

# Neurolaskenta – voiko kone oppia?

Erkki Oja

**Tietokoneiden alkuaikoina 1950-luvulla ajateltiin näille uusille laitteille monenlaisia käyttötarkoituksia. Puhuttiin "sähköaivoista", jotka piankin saavuttaisivat ja ylittäisivät ihmisen kyvyt tyypillisissä älykkyyttä vaativissa tehtävissä. Koska tietokoneiden näennäinen laskentanopeus oli huomasti ihmistä nopeampi, ajateltiin että pitäisi vain löytää se oikea tietokoneohjelma, älykkyyden yleinen kaava, ja meillä olisi keskuudessamme "älykkäitä koneita".**

Näissä toiveissa jouduttiin kuitenkin pettymään. Osoittautui, että koneäly oli tavattoman rajoitunutta ja ongelmakohtaista. Sellaisissakin hyvin määritellyissä ongelmissa kuin shakinpelu, jossa pelilaudan tilanne ja siirrot on hyvin helppo ohjelmoida koneelle, on vasta aivan viime aikoina päästy tasolle, jossa tietokone antaa kunnan vastuksen parhaille ihmispelaajille.

Totta kai tietokoneista on muuten ollut verratonta hyötyä yhteiskunnassa, alkuun numeromurskaimina ja tiedonhallinnan apuvälineinä, nyt yhä enemmän maailmanlaajuisen tietoverkon solmuina ja monimuotoisen viestinnän päätelaitteina. Mutta älykkyyttä vaativat tehtävät on toistaiseksi jouduttu jättämään ihmisten huoleksi.

Eräitä tehtäviä, joissa tietokoneohjelmilla on ollut suuria vaikeuksia, ovat sensoristen havaintojen analysointiin liittyvät tehtävät – esimerkiksi automaattinen puheen tunnistaminen tai kohteiden löytäminen ja tunnistaminen valokuvista tai videolta. Tällaisia ongelmia on hyvin paljon aivan käytännön sovelluksissa, joissa automaatiosta olisi suurta apua. Käsinkirjoitettujen tekstien tai käsin täytettyjen kaavakkeiden automaattinen lukeminen ja tallennus erilaisiin hallinnon tietojärjestelmiin voi tuoda merkittäviä säästöjä. Teollisuuden piirissä on paljon ongelmia, joissa tietokoneen pitää automaattisesti analysoida ja tehdä diagnooseja suurista mittausarjoista. Finanssipuolella on erilaisia aikasarjoja, joiden rakenne pitää tunnistaa tulevan käyttäytymisen ennakoimiseksi. Tämänkaltaisissa sovelluksissa on viimeisen noin kymmenen vuoden aikana käytetty uudenlaisia tietokoneohjelmia, jotka perustuvat neurolaskentaan.

Neurolaskennan keskeisin periaate on oppiminen esimerkeistä. Jos halutaan vaikkapa saada neurolaskentaohjelma luokittelemaan käsinkirjoitettuja numeroita, kerätään esimerkkejä suuri määrä – tyypillisesti tuhansia tai kymmeniätuhansia – ja syötetään tämä opetusaineisto ohjelmalle. Sen sijaan että yritettäisiin ohjelmoida tietokone ymmärtämään mikä tekee käsinkirjoitetusta kakkosesta juuri kakkosen, riittää kun kone oppii assosioimaan kakkosen kuvaan oikean merkityksen. Tämä tapahtuu melko monimutkaisen laskentaverkon avulla, jonne luokiteltava kuvio syötetään sisään ja verkon lähtösignaaleista voidaan suoraan lukea kuvion luokka.

Neurolaskenta, kuten nimestä voi päätellä, pyrkii ainakin alkuaikoinaan 1970-luvulla jäljittelemään tai jopa mallittamaan todellisissa aivojen hermoverkoissa tapahtuvaa tiedonkäsittelyä. Kummassakin laskenta etenee pienten, suhteellisen yksinkertaisten rinnakkaisten operaatioiden joukkona. Kullekin alkeisoperaatiolle on varattu erillinen suoritin, neuroni, joka on toteutettu tietokoneohjelmalla mutta voidaan rakentaa myös piisirulle. Neuronien välillä on kytkentöjä, joiden painoarvojen tarkkaan määritellyt muutokset heijastuvat koko verkon oppimisena.

Useat neurolaskennan pioneereista olivat hyvin perehtyneitä neurofysiologiaan ja kognitiotieteisiin, joissa riittävästi kovia tutkimustuloksia oli saatu selville jonkinlaisten johtopäätösten vetämiseksi todellisten hermoverkkojen toimintaperiaatteista. Suuresti yksinkertaistettuina, muunneltuina ja hiottuina näistä malleista kehittyi nykypäivän keinokekoisia neuroverkkoja. On kuitenkin todettava, että nykyään neurolaskenta on arkista käytännön sovellusten ratkaisemista, jossa verkkojen rakenne ja opetusmenetelmät valitaan pikemminkin käytännön määräämin reunaehdoin kuin mistään biologisista lähtökohdista käsin.

## Neuroverkot tunnistavat ja ennustavat

Neuroverkoille on esitetty yhä enemmän todellisia sovelluksia. Niistä valtaosa on teollisuusongelmissa, finanssidataa käsittelevässä tai dokumenttien käsittelevässä. Tyypillisessä sovelluksessa neurolaskennalla luokitellaan tai ryhmitellään verkolle syötettäviä kuvia, ennustetaan jonkin järjestelmän tulevia tiloja nykyisten ja menneiden tilojen perusteella tai ohjataan jotakin prosessia tai laitetta siitä saatujen mittausten perusteella. Kyse on siis selkeästi automaatio-ongelmista, sulautetuista järjestelmistä, joissa neuroverkko on piilotettu jonkin laitteen tai ohjelman sisään ilman, että käyttäjä sitä juurikaan huomaa. Eräs eniten käytetyistä sovelluksista on jo aikaisemmin mainittu käsinkirjoitettujen merkkien tunnistus – siinä useimmat kaupallisista järjestelmistä on rakennettu neuroverkkoitimen ympärille.

Myös massiivisten tietojoukkojen analysointi ja organisointi, ns. data mining -tekniikka, on tulossa neurolaskennan hyvin lupaavaksi sovellukseksi, ja uudet tehokkaat signaalinkäsittelymenetelmät käyttävät usein neurolaskentaa. Allekirjoittanut on viime aikoina kehittänyt neuroverkkoratkaisuja ns. sokean signaalien erottelun ongelmaan, joka tulee esille puheenkäsittelyssä ja tietoliikenteessä.

*Hahmontunnistus*, missä pitää automaattisesti nimetä kuvassa tai muussa mittausjoukossa oleva kohde – esim. käsinkirjoitettu merkki lomakkeella, ihmisen kasvot kuvassa, yksittäinen äänne puhe-signaalissa – on tyypillinen ongelma, jossa me itse olemme varsin taitavia, mutta paraskin tietokone selviää huonosti. Eläimetkin tekevät hahmontunnistusta erittäin tehokkaasti, joten mitään korkeampaa älyä tämä toiminta ei vaadi. Ongelma hahmontunnistuksen automatisoinnissa onkin juuri siinä, että teemme itsekin sitä automaattisesti, pystymättä selittämään miten ja miksi tunnistamme kohteita. Siten ratkaisumenetelmän siirtäminen tietokoneelle on vaikeaa. Jonkinlaisia karkeita malleja ihmisen tai eläinten näköjärjestelmästä on kuitenkin mahdollista siirtää neurolaskennan ohjelmiin – niiden arvon mittaa sitten toimivuus käytännön tilanteissa.

Parhaiten tunnettuja neurolaskentaan perustuvia hahmontunnistusjärjestelmiä on puhetta tunnistava tietokoneohjelmisto, jonka kehittänyt professori Kohonen ryhmineen teknillisellä korkeakoululla. Se perustuu ns. itseorganisoivaan karttaan, neuroverkkoon, joka pystyy kuvaamaan moniulotteisen syöteavaruutensa olioita kaksiulotteiseen neuronihilaan siten, että kaikilla syötteillä on hilassa luonteenomaiset paikkansa ja neuronit ovat lisäksi järjestyneet. Puheen foneemit kuvautuvat äännekartalle siten, että toisiaan muistuttavat foneemit kuvautuvat lähekkäin. Puheentunnistusjärjestelmälle syötetty digitoitu puhe-signaali tunnistetaan pieni aikaviipale kerrallaan ja muunnetaan merkkijonoksi. Se sisältää vielä paljon virheitä ja on jälkikäsiteltävä menetelmillä, jotka nekin perustuvat neurolaskentaan. Tuloksena on kuitenkin laite, joka tietyissä rajoissa pystyy tulkitsemaan tekstiksi käyttäjänsä sanelua.

Monimutkaisten järjestelmien tulevien *tilojen ennustaminen* nykyisten ja menneiden mittausarvojen perusteella on tärkeää monilla aloilla, kuten talousovelluksissa tai teollisuudessa. Usein on hyvin vaikeaa rakentaa edes summittaista matemaattista mallia järjestelmän käyttäytymiselle, vaikka voitaisiinkin eristää ne tekijät, jotka ilmioon vaikuttavat. Neurolaskenta tarjoaa työkalun, jolla voi monessa tapauksessa saada hyvinkin tyydyttäviä tuloksia. Neuroverkkohan ei edellytäkään mitään tunnettua mallia ilmiöstä tai järjestelmästä, jota se ennustaa; neuroverkko viritetään tilanteeseen käyttäen suurta opetusjoukkoa ilmiön aikaisemmin mitatusta käyttäytymisestä. Sekä talouselämässä että prosessiteollisuudessa alkaa olla käytössä tietokonepohjaisia tiedonkeruujärjestelmiä, joista tällaista valmiiksi talletettua esimerkkidataa saa.

On kuitenkin korostettava, että neuroverkon kaltainen oppiva järjestelmä on varsin herkkä opetusdatan laadulle: kärjistäen voi sanoa, että huonolla datalla opetettu verkko myös käyttäytyy huonosti. Tyypillisessä neurolaskentasovelluksessa opetusdatan keruu ja puhdistaminen vie valtaosan työstä. Itse verkon opetus sujuu kyllä tehokkailla ja helppokäyttöisillä valmisohjelmilla, joita on saatavilla sekä ilmaisjakelussa että kaupallisina tuotteina. Esimerkkejä neurolaskennan käytöstä järjestelmän tilojen tai arvojen ennustamisesta ovat kotitalouksien sähkönkulutuksen ennustaminen, paperin laadun ennustaminen prosessimittauksista ja pörssikurssien ennustaminen.

## *Neurolaskenta Suomessa*

Suomessa neurolaskennan tutkimus (vaikka termiä neurolaskenta ei yleisesti käytetty ennen 80-lukua) on lähtöisin professori Teuvo Kohosen pioneerityöstä 1960-luvun lopulta alkaen. Hän on maailmanlaajuisesti koko alan tunnetuimpia nimiä. Muita tutkimusryhmiä on syntynyt korkeakouluhimme etenkin 80-luvun lopulla, neurolaskennan tultua suosituksi tutkimusalaksi. Nykyään Suomessa tutkitaan laajalti sekä neurolaskennan teoriaa että käytäntöä. Viimeisten kymmenen vuoden aikana on meillä, kuten lähes kaikissa teollisuusmaissa, ollut käynnissä neurolaskennan tutkimusohjelmia sekä julkisella että yritysten rahoituksella. Suuryrityksillä on omat neurolaskentaryhmänsä, ja alan varaan on syntynyt pieniä teknologiayrityksiä – myös Suomessa. Ala on järjestäytynyt tieteellisiksi seuroiksi, joiden vuotuisissa konferensseissa käy tuhansia alan tutkijoita. Euroopan neuroverkko-seura ENNS järjestää joka vuosi ICANN-konferenssin, joista ensimmäinen oli teknillisellä korkeakoululla Espoossa vuonna 1991. Neurolaskennan tieteelliset lehdet ovat impaktipisteissä aivan kärkisijoilla verrattuna kaikkiin elektroniikka- ja tietotekniikka-alan lehtiin.

Suomessa neurolaskennan tutkimusta rahoittaa Akatemian lisäksi Tekes, jolla on tällä hetkellä menossa monivuotinen teknologiaohjelma neurolaskennan ja sen lähitekniikoiden, kuten sumean logiikan, sovelluksista elinkeinoelämässä. Ohjelmassa on korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten lisäksi mukana noin 80 suomalaista yritystä lähinnä prosessiteollisuuden, metalliteollisuuden, elektroniikan ja tietoliikenteen aloilta. Tällä huipputekniikan alalla Suomi on suurvalta.

*Erkki Oja on tietojenkäsittelytekniikan professori Teknillisessä korkeakoulussa. Kirjoitus perustuu hänen esitelmäänsä Suomalaisen Tiedeakatemian istunnossa 9. joulukuuta.*