

hyväksymispäivä arvosana

arvostelija

Analogiatietokoneet

Jari Suominen

Helsinki 19.01.2005

Seminaarityö: Tietojenkäsittelytieteen historia

HELSINGIN YLIOPISTO

Tietojenkäsittelytieteen laitos

Sisältö

1 Johdanto.....	1
2 Laitteisto.....	2
3 Ohjelmointi analogiatietokoneella.....	5
4 Analogiatietokoneiden historiaa.....	7
5 Analogiatietokoneita Suomessa.....	9
6 Yhteenveto.....	11
Lähteet.....	12

1 Johdanto

Analogiatietokoneiden¹ perusidea on ratkaista ongelma muodostamalla siitä alkuperäisen tilanteen kanssa analoginen malli hyödyntämällä mekaanisia tai elektronisia ilmiöitä. Tämä lähestymistapa poikkeaa huomattavasti digitaalisten tietokoneiden peruseräistä. Tässä tutkielmassa keskitymme elektronisiin analogiatietokoneisiin. Niitä käytettiin lähinnä differentiaaliyhtälöisen ratkaisemiseen ja joissakin lähteissä niitä kutsutaankin *elektronisiksi differentiaalianalysoitsijiksi* (engl. *electronic differential analyzer, EDA*) [Hau71, s. 2]. Vaikka elektroniset analogiatietokoneet ovat ainoastaan yksi analogiatietokonetyyppi, tarkoitetaan analogiatietokoneella tyypillisesti juuri edellämainitun tyyppin konetta. Elektroniset analogiatietokoneet eivät olleet digitaalitietokoneiden esiasteita vaan toinen tietokoneiden kehityslinja, joka kehitettiin samanaikaisesti digitaalikoneiden kanssa.

Ulkoisesti vanhanaikaista puhelinvaihdokeskusta muistuttava Analogiatietokone koostuu joukosta laskentapiirejä. Tietokone ohjelmoidaan kytkemällä laskentapiirejä toisiinsa kytkentäkaapeleilla, ja asettamalla muuttujien kertoimia potentiometreillä. Muuttujien arvot syötetään koneeseen sähköjännitteinä ja tulokset luetaan erilaisilla jännitemittareilla. Olennaisesti analoginen tietokone eroaa digitaalisesta tietokoneesta siten, että laskentaa suoritetaan aidosti rinnakkaisesti ja että muuttujien arvot ovat jatkuvia. Rinnakkaisuus oli analogiatietokoneiden selkeä valtti digitaalisia tietokoneita vastaan, sillä laskettavan yhtälön monimutkaisuus ei periaatteessa vaikuta laskenta-aikaan.

Analogiatietokoneita valmistivat kymmenet yritykset maailmanlaajuisesti [Cow05]. Tietokoneiden koko vaihteli kirjoituskoneen kokoisesta opetuskoneesta aina kokonaisen seinän tai huoneen täyttävään koneeseen. Analogisten tietokoneiden peruselementtien ollessa käytännössä samoja, eroavat eri koneet toisistaan lähinnä laskentapiirien määrien sekä laskentatarkkuuden suhteen.

Analogiatietokoneita suunniteltiin ja käytettiin Suomessakin. Jo 1950-luvun alussa rakennettiin Teknillisellä korkeakoululla pientä analogiakonetta. 1960-luvulla ostettiin Suomeen myös valmiita koneita. Yksi näistä laitteista oli Helsingin yliopiston

1 Analogiatietokoneista on käytetty myös nimityksiä analogialaskin [Kiv66], analogialaskukone [Kiv63], tai yksinkertaisesti analogiakone [Var69]. Termien kirjo selittyy sillä, että kutsumanimi *tietokone* vakiintui suomenkieleen vasta 1960-luvulla [Suo03, s. 48]. Analogiatietokone on suora käänös englanninkielisestä termistä *analog computer*, mutta suomenkielen terminä se ei ole täysin johdonmukainen, sillä tietokoneella tarkoitetaan nykyään nimenomaan digitaalista, varastoituun ohjelmaan perustuvaa *matematiikkakonetta*.

ydinfysiikan laitokselle hankittu, työpöydän kokoinen Electronic Associates Incorporationin valmistama Pace TR-48.

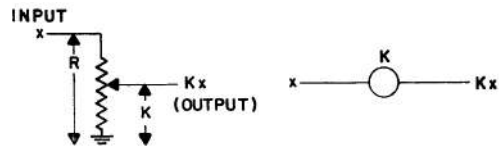
Analogiset tietokoneet ovat jääneet vähälle huomiolle nykyisessä historiankirjoituksessa. Tämä selittyy osaltaan sillä, ettei niillä ole juurikaan yhteistä digitaalisten tietokoneiden kehityslinjan, jonka perillisiä kaikki nykyään käytetyt tietokoneet ovat, kanssa. Tämä tutkielma keskittyy analogiatietokoneisiin aikavälillä 1940-70-luku, jolloin ne eivät vielä olleet täysin digitaalisten tietokoneiden syrjäyttämiä.

2 Laitteisto

Analogisten tietokoneiden peruseräite on rakentaa alkuperäistä ongelmaa vastaava sijaiskytkentä elektroniikkakomponenteista. Yleisesti kahta eri periaatteella toimivaa järjestelmää, jotka tuottavat vakiokertoimia tai yksiköitä lukuunottamatta samanlaiset matemaattiset kuvaukset, voidaan kutsua toistensa analogioiksi [Hau71, s. 1]. Jos tarkastellaan esimerkiksi yksinkertaista massasta, jousesta ja vaimentimesta rakennettua mekaanista järjestelmää, on induktanssista, kapasitanssista ja resistanssista muodostuva sähköpiiri täysin analoginen sen kanssa, ja molempia piirejä voidaan kuvata toisen asteen differentiaaliyhtälöllä.

Analogisista tietokoneista puhuttaessa tietokoneohjelmaksi käsitetään kaavio, jonka mukaisesti koneen laskentaelementit kytketään toisiinsa [Hau71, s. 2]. Tämä poikkeaa oleellisesti digitaalisten tietokoneiden ohjelmista, jotka koostuvat loogisten operaatioiden sekvensseistä. Analogisten tietokoneiden laskentaelementit voidaan jakaa lineaarisiin ja epälineaarisiin piireihin. Lineaaristen piirien suorittamat operaatiot ovat vakiolla kertominen, vastaluvun ottaminen, yhteenlasku ja integrointi. Epälineaarilla piireillä suoritetaan esimerkiksi kahden muuttujan kertominen ja jakaminen toisillaan. Lisäksi esimerkiksi funktiogeneraattorit olivat tyypilliseen analogiakonekokoontaan kuuluvia laskentapiirejä [Hau71; KoK56].

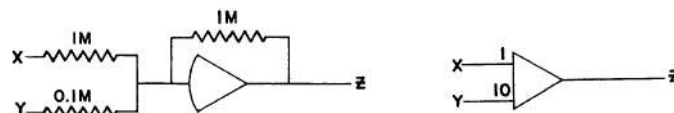
Linearisista operaatioista yksinkertaisin, vakiolla välillä $[0..1]$ kertominen, suoritetaan käyttämällä potentiometriä (Kaavio 1). Tällöin käytettävän potentiometrin vastuksen toinen pää on maadoitettu.



Kaavio 1: Potentiometrin kytkentä ja kaaviomerkintä

Mikäli halutaan kertoa muillakin luvuilla, käytetään analogiakoneiden peruselementtiä, operaatiovahvistinta. Myös yhteenlasku ja integrointi perustuu operaatiovahvistimen käyttöön. Operaatiovahvistin on useasta vahvistimesta rakennettu piiri, joka on tyypillisesti integroitu fyysisesti omaksi komponentikseen [AKS02, s. 175]. Operaatiovahvistimella on kaksi sisääntuloa: kääntävä ja ei-kääntävä, sekä yksi ulostulo. Perusideaan operaatiovahvistin on erotusvahvistin, jolla vahvistetaan sisäänmenojen jännite-eroa. Analogiatietokonesovelluksissa käytetään yleistä kytkentätapaa, negatiivista takaisinkytkentää, jossa vahvistimen ulostulo kytketään vastuksen tai kondensaattorin välityksellä negatiiviseen sisääntuloon. Operaatiovahvistimien sisääntulojen impedanssi on mahdollisimman suuri, jolloin ne eivät juurikaan kuormita niihin kytkettyä piiriä ja aiheuta näin mittausvirheitä.

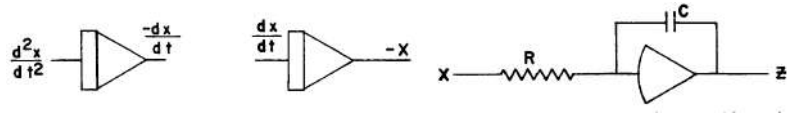
Yleinen vakiolla kertominen suoritetaan negatiivisella takaisinkytkennällä yhdistämällä operaatiovahvistimen ulostulo vastuksen välityksellä kääntävään sisääntuloon. Negatiivinen takaisinkytkentä kääntää aina signaalin, jolloin ulostuloon saadaan suoritettun operaation lopputuloksen vastaluku. Lopullisen tuloksen saamiseksi operaatiovahvistimen signaali on ajettava toisen operaatiovahvistimen läpi.



Kaavio 2: Summausvahvistimen kytkentä ja kaaviomerkintä.
 $Z = X + 10Y$

Yhteenlasku perustuu vakiolla kertomisessa käytettävään summausvahvistimeen (Kaavio 2). Analogiakoneiden kokoonpanoihin saattaa kuulua operaatiovahvistimia, joihin käyttäjä voi rakentaa halutun kytkennän ja näin esimerkiksi halutut kertoimet täysin vapaasti. Tyypillisesti varsinaiset yhteenlaskupiirit sisältävät useampia sisääntuloja joiden kertoimet on valmiiksi määrätty: tavallisesti osa sisääntuloista on painottamattomia (kerroin on yksi) ja osia on painotettu kymmenellä. Tällöin yhtä suuremmilla luvuilla kertominen suoritetaan käyttämällä ensin summausvahvistinta

kertomaan muuttuja haluttua suuremmalla vakioarvolla, ja tämän jälkeen vaimentamalla saatu arvo potentiometrin avulla.

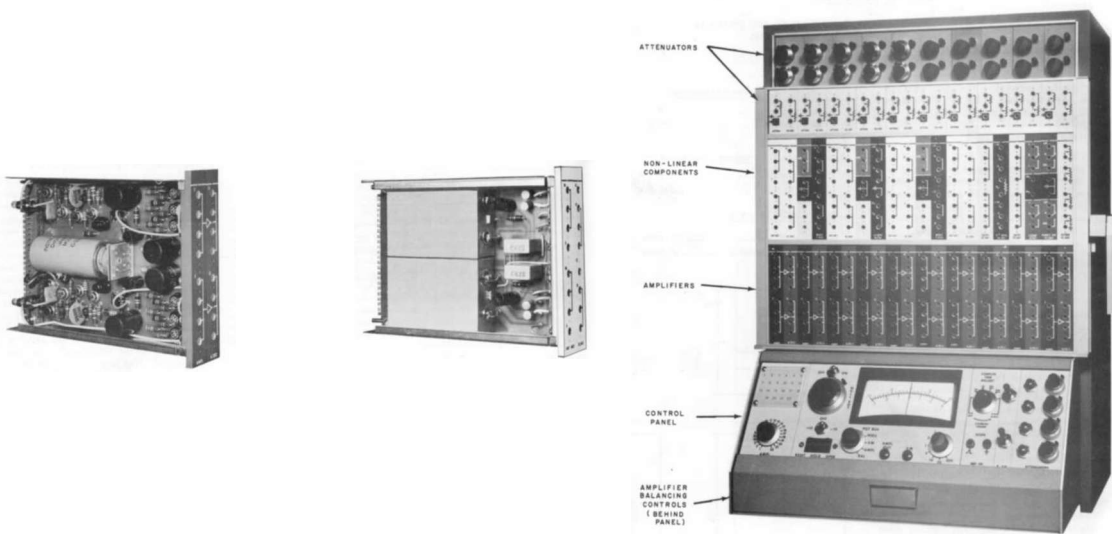


Kaavio 3: Integrointi analogialaskimella: Kaavio ja kytkentä

Integrointipiirissä negatiivinen takaisinkytkentä tehdään kondensaattorin läpi (Kaavio 3). Integrointipiireissäkin on tyypillisesti useampia eri kertoimin painotettuja sisääntuloja vastaavasti kuin summausvahvistimissakin. Integrointipiirin toteuttama yhtälö voidaan tällöin kirjoittaa muodossa:

$$Y = \int (X_1 + X_2 + \dots + X_n) dt - C .$$

Fyysisesti eri piirit on rakennettu omaan koteloonsa, jotka on asennettu tietokoneen räkkiin, jolloin näkyville jää ainoastaan modulin paneeli, johon kytkennät tehdään (kuva 1).



Kuva 1: Vasemmalta: Kaksois-summausvahvistin 6.282, Integroija 12.263 ja EAI Pace TR-10, johon edellä mainitut modulit on asennettu [EAI].

Modulit ovat sisäisesti yhteydessä tietokoneen ohjauspaneeliin, jonka avulla voidaan esimerkiksi asettaa moduleiden operaatiovahvistimet laskennasta riippuen joko RESET,

SET, HOLD ja OPERATE-tiloihin laskennan vaiheesta riippuen. Myös integroijien toimintanopeuteen voidaan vaikuttaa keskitetysti ohjauspaneelin välityksellä.

Laskennan tulosten lukemista varten kehitettiin useita erilaisia laitteita kuten jännitemittarit, oskilloskoopit ja erilaiset plotterit. Valittava tulostinlaite määräytyy laskutehtävän lisäksi myös sillä, onko tietokone niin sanottua hidasta (*engl. "slow", "long-time", "one-shot"*) tyyppiä [ToK62, s. 1; KoK56, s. 4], vai toistavaa (*engl. "repetitive", "high-speed"*) tyyppiä. Ensinmainittu laskee yhtälön ainoastaan kerran ja kuluttaa tähän aikaa joitakin sekunteja. Tällöin tulokset kannattaa tulostaa kirjoittimilla. Toistavat koneet puolestaan laskevat yhtälöä hyvin nopeasti, käyden arvojoukkoa läpi yhä uudestaan kymmeniä kertoja sekunnissa, jolloin tulosten lukemiseen voidaan käyttää oskilloskooppia tai vastaavia laitteita. Toistavan konetyypin laitteet ovat hitaan tyyppin laitteita monimutkaisempia rakentaa, mutta tekniikan kehittyessä 1960-luvulle siirryttäessä alkoivat ne vähitellen yleistyä.

3 Ohjelmointi analogiatietokoneella

Analogiatietokone ohjelmoidaan kytkemällä laskentapiirit ratkaistavaa ongelmaa vastaavan ohjelmakaavion mukaisesti. Tehtävän luonteesta riippuen voidaan käyttää suoraa tai epäsuoraa ratkaisua [JaL70, s. 6]. Kokonaista systeemiä voidaan myöskin simuloida analogiakoneella, jolloin analogiakoneeseen rakennetaan olemassa olevaa systeemiä vastaava fysikaalinen malli. Ohjelmointi jakautuu useaan eri vaiheeseen [Ric72, s. 22]. Aluksi luodaan matemaattinen malli tutkittavasta ilmiöstä. Tämän jälkeen suunnitellaan tarvittava kytkentä, minkä jälkeen skaalataan muuttujat siten, että ne pysyvät analogiatietokoneen jänniteskaalassa. Lopuksi rakennetaan varsinainen kytkentä tietokoneeseen.

Klassinen esimerkki epäsuorasta ratkaisusta on jousi-massa-vaimennin-systeemiä kuvaavan toisen asteen differentiaaliyhtälön ratkaiseminen. Edellämainitun kaltaisen ongelman ratkaisussa käytetään niin sanottua bootstrap-menetelmää (*saappaanraksi*)², jossa lähdetään johtamaan yhtälöä tyhjästä. Menetelmän vaiheet ovat

2 Termin *bootstrap* käyttö tietojenkäsittelyn yhteydessä väitetään useilla internet-sivustoilla pohjautuvan Paroni von Münchhausenin (1737-1794) seikkailuun, jossa hän nostaa itsensä ja hevosensa suosta (tai järven pohjasta) saappaanraksistaan. Kuitenkaan Rudolph Erich Raspen (1720-1797) alkuperäisessä kirjassa, *The Surprising Adventures of Baron Munchausen* (1785), ei kyseistä seikkailua tai sen variaatiota ole, joten viittaukset nimenomaan tähän kirjaan ovat virheellisiä. Seikkailuista on kuitenkin kirjoitettu useita versioita, joista ainakin Erich Kastnerin versiossa seikkailu mainitaan - kuitenkin sillä erotuksella, että Paroni suorittaa noston hiuksistaan.

seuraavat [Ric72, s. 27]. Aluksi johdetaan systeemistä differentiaaliyhtälö ja ratkaistaan yhtälö sen korkeimman derivaatan suhteen. Seuraavaksi integroidaan derivaatat, jolloin saadaan yhtälön matalamman asteen derivaatat. Tämän jälkeen syötetään matalamman asteen termit sopiviin komponentteihin yhtälöiden mukaisesti, jolloin saadaan aikaan korkein derivaatta, jolloin kehä voidaan sulkea.

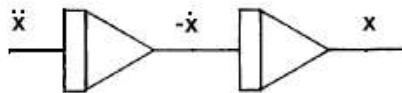
Massa-jousi-vaimennin-systeemiä vastaava differentiaaliyhtälö voidaan kirjoittaa muodossa:

$$a \ddot{x} + b \dot{x} + c x = 0 ,$$

jossa \ddot{x} tarkoittaa x :n toista derivaattaa. Kun yhtälö ratkaistaan sen korkeimman derivaatan mukaan, saadaan:

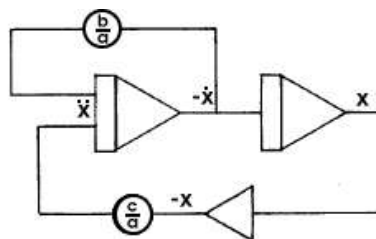
$$\ddot{x} = -\frac{b}{a} \dot{x} - \frac{c}{a} x .$$

Tämän jälkeen oletamme \dot{x} :n olevan tiedossa ja integroimme sen kahdesti ketjussa, jolloin saamme selville $-\dot{x}$:n ja x :n (Kaavio 4).



Kaavio 4: Matalamman asteen derivaattojen johtaminen

Seuraavaksi kytketään $-\dot{x}$ potentiometriin, jossa se kerrotaan b/a :lla. Tämä kytketään edelleen ensimmäisen integraattorin sisään tuloon, jolloin \ddot{x} on puoliksi johdettu. Vastaavasti x kerrotaan c/a :lla, mutta lisäksi se on kerrottava -1 :llä. Näin saadaan kaaviossa 5 esitetty ohjelmakaavio.



Kaavio 5: Yksinkertaisen massa-jousi-vaimennin järjestelmän ohjelmakaavio

Ohjelmakaavion suunnittelu on ohjelmoinnin helpompi vaihe. Signaalin voimakkuuksien sekä laskennan keston skaalaus ovat huomattavasti haastavampi

tehtävä [Ric72, s. 31; Lan00, s. 17]. Koska analogiakone käsittelee jännitteitä ainoastaan tietyllä arvovälillä, on signaalien voimakkuudet säädettävä siten, että signaali pysyy tällä alueella, sillä muutoin signaali kompressoituu maksimiarvon saavutettuaan. Laskentapiirit ovat myöskin suunniteltu tietylle taajuusalueelle, jonka ulkopuolelle jouduttaessa pitää laskentaa skaalata ajan suhteen.

Vaikka analogiakoneiden ohjelmointi voi digitaalisiin tietokoneisiin tottuneille vaikuttaa vaikeasti lähestyttävältä, oli yksi tyypillisistä perusteluista analogiakoneiden käytön puolesta nimenomaan ohjelmoinnin intuitiivisuus [KoK56, s. 6]. Koska analogiaohjelma toimii mallina, joka yhdistää matemaattiset funktiot ja fyysisen maailman, voi tutkijan olla helpompi sisäistää tutkittava ilmiö kuin digitaalisten tietokoneiden tapauksessa, missä ohjelma on pilkottava lukuisiin peräkkäisiin operaatioihin. Kun analogiaohjelma on kytketty, on ilmiötä myöskin mahdollista interaktiivisesti tutkia säätämällä eri parametreja ja seuraamalla niiden vaikutusta lähes tai täysin reaaliajassa. Nykyään myös digitaalisissa koneissa on riittävästi laskentatehoa edellämainittujen toiminnallisuuksien toteuttamiseksi, mutta tilanne oli toinen vielä 1950-, 1960- ja jopa 1970-luvuilla.

4 Analogiatietokoneiden historiaa

Erilaisia analogisia laskentamenetelmiä ja -laitteita on kehitetty antiikin ajoista lähtien [Tok62, s. 1]. Ensimmäisenä varsinaisena analogiatietokoneena voidaan pitää laskutikkua, joka kehitettiin 1600-luvun alussa [Jac60, s. 3]. Myös useita muita mekaaniseen tai graafiseen esitykseen perustuvia laskimia on kehitetty, joista tunnetuimpia on Vannevar Bushin (1890-1974) mekaaninen differentiaalianalysaattori (1927), joka perustui pyörivään levyyn ja sen päällä pyörivän pyörän pyörimän matkan mittaamiseen³[Sco70, s. 5]. Myös useita rajattuihin tehtäviin erikoistuneita elektronisiin ilmiöihin perustuvia laitteita kehitettiin 1920- ja 1930-luvuilla, mutta yleiskäyttöisen elektronisen analogiatietokoneen toteuttamiseen johtava kehitys alkoi toisen maailmansodan aikana.

Yleiskäyttöiseen analogiatietokoneeseen johtava kehitys jatkui toisen maailmansodan aikana, ja elektroniikkakomponentteja kehitettiin yhä kestävämmiksi ja

3 Muita analogisia laskukoneita olivat muun muassa nomogrammi (*engl. nomogram*) (1791), planimetri (*engl. planimeter*) (1814), harmonisten analysaattori (*engl. harmonic analyzer*) (1876) ja integrafi (*engl. integrator*) (1878).

tarkemmiksi. Tärkein harppaus oli operaatiovahvistimen keksiminen ja kehittäminen [Jac60, s. 4]. Vuonna 1947 operaatiovahvistimien vahvistus pystyttiin tekemään suhteellisen suureksi ja sisääntulo- ja ulostuloimpedanssit puolestaan tarpeeksi pieneksi, jotta suhteellisen tarkka yleiskäyttöinen elektroninen analogiakone pystyttiin rakentamaan. Vähitellen koneiden tarkkuutta, täsmällisyyttä ja käytettävyyttä parannettiin ja koneiden koko kasvoi 20 vahvistimen koneista jopa 1000 vahvistimen koneisiin. Analogiakoneita rakennettiin aluksi putkitekniikalla, mutta transistoreiden kehittymisen myötä 1950-luvun alkupuolella korvattiin elektroniputket vähitellen niillä.

Hitaita ja toistavia koneita kehitettiin rinnan 1940-luvulta lähtien. Hitaan tyyppin analogiakoneperheitä olivat muun muassa Reeves Instruments Incorporationin REAC (1948), Electronic Associatesin PACE⁴, Beckman Instruments Incorporationin Berkeleyn osaston EASE ja Goodyearin GEDA (1949) [Cow05; Tok62, s. 2]. Ensimmäisiä toistavia analogiakoneita oli George A. Phillbrick Research Incorporationin 1940-luvun lopulla markkinoima kone, joka oli kuitenkin melko epätarkka. Hitaan tyyppin koneiden etuina olivat esimerkiksi keskitetty kytkentäpaneeli ja suurempi tarkkuus, mikä toi niille merkittävän markkinaedun toistavan tyyppin koneisiin nähden, joita rakennettiin lähinnä yliopistoissa ja tutkimuskeskuksissa⁵. G.P.S. Instrument Incorporation ja Computer System Incorporation esittelivät ensimmäiset kaupallisesti saatavilla olevat toistavat analogiatietokoneet 1950-luvun lopulla. Pian tämän jälkeen myös hitaiden analogiakoneiden valmistajat rupesivat panostamaan toistavien koneiden suunnitteluun ja valmistukseen.

Seuraava kehitysvaihe oli niin sanottujen hybridijärjestelmien yleistyminen [Hau71; Kok64]. Varhaisissa hybridijärjestelmissä lisättiin analogiakoneisiin täysin analogisten moduleiden rinnalle digitaalisia moduleita [KoK64, s. 373]. Lisäämällä kokoonpanoon komparaattoreita ja digitaalisia logiikkapiirejä voitiin analogiakoneisiin liittää muistia sekä saatiin aikaan mahdollisuus ohjata laskentaa automaattisesti. 1970-luvulle tultaessa oli kehitys johtanut hybridijärjestelmiin, joissa analogiakonetta ohjattiin kokonaisella digitaalitietokoneella. Tällä pyrittiin yhdistämään molempien konetyyppien hyvät puolet. Tyypillisessä sovelluksessa analogialaskimella ratkaistaan

4 REAC ja PACE koneperheiden kohdalla ei luotettavaa julkistamisvuotta ole saatavilla olevassa lähdemateriaalissa mainittu. Molempien perheiden ensimmäiset koneet ovat kuitenkin olleet olemassa 1950-luvun puolivälissä [KoK56, s. 401].

5 Toistavan tyyppin analogiatietokoneita rakennettiin 1950-luvulla muun muassa Massachusetts Institute of Technologyssa, Boris Kidrich Institutessa Belgradissa ja Technical Facultyssa Darmstadtissa.

ongelmassa esiintyvät differentiaaliyhtälöt ja digitaalikoneella suoritetaan esimerkiksi monimuuttujafunktioiden ja viiveiden generointi [Kos72].

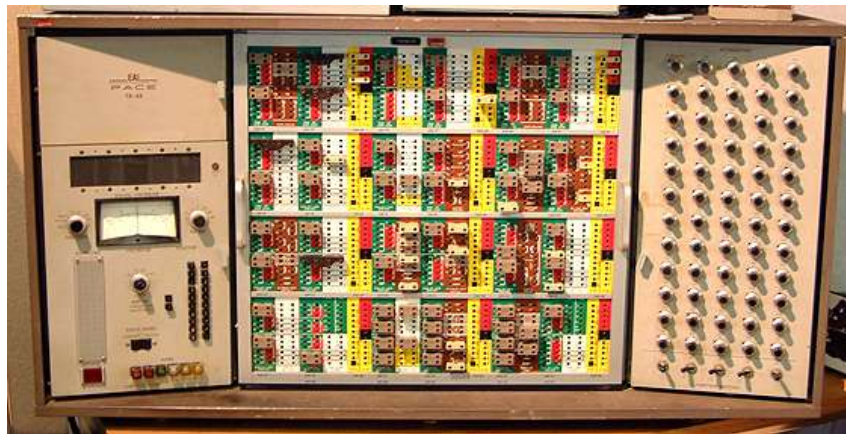
5 Analogiatietokoneita Suomessa

Tiettävästi ensimmäinen analogiakone Suomessa rakennettiin professori Erkki Laurilan (1913-1998) alaisuudessa Helsingin teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan osastolla 1950-luvun alussa [Paj02, s. 40-53]. Suomen Akatemia myönsi osien rakentamiseen yhteensä 800 000 markkaa vuosina 1952 ja 1953. Osista rakennettiin teknillisen fysiikan oppiaineessa toimintakuntoinen analogiakone, jolla jo vuodenvaihteessa 1953-1954 laskettiin harjoitustöitä. Analogiakoneen rakentaminen tehtiin suunnittelua myöten omavaraisesti, ja opiskelijat olivat aktiivisesti mukana laskentapiirien suunnittelussa ja rakentamisessa⁶ [AnC93, s. 12; Car54; Fal54; Reg53]. Analogiakoneeseen suunniteltiin summausvahvistin, integraattori ja kertoja. Kooltaan teknillisen fysiikan oppiaineen kone oli vaatimaton ulkomaalaisiin aikalaisiinsa verrattuna, sillä jokaista piiriä valmistettiin vain yksittäisiä kappaleita [Car54]. Se, kuinka pitkälle Teknillisen fysiikan osaston konetta kehitettiin ja mihin sitä sovellettiin, jää tämän tutkielman osalta selvittämättä. Tage Carlsson (s. 1929) mainitsee Teknillisen korkeakoulun analogiakonetta käsittelevässä diplomityössään [Car54], että konetta aiotaan laajentaa ja kehittää tulevaisuudessa. Hän ei kuitenkaan itse jatkanut analogiakoneen suunnittelua valmistumisensa jälkeen, vaan siirtyi rakentamaan ESKOa, josta tuli ensimmäinen suomalainen digitaalinen tietokone.

Helsingin yliopiston silloiselle ydinfysiikan laitokselle päätettiin professori K. V. Laurikaisen (1916-1997) johdolla hankkia analoginen tietokone 1960-luvun alussa. Electronic Associates Incorporationin valmistama Pace TR-48 (Kuva 2) saatiin laitokselle vuoden 1963 kevätlukukauden lopussa [Kiv63, s. 86]. Laite sijoitettiin ydinfysiikan laitoksen laskentatoimistoon (YLT). Välittömästi koneen saavuttua järjestettiin laitoksella lyhyt kurssi, jossa opetettiin analogialaskukoneen käyttöä. Tietokoneen kokoonpano oli hankittaessa melko vaatimaton, mutta lisäelementtejä hankittiin seuraavina vuosina [Kiv64, s. 92; Kiv65, s. 98]. Analogiakoneen käytöstä luovuttiin vähitellen 1960-luvun loppupuolella.

⁶ Toisin kuin Anders ja Carlsson muistelevat artikkelissaan [AnC93, s. 12], Carlssonin diplomityö [Car54] keskittyy analogiakoneen summausvahvistimeen, ei kertojaan, mistä Bjorne Regnell [Reg53] teki oman diplomityönsä vuotta Carlssonin työtä aiemmin.

Ydinfysiikan laitoksen analogialaskinta oli tarkoitus käyttää erilaisten ydinreaktioita kuvaavien differentiaaliyhtälöiden ratkaisemisessa, vaikkakin saadut tulokset eivät olleet täysin tyydyttäviä [Kur05; Paa04]. Laitetta hyödynnettiin myös muilla sovellusalueilla. Esimerkiksi Helsingin yliopiston kansantaloustieteen laitoksen Markov-tutkimusryhmä tutki koneen käyttömahdollisuuksia Markovin prosessien simuloinnissa [Var69]. Erkki Kurenniemen (s. 1941) laskimella tuottama tietokonegrafiikka [Kur63] lienee eksoottisin sovellus, johon konetta käytettiin⁷. Yksi merkittävimmistä projekteista, joihin analogialaskinta käytettiin, oli metrojunan radan korkeusprofiilin optimointi [Paa04]. Tätä varten rakennettiin erillinen ohjausyksikkö, jolla kuvattiin radan profiili. Tämän jälkeen analogialaskimella “ajettiin” rataa laskien samalla sähkönkulutusta kiihdytettäessä ja jarrutettaessa asemien välisen matkan aikana.



Kuva 2: EAI TR-48 © Retro Beep Computer Museum - Betchley Park U.K. [Cow05]

Teknillisen korkeakoulun systeemiteorian ja säätötekniikan laboratoriot hankkivat 1960-luvun loppupuolella yhteisen Electronic Associates Incorporationin valmistaman EAI 580-laskimen [Kos72]. Hybridikoneiden yleistyttyä päätettiin edellämainittu laskin kytkeä hybridijärjestelmäksi yhdessä säätötekniikan laboratorion Strömberg 1000 digitaalikoneen kanssa. Esikuvana suunnittelulle oli Electronic Associates Incorporationin valmis hybridijärjestelmä EAI 590, jonka analogiaosana toimi samainen EAI 580.

⁷ Soitinrakentajana sekä säveltäjänä myöhemmin tunnetuksi tullut Kurenniemi oli ydinfysiikan laitoksen analogiakoneen kanssa enemmänkin tekemisissä. Hän työskenteli ydinfysiikan laitoksella erilaisissa tehtävissä koko opiskeluaikansa yliopistolla 1960-luvun alusta 1970-luvun alkuun. 1960-luvun alkupuolella myös analogiakoneen ohjelmointi kuului hänen työtehtäviinsä [Kur05; OjS05].

Tässä kappaleessa esiteltyt analogiakoneet on valittu saatavilla olevan lähdemateriaalin sanelemana. Vaikka kirjoittajalla ei tällä hetkellä ole tietoa muista analogiakoneista Suomessa, on painotettava, että täydelliseen listaukseen pyrkivä tutkimus on rajattu tämän tutkielman ulkopuolelle. Täydellinen lista on todennäköisesti huomattavasti pidempi, ja siihen saattaa sisältyä nyt mainitsemattomia analogiakoneita myös oppilaitoksista, joita tässä kappaleessa on käsitelty. Myöskään esiteltyjen koneiden käyttöhistorioita ei ole aukottomasti selvitetty.

6 Yhteenveto

Elektroniset analogiatietokoneet ovat kehittyneet 1900-luvun puolenvälin tienoilla rinnakkain digitaalisten tietokoneiden kanssa. 1970-luvulle tultaessa digitaalisilla tietokoneilla ajettiin jo erilaisia sovellusohjelmia, ja tietokoneen tehtävä ainoastaan monimutkaisena laskimena syrjäytyi ainoastaan yhdeksi sovellukseksi monien joukossa. Tämä kehitys johti lopulta yksinomaan tieteelliseen laskentaan soveltuvien analogiatietokoneiden syrjäytymiseen.

Analogiatietokoneen oleelliset komponentit ovat summaus- ja integrointiipiirit sekä vakiolla kertomiseen käytettävät potentiometrit. Näiden lisäksi analogiakoneisiin kuului useita epälineaarisia piirejä. Analogiakoneisiin kehitettiin myös digitaalisia piirejä ja analogiakoneita kytkettiin digitaalisiin tietokoneisiin. Luonteenomaista analogiatietokoneille on ohjelman rakentaminen kytkemällä laskentapiirejä toisiinsa kytkentäkaapeleilla, jolloin muuta syöttölaitetta ei tarvita.

Analogisten tietokoneiden historia ulottuu antiikin aikoihin, mutta elektronisten analogiatietokoneiden historia on verrattain lyhyt, sillä sen lasketaan alkavan toisesta maailmansodasta. Analogiatietokoneiden historia ei ole kuitenkaan loppuun kirjoitettu: Elektronisia analogiatietokoneita on käytetty tieteellisessä laskennassa tähän päivään asti ja 1990-luvulla tutkijat ovat kehitelleet ajatusta laajennetusta analogiatietokoneesta (*engl. extended analog computer, EDA*) [Roi03]. 1960-luvun aikana analogiatietokoneista kehitettiin myös musiikkikäyttöön erikoistetut analogiset syntetisaattorit, jotka ovat vielä tänä päivänäkin suhteellisen tavallisia instrumentteja niin kevyen kuin vakavankin musiikin kentällä [PiT02, s. 37].

Lähteet

- AKS02 Aaltonen, Juha; Kousa, Seppo; Stor-Pellinen, Jyrki 2002: *Elektroniikan perusteet*. Helsinki: Limes.
- AnC93 Andersin, Hans ja Carlsson, Tage 1993: ESKO – ensimmäinen suomalainen tietokone. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa*. toim. Martti Tienari. Jyväskylä: Gummerus.
- Car54 Carlsson, Tage 1954: *En Differentialanalysator*. Diplomarbete. Otaniemi.
- EAI Electronic Associates Incorporation: *Pace TR-10, Transistorized Analog Computer, Operator's Manual*. New Jersey.
- Fal54 Fallenius, Kai 1954: *Analogiakoneissa käytettävien jatkuvien integraattoreiden toiminta ja tarkkuus*. Diplomityö. Otaniemi.
- Hau71 Hausner, Arthur 1971: *Analog and Analog/Hybrid Computer Programming*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Jac60 Jackson, Albert S. 1960: *Analog Computation*. New York, McGraw-Hill.
- JaL70 Jartti, P ja Liukkonen 1970: *Analogiakone*. University of Helsinki, Report Series in Physics.
- Kiv63 [Kivinen, Erkki] 1963: *Kertomus Helsingin yliopiston toiminnasta lukuvuonna 1962-1963*. Helsinki: Valtioneuvoston kirjapaino.
- Kiv64 [Kivinen, Erkki] 1964: *Kertomus Helsingin yliopiston toiminnasta lukuvuonna 1963-1964*. Helsinki: Valtioneuvoston kirjapaino.
- Kiv65 [Kivinen, Erkki] 1965: *Kertomus Helsingin yliopiston toiminnasta lukuvuonna 1964-1965*. Helsinki: Valtioneuvoston kirjapaino.
- Kiv66 Kivinen, Jaakko 1966: *Lineaarinen ohjelmointi Analogialaskimella*. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu.
- KoK56 Korn, Granino A. ja Korn, Theresa M. 1956: *Electronic Analog Computers (D-c Analog Computers)*. New York: McGraw-Hill.
- KoK64 Korn, Granino A. ja Korn, Theresa M. 1964. *Electronic Analog and Hybrid Computers*. New York: McGraw-Hill.
- Kos72 Kosonen, Heikki 1972: *Prosessitietokoneen ja analogialaskimen yhdistäminen hybridijärjestelmäksi*. Diplomityö. Otaniemi.
- Kur63 Kurenniemi, Erkki 1963: *Kokeita analogialaskimella. Teekkari 3-4B/1963*.

- Lan00 Lang, George Fox 2000: *Analog was not a Computer Trademark!*. *Sound and Vibration Control, elokuu 2000: 16-24.*
- OjS05 Ojanen, Mikko ja Suominen, Jari 2005: Erkki Kurenniemen sähkösoittimet. *Musiikki 2005: 2.*
- Paj02 Paju, Petri 2002: *Ensimmäinen suomalainen tietokone ESKO ja 1950-luvun suunnitelma kansallisesta laskentakeskuksesta.* Licensiaattityö. Turun yliopisto.
- PiT02 Pinch, Trevor ja Trocco, Frank 2002: *Analog Days - The Invention of the Moog Synthesizer.* Harvard University Press.
- Reg53 Regnell, Bjorne 1953: *En multiplikator för en differentialanalysator.* Diplomarbete. Otaniemi.
- Ric72 Ricci, Fred J. 1972: *Analog/Logic Computer Programming and Simulation.* New York: Spartan Books.
- Roi03 Roinestad, Heather ynnä muut 2003: *Study of a Model of an Extended Analog Computer.* Raportti. Indiana University, Computer Science.
- Sco70 Scott, Norman R. 1970: *Electronic Computer Technology.* New York: McGraw-Hill.
- Suo03 Suominen, Jaakko 2003: *Koneen kokemus.* Tampere: Vastapaino.
- ToK62 Tomovic, Rajko ja Karplus, Walter J. 1962: *High Speed Analog Computers.* New York: John Wiley & Sons.
- Var69 Vartia, Pentti 1969: Ajan suhteen jatkuvan Markovin prosessin simulointi analogiakoneella. *Helsingin yliopiston kansantaloustieteen laitoksen tutkimuksia: 6.*

Web-sivustot

- Cow05 Coward, Doug 2005: *Analog Computer Museum and History Center.* <<http://dcoward.best.vwh.net/analog/>>. Tarkistettu 28.2.2005.

Haastattelut ja elektroninen kirjeenvaihto

- Kur05 Erkki Kurenniemen haastattelu 11.1.2005 Helsingin yliopiston musiikkitieteen elektronisen musiikin studiossa, Vironkatu 1:ssä.
- Paa04 Paatero, Pentti 2004: Sähköpostiviesti 16.12.2004.