joka tapauksessa kakkosen potenssista seuraava eksponentiaalinen kasvu on paljon vanhempi ilmiö kuin tietokoneet, vaikka niissä se onkin binääriaritmetiikan ansiosta saanut ihan uuden merkityksen.

Ekspontiaalinen kasvu

Luonnossa eksponentiaalisia ilmiöitä voi esiintyä ainoastaan paikallisesti ja vain lyhyitä aikoja kerrallaan, sillä pitkäkestoisina ne johtaisivat katastrofiin. Australian kaniongelma on tästä tunnetuin esimerkki.

Englantilainen uudisasukas Thomas Austin oli ollut entisessä kotimaassaan innokas metsästäjä. Vuonna 1859 hän toi Australiaan 24 kania ja vapautti ne tiluksilleen Victorian osavaltiossa. Kanijahdin piti olla hauskaa urheilua, joka muistuttaisi entisestä kotimaasta. ”Ei muutama kani voi aiheuttaa mitään haittaa”, hän ajatteli.

Muutama kani ei olisikaan aiheuttanut haittaa, mutta valitettavasti muut tilalliset seurasivat Austinin esimerkkiä. Ei

aikaakaan, kunnes karmeat seuraukset alkoivat paljastua. Kanit lisääntyvät tehokkaasti, eikä Australiassa ollut niille luonnollisia vihollisia. Kanien määrä alkoi kasvaa eksponentiaalisesti.

Kymmenen vuotta myöhemmin metsästäjät saalistivat kaksi miljoonaa kania vuodessa, eikä sillä näyttänyt olevan mitään vaikutusta. Söpöistä kaneista oli tullut todellinen maanvaiva, sillä ne söivät viljelysadot ja luonnonvaraiset kasvit. Muutamassa vuosikymmenessä kanit levisivät koko mantereen alueelle.

Luonnon tasapaino edellyttää mekanismeja, jotka pysäyttävät liian nopean kasvun. Eksponentiaalinen kasvu muuttuu ensin lineaariseksi kasvuksi ja alkaa sitten hidastua, jolloin tuloksena on loiva S-käyrä. Digimaailmassa rajoja voi venyttää paljon pidempään kuin reaaliaimailmassa. Sen ansiosta meillä on digitalisaatio ja tekoäly.

PROSESSORIT JA TRANSISTORIT

Nuori insinööri nimeltä Gordon Moore työskenteli 1960-luvun alussa tutkimusjohtajana Fairchild Semiconductor -nimisessä elektroniikkayrityksessä, joka valmisti puolijohdeita teollisuuden tarpeisiin. Moore oli erityisen kiinnostunut uudesta tekniikasta, jolla neliötuuman kokoiselle piisirulle voitiin rakentaa useita transistoreita.

Transistorit ovat avainasemassa, sillä ne toimivat sähkön kulkua ohjaavina kytkiminä. Toisin kuin mekaaniset kytkimet, transistorit voivat avata ja sulkea virtapiirin miljoonia kertoja sekunnissa, eivätkä ne edes kulu käytössä.

Transistori on puolijohde, jossa sähkövirran kulkua voidaan ohjata toisella sähkövirralla. Transistorissa on kolme johdinta. Kun kantajohtimeen tuodaan sähköä, se avaa transistorin sisällä olevan portin, jolloin sähkö pääsee virtaamaan kahden muun johtimen (kollektori ja emitteri) välillä. Kun jännite poistetaan, portti sulkeutuu.

Ei kuulosta kovin ihmeelliseltä, mutta kun transistorien kolme johdinta yhdistetään sopivasti uusiin ja taas uusiin transistoreihin, saadaan aikaan loogisia peruspiirejä. Toimintaa ohjaava kantajohdin edustaa yhtä bittiä, joka voi saada arvon nolla tai yksi. Se ohjaa transistorista ulos saatavaa bittiä, joka puolestaan ohjaa seuraavaa transistoria ja niin edelleen.

Muutamman transistorin yhdistelmällä voidaan luoda loogiset peruspiirit, jotka ovat kaiken tietojenkäsittelyn perusta. Esimerkiksi OR-piiri lähettää eteenpäin arvon yksi, jos jompikumpi sen tulolinjoista on ykkönen, muutoin ulos lähtee nolla. AND-piiri lähettää ykkösen vain, jos molemmat tulolinjat ovat ykkösiä. NOR- ja NAND-piirit toimivat ulostulon suhteen käänteisesti. NOT kääntää bitin arvon ja XOR antaa ulos ykkösen vain, jos molemmat sisääntulot ovat joko nollia tai ykkösiä.

Siinä se. Näistä tietotekniikan atomeista voidaan rakentaa kaikki, mitä tietokoneilla ja älylaitteilla pystytään tekemään. Ja aivan kuten jokainen näkyvä esine sisältää valtavan määrän atomeita, yhteen mikropiiriin tarvitaan suuri määrä transistoreita ennen kuin sillä voidaan tehdä jotain hyödyllistä. Mikropiireissä ei tosin käytetä vanhanaikaisia transistoreita vaan valmistustekniikan mukaan nimettyjä MOSFETejä, mutta periaate on sama.

Mooren laki

Moorea pyydettiin kirjoittamaan mikropiirien kehitysnäkymistä *Electronics*-lehden juhlanumeroon. Huhtikuussa 1965 ilmestyneessä artikkelissa *Cramming more components onto integrated circuits*¹ hän arveli, että valmistusmenetelmien kehityksessä standardikokoiselle 1,6 neliösentin piisirulle mahtuvien komponenttien määrä kaksinkertaistuisi joka vuosi seuraavan kymmenen vuoden ajan.

Mooren kirjoittaessa artikkeliaan sirulle mahtui noin 50 komponenttia. Tasaisella kaksinkertaistumisella hän ennusti määrän kasvavan 65 000:een vuoteen 1975 mennessä. Yleensä

tekniikan ennusteet menevät pahasti pieleen, mutta tämä ennuste meni täysin nappiin. Kun aikaraja täyttyi, ennustetta alettiin kutsua Mooren laiksi.

Vuonna 1975 Moore arveli, että kaksinkertaistuminen voisi jatkua vuoteen 1980 asti, minkä jälkeen kehitys hidastuisi ja komponenttien määrä tuplaantuisi enää kahden vuoden välein.

Moore oli syntynyt onnellisten tähtien alla. Kesällä 1968 hän lähti Fairchildilta ja perusti kaverinsa kanssa uuden puolijohdeyhtiön, joka sai nimen Intel (yhdistelmä sanoista *integrated* ja *electronics*). Pc-tietokoneiden myötä Intelistä tuli prosessori-kehityksen edelläkävijä. Moore ansaitsi miljardien dollarien omaisuuden, josta hän teki lahjoituksia Piilaakson alueella yleishyödyllisiin hankkeisiin. Onnelliset tähdet tuikkivat hänelle loppuun asti. Hän kuoli maaliskuussa 2023 Havaijilla kypsässä 94 vuoden iässä.

Intelin toimitusjohtajana Moore piti huolen siitä, että hänen nimeään kantava laki piti paikkansa. Yhtiö pystyi tuplaamaan piisirulle mahtuvien transistorien määrän aina kahden vuoden välein. Helppoa se ei ollut. Kehitystyö vaati yhä suurempia tutkimus- ja tuotekehityspanoksia, mutta niihin oltiin valmiita, sillä markkinat suorastaan janosivat yhä tehokkaampia prosessoreita.

Piisirulle ehdettiin ensin tuhansia, sitten miljoonia ja lopulta miljardeja osia. Mooren laista tuli koko alaa ohjaava voima. Niin kauan kuin piiritekniikkaa voitiin kehittää yhä paremmaksi, alaan kannatti investoida. Saamallaan rahoilla insinöörit tuottivat yhä kehittyneempiä laitteita. Vuodesta toiseen asiantuntijat arvelivat, että Mooren laki pitäisi paikkansa ”ainakin vielä muutaman vuoden ajan”. Kehitystä ennustavasta laista oli tullut kehitystä ohjaava laki, joka toteutti itse itseään.

Väärinkäsityksiä

Mooren lakiin liittyy monia väärinkäsityksiä. Yksi niistä on lain yhteys tietokoneiden tehokkuuteen. Transistorien määrän tuplaantuminen ei tarkoita, että teho automaattisesti kaksinkertaistuisi. Se mahdollistaa kuitenkin yhä nopeampien koneiden valmistamisen, sillä uusia transistoreita voidaan käyttää prosessointia nopeuttavana välimuistina ja yhä kehittyneempinä käskyinä, jotka käsittelevät isompia bittimääriä ja tekevät aiempaa monimutkaisempia operaatioita yhdellä kertaa. Tämä kaikki heijastuu epäsuorasti nopeuteen.

Itse asiassa vuoden 1965 artikkeli ei edes käsitellyt transistorien enimmäismäärää vaan valmistuksen optimointia. Piisirun käsittely vaatii äärimmäistä tarkkuutta ja absoluuttisen puhtaita tuotantotiloja. Tehtaassa pienikin piikiekolle eksyvä hiukkanen riittää tekemään koko erästä käyttökelvottoman. Mitä tiheämmin komponentteja pakataan, sitä pienempi on saanto eli virheettömien sirujen osuus. Mooren artikkeli käsiteli valmistajan kannalta optimaalista saantoa.

Teho liittyy komponenttien määrään myös toisella tavalla. Mitä enemmän osia, sitä enemmän ne kuluttavat sähköä toimiessaan. Osa sähköstä muuttuu lämmöksi ja kuumentaa piisirua, joten prosessoria on jäähdytettävä. Jokainen on huomannut, miten älypuhelimet ja läppärit lämpenevät käytössä. Paljon suoritustehoa vaativa käyttö, kuten videoeditointi tai pelaaminen, saa pöytäkoneen tuulettimen hurisemaan äänekäästi.

Prossessorin ytimessä

Edes tekniikan maailmassa ei voi olla rajatonta kasvua, sillä lopulta fysiikan rajat tulevat vastaan. Prossessorien transistorit ovat jo käsittämättömän pieniä. Niitä mahtuu yli sata miljoonaa kappaletta yhden neliömillimetrin pinta-alalle.



MITEN IHMINEN SELVIÄÄ TEKOÄLYN AIKAKAUDELLA?

Avartava ja koukuttava kirja tekoälystä, aikamme tärkeimmästä teknologiasta, ja sen vaikutuksista työelämään, ihmisyyteen ja uuden oppimiseen.

Digitalisaatio ja tekoäly mullistavat elämäämme kaikilla tasoilla. Koneet ymmärtävät puhetta, kääntävät kieltä, voittavat meidät shakissa, kykenevät luovuuteen ja pystyvät keskustelemaan ihmismäisesti. Petteri Järvinen johdattaa lukijansa tekoälyn maailmaan ja osoittaa, että keinotekoisella älyllä on omat rajoituksensa. Ihmisen työllä ja osaamisella tulee aina olemaan paikkansa, kunhan pidämme huolta uuden oppimisesta ja kehitämme omia, ihmiselle tyypillisiä vahvuuksia.



9 789520 457570

www.tammi.fi

61

ISBN 978-952-04-5757-0