



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KÄSITTEET TEKOÄLY JA KONEOPPIMINEN

Anna-Lotta Luoma

Opinnäytetyö
Joulukuu 2018
Tietotekniikan koulutusohjelma
Ohjelmistotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Ohjelmistotekniikka

ANNA-LOTTA LUOMA:
Käsitteet tekoäly ja koneoppiminen

Opinnäytetyö 31 sivua
Joulukuu 2018

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli esittää selkeästi tekoälyn ja koneoppimisen eri ulottuvuuksiin liittyvät termit ja käsitteet, kuten neuroverkot ja syväoppiminen.

Tekoäly on tietojenkäsittelytieteen osa-alue, joka painottuu älykkäiden koneiden ja ohjelmien luontiin. Tekoälystä ja koneoppimisesta on tullut oleellinen osa teknologiateollisuutta ja sen kehitystä. Molemmilla on merkittävä osa tuottavuuden parantamisessa, sekä tulevaisuudessa prosessien ja liiketoimintamallien kehittämisessä.

Tekoälyn liittyvää keskustelua ja kehitystä on edistänyt erityisesti koneoppimisen ja neuroverkkojen avulla saadut tutkimustulokset. Keinotekoiset neuroverkot keksittiin jo 1940-luvulla, mutta vasta 2000-luvulla käytettävissä olevan datan määrän kasvu, sekä koneiden prosessorien, laskentatehon ja muistin kasvamisen myötä neuroverkkoteknologiaa on pystytty hyödyntämään suuremmalla potentiaalilla kehitystyössä. Tekoälysovellukset nykyisin perustuvat pitkälti datasta oppimiseen ja koneoppiminen onkin hallitsevin tekoälyn osa-alue.

Käsitteestä tekoäly on monenlaisia tulkintoja asiayhteydestä riippuen. Määrittely vaihtelee sillä, tekoäly yhdistyy useisiin, erilaisiin tieteenaloihin, kuten esimerkiksi matemaatiikkaan, fysiikkaan, filosofiaan, lääke- ja tietojenkäsittelytieteisiin. Yleensä käsiteellä viitataan kuitenkin laitteisiin tai ohjelmiin. Tarkkaa määrittelyä hankaloittaa myös se, että tekoäly ei ole muuttumaton kokonaisuus. Käsite sisältää sovelluskohteesta riippuen skaalien erilaisia teknologioita, menetelmiä ja suuntauksia.

Työssä esiteltiin yleiskuva tekoälystä, määrittelystä, tekniikoista, käsitteistä ja termistöistä. Tekoälyyn liittyvien käsitteiden ja teknologioiden käytännön hyödyntämistä havainnollistettiin opinnäytetyössä esimerkkien avulla.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
ICT Engineering
Software Engineering

ANNA-LOTTA LUOMA:
Concepts of Artificial intelligence and Machine learning

Bachelor's thesis 31 pages
December 2018

The purpose of this thesis was to present clearly the terms and concepts related to artificial intelligence and the different dimensions of machine learning, such as neural networks and deep learning.

Artificial Intelligence is a part of computer science that focuses on creating intelligent machines and programs. Artificial intelligence and machine learning have become an essential part of the technology industry and its development. Both have a significant role in improving productivity and in the future development of processes and business models.

The discussion and development related to the A.I has been accelerated by the results of research related to machine learning and neural networks. Artificial neural networks were invented already in the 1940s, but the increase in the data available in the 21st century and the growth of machine processors, computing power and memory has enabled neural network technology to benefit from greater potential for development. Artificial intelligent applications are mostly based on learning from the input data and machine learning is the most dominant element of artificial intelligence.

The concept of artificial intelligence is a wide range of interpretations depending on the context. The definition varies because artificial intelligence is combined with a wide range of sciences such as mathematics, physics, philosophy, medical and computer science. Usually the concept refers to devices or programs. The exact definition is also challenging by the fact that artificial intelligence is not constant entity. Depending on the application, the concept includes a range of different technologies, methods and trends.

In the thesis an overview of artificial intelligence, definition, concepts and terminology was presented. The practical use of artificial intelligence concepts and technologies was illustrated in the thesis through examples.

Key words: artificial intelligence, neural networks, deep learning, technology, science

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	HISTORIA	8
2.1	Tekoälyn lyhyt historia	8
3	KESKEISET KÄSITTEET	10
3.1	Koneoppiminen.....	10
3.1.1	Ohjattu koneoppiminen.....	10
3.1.2	Ohjaamaton koneoppiminen	11
3.1.3	Vahvistusoppiminen.....	11
3.2	Neuroverkot ja syväoppiminen	12
3.2.1	Konenäkö	12
3.2.2	Hahmontunnistus	13
3.2.3	Luonnollisen kielen käsittely	13
3.3	Datatiede	14
3.3.1	Big Data	14
3.4	Robottiikka.....	15
4	MENETELMÄT JA TEKNIIKAT	16
4.1	Päätöspuut.....	16
4.2	Naiivi Bayesin luokitin	16
4.3	Lineaarinen regressio	17
4.4	Logistinen regressio	17
4.5	Tukivektorikone.....	18
4.6	Ensemble-menetelmät.....	19
4.7	Klusterointi	19
4.8	Neuroverkot	20
5	TEKOÄLYN MÄÄRITTELY	23
5.1	Määrittely.....	23
5.2	Esimerkkejä tekoälystä	24
6	OHJELMOINTIKIELET	26
6.1	Lisp-ohjelmointikieli	26
7	ETIIKKA JA MORAALI.....	27
8	POHDINTA.....	28
	LÄHTEET.....	29

ERITYISSANASTO

Data	Tieto, tiedot, aineisto
Tekoäly	Ihmiselle tyypillistä älykkyyttä jäljittelevä toiminto
Abstrakti	Käsitteellinen
Objekti	Kohde, olio
Lisp	Funktionaalinen ohjelmointi kieli
AI	Artificial intelligence, tekoäly
Robottiikka	Tekniikan tieteen ala
Semantiikka	Merkitysoppi
Neuroverkko	Datan käsittely malli
Robotti	Mekaaninen laite
Koneoppiminen	Tekoälyn osa-alue, jossa kone oppii toistuvista tapahtumista
Virtuaalitodellisuus	Tietokonesimulaatio todellisuudesta
Syväoppiminen	Tekoälyn oppimismenetelmä
Vahvistusoppiminen	Tekoälyn oppimismenetelmä
Konenäkö	Havainnointijärjestelmä
Hahmontunnistus	Datan mallien ja kaavioiden tunnistus
NLP	Natural Language Processing, luonnollisen kielen käsittely
Algoritmi	Kuvaus, toimintaohje
Datatiede	Matematiikkaa, liiketoimintaa ja tietotekniikkaa yhdistelevä tieteenala
Tiedon louhinta	Menetelmä tiedon etsimiseen datasta automatisoidusti
Datan kompressointi	Datamäärän tiivistäminen
Autonominen	Itsenäinen
Adaptiivinen	Sopeutuva
Singulariteetti	Suhteellisuusteoria, supertekoäly
Hypoteettinen	Oletus, oletettava
Digitalisoituminen	Tietotekniikan yleistyminen
IoT	Internet of Things, esineiden internet
Prolog	Logiikkapohjainen ohjelmointikieli
Python	Tulkattava ohjelmointikieli
Java	Oliopohjainen ohjelmointikieli

C++	Oliopohjainen ohjelmointikieli
SVM	Support Vector Machine, tukivektorikone
MSE	Mean Square Error, keskineliövirhe
MLP	Multi Layer Perceptron, neuroverkkotyyppi
RNN	Recurrent Neural Network, neuroverkkotyyppi

1 JOHDANTO

Tekoäly on nykyään osa jokaisen elämää enemmän kuin luulisikaan. Aihe joko kiehtoo tai pelottaa mutta herättää joka tapauksessa keskustelua uutisoinnissa ja mielipidepalstoilla. Käsite tekoäly on vaikeasti määriteltävissä, mikä lisää kiinnostusta aiheeseen. Pääsääntöisesti tekoäly ymmärretään koneeksi tai ohjelmaksi, joka tavalla tai toisella kykenee oppimaan.

Toistaiseksi vielä kaiken tekoälyksi nimitetyn takana on määrittelyjä, logiikkaa, matemaatiikkaa, funktioita ja algoritmeja. Ihmisen luomia sääntöjä ja malleja koneille. Modernit tekoäly sovellukset pohjautuvat vahvasti datasta oppimiseen ja palautteeseen. Keinotekoiset neuroverkot keksittiin jo 1940-luvulla mutta vasta viimeaikainen teknologian kehitys on mahdollistanut tekoälyratkaisujen potentiaalın hyödyntämisen.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus analysoida tekoälyä ja sen sisältämiä osa-alueita. Johdannon jälkeen, kappaleessa kaksi käsitellään tekoälyn modernia historiaa. Kolmannessa kappaleessa esitellään keskeisimmät tekoälyyn liittyvät käsitteet, jonka jälkeen siirrytään tarkempaan tekniikoiden määrittelyyn neljännessä kappaleessa. Viidennessä kappaleessa pureudutaan tekoälyn käsitteen määrittelyyn ja havainnollistamiseen käytännön esimerkkien kautta. Kuudennessa kappaleessa käsitellään tekoälyn suosituimpia ohjelmointikieliä. Työn lopussa, kappaleissa seitsemän ja kahdeksan, eettinen näkökulma ja pohdinta.

2 HISTORIA

Nykyisen tekoälyn siemenet kylvivät filosofit, jotka yrittivät kuvailla ihmisen ajattelu prosessia symbolien mekaanisena manipulointina. Tämä työ huipentui vuonna 1940 jolloin ensimmäiset tietokoneet keksittiin, laitteet, jotka perustuivat matemaattisen päättelyn abstraktiin mallintamiseen. (Tekoäly.info n.d.)

2.1 Tekoälyn lyhyt historia

John McCarthy, amerikkalainen tietotekniikan edelläkävijä ja keksijä, loi termin vuoden 1955 ehdotuksessaan vuoden 1956 Dartmouth-konferenssiin, jossa ensimmäisen kerran käsiteltiin tekoälyä. Tavoitteena oli tutkia tapoja tehdä kone, joka voisi käyttäytyä kuin ihminen, pystyisi abstraktiin ajatteluun, ongelmanratkaisuun ja itsensä kehittämiseen. Hän uskoi, että "kaikenlainen oppimisen tai muun älykkyyden piirre voi periaatteessa olla niin täsmällisesti kuvattu, että kone voidaan simuloida." Vuonna 1958 hän loi Lisp-ohjelmointikielen, josta tuli standardi AI-ohjelmointikieli. McCarthyn kehittämää ohjelmointikieltä käytetään yhä edelleen robotiikan ja muiden tieteellisten sovellusten lisäksi myös lukuisissa Internet-pohjaisissa palveluissa. (Independent 2011.)

Vuonna 1956 tutkija ja kognitiivinen psykologi Allen Newell, poliittinen tutkija, taloustieteilijä ja sosiologi Herbert A. Simon ja järjestelmäohjelmoija John Clifford Shaw, kehittivät ensimmäisen ohjelman, joka tarkoituksellisesti suunniteltiin jäljittelemään ihmisen ongelmanratkaisutaitoja. (HistoryofInformation n.d.)

60-luvun taitteessa Margaret Masterman kollegoineen suunnittelivat objektien välisiä suhteita kuvaavat semanttiset verkot tietokonekäännöksiin. Vuosikymmen toi mukanaan runsaasti edistysaskelia. Vuonna 1962 perustettiin ensimmäinen teollinen robotiikan yritys, Unimation ja koneoppimisen pioneeri, Arthur Samuel (IBM) kirjoitti ensimmäisen peliohjelman Tammi pelin pelaajille. Seuraavan vuonna Thomas Evans loi Analogy ohjelman, joka pystyi ratkomaan samantasoisia ongelmia kuin älykkyystesteissä. (Tekoäly.info.) Vuosikymmen huipentui Douglas Engelbartin keksiessä tietokone hiiren (Ibiblio n.d.).

Seuraavalla vuosikymmenellä edettiin jo neuroverkkojen käsitteisiin, kun Marvin Minsky ja Seymour Papert julkaisivat kirjan, jossa käsiteltiin yksinkertaisen neuroverkon rajoitteita. Stanfordissa rakennettiin Shakey robotti ja Assembly Robotics group Edinburgh:in yliopistossa kehitettiin Freddy robotti, joilla demonstroitiin liikettä ja paikannusta. Alan Colmerauer kehitti logiikkapohjaisen Prolog-ohjelmointikielen. Vuosikymmenen loppuksi pidettiin ensimmäinen kansainvälinen konferenssi tekoälystä Washington D.C:ssä. (Tekoäly.info n.d.)

1980- ja 1990-luvuilla neuroverkot tulivat laajemmin käyttöön ja tekoäly kehittyi merkittävästi jokaisella osa-alueellaan aina koneoppimisesta virtuaalidellisuuteen. Tekoälyä kehitettiin etenkin peleissä ja 1990-luvun alussa The deep blue -shakkiohjelma voitti shakin maailmanmestarin. (Tekoäly.info n.d.)

2000-luvulla kehitys jatkuu ja älytuotteet ovat jo jokaisen kuluttajan saatavilla. Samalla kuin kehitys kiihtyy, käy tekoälyn määrittely hankalimmaksi. Tekoäly tutkimusaiheena elää kehityksen mukana, kun aihepiirien ei katsota enää kuuluvan siihen tai kun uusia tutkimusalueita tekoälyyn liittyen syntyy. Tekoäly pyörii taustalla kuitenkin internetin hakukoneissa, kohdennetussa mainoksissa, sovelluksissa, sekä älypuhelimissa. Erityisesti teknologiateollisuudessa hyödynnetään tekoälyä mittavissa määrin prosessoinnissa ja laadunvalvonnassa.

3 KESKEISET KÄSITTEET

Tekoälyyn liittyy useita osa-alueita. Tässä kappaleessa käydään läpi keskeisimmät käsitteet: koneoppiminen, syväoppiminen, datatiede ja robotiikka.

3.1 Koneoppiminen

Koneoppiminen (Machine learning) on tekoälyn osa-alue ja yksi tietotekniikan tulevaisuuden keskeisimmistä suuntauksista, jonka juuret pohjautuvat vahvasti tilastotieteeseen. Koneoppimisen sovelluskohteiksi mielletään muun muassa datan analysointi ja louhinta, hahmojen tunnistus, sekä itseohjautuvat järjestelmät. (Sas Insight n.d.)

Koneoppimisen avulla tekoälysovelluksista saadaan mukautuvaisia ja pystyviä reagoimaan muutoksiin. Tietojärjestelmien on mahdollista koneoppimisen avulla hyödyntää algoritmeja tilanteissa, joissa kone oppii toistuvista tapahtumista ilman erillistä ohjeistusta. Tiedon tulkintaa saadaan automatisoitua ja analysoitua järjestelmillä, jotka parantavat suorituskykyään mitä enemmän ne dataa vastaanottavat. (Sas Insight n.d.) Esimerkkejä yksinkertaisesta koneoppimisesta ovat sähköpostin roskapostisuodatus, musiikkipalveluiden kappalesuosituksia tai verkkokauppojen antamat suositukset aiempien ostosten perusteella.

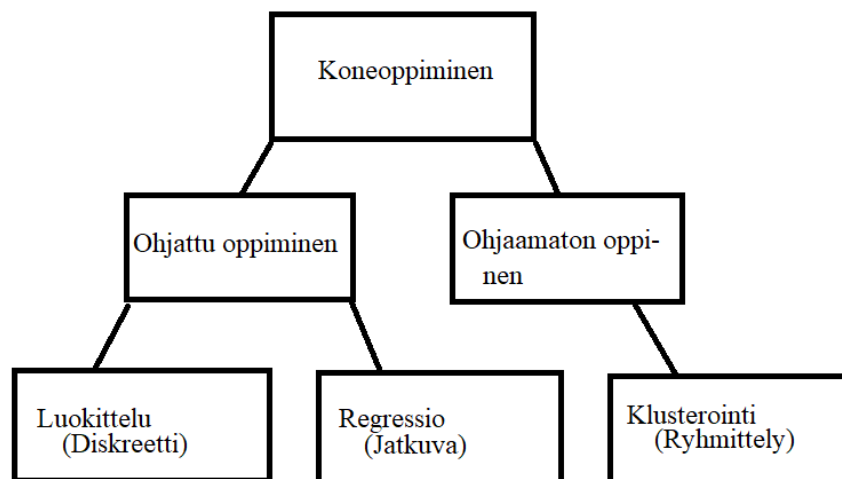
3.1.1 Ohjattu koneoppiminen

Ohjatussa koneoppimisessa (Supervised learning) jokaiselle koneoppimisalgoritmille annetaan opetusjoukko, jota käyttäen algoritmi muodostaa mallin ennustamista varten. Opetusvaiheen jälkeen algoritmille syötetään testijoukko, joka on riippumaton opetusjoukosta. Testijoukon perusteella määritellään, kuinka hyvin algoritmi on onnistunut uusien havaintojen ennustamisessa. Käytännössä haluttu tulos tiedetään jo ennen datan syöttöä. (Koneoppiminen 2017.) Ohjattu oppiminen voidaan jakaa tavoitedatan luonteen perusteella kahteen luokkaan, luokittelu ja regressio (kuvio 1). Jos syötteet voidaan luokitella

erillisiin ryhmiin, niin kyse on luokittelusta, jos se on jatkuvaa, niin regressiosta. (Tekoälyn perusteita ja sovelluksia 2018.)

3.1.2 Ohjaamaton koneoppiminen

Ohjaamattoman oppimisen, klusteroinnin (Unsupervised learning) tavoitteena on löytää datasta ryhmät, joiden sisäinen samankaltaisuus on suuri. Valmiiksi määriteltäviä, oikeita luokkia ei ole. Kone pääättelee datasta oikean jaottelun tai rakenteen. (Koneoppiminen 2017.) Syötteen pyritään ryhmittelemään niin, että yksittäisellä syötteellä on enemmän samanlaisia ominaisuuksia samaan ryhmään kuuluvien syötteiden kuin muihin ryhmiin kuuluvien syötteiden kanssa.



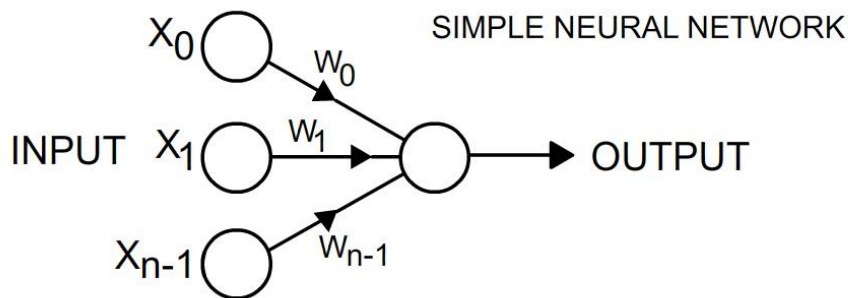
KUVIO 1. Koneoppimisen luokittelua (Tekoälyn perusteita ja sovelluksia 2018, muokattu)

3.1.3 Vahvistusoppiminen

Vahvistusoppimisessa (Reinforcement learning) kone ei saa valmiita, oikeita tavoitteita. Oppiminen perustuu positiiviseen tai negatiiviseen palautteeseen antamiseen järjestelmälle. Palaute perustuu siihen, kuinka onnistuneesti se toimii, jolloin kone optimoi toimintaansa mahdollisimman paljon kohti positiivista palautetta. (IteWiki n.d.)

3.2 Neuroverkot ja syväoppiminen

Syväoppiminen (Deep Learning) koostuu koneoppimismenetelmistä, jotka mallintavat sitä, miten ihmisen aivot prosessoivat tietoa. Dataa käsitellään prosessointiyksiköistä, joista muodostetaan kerroksia ja kerroksista verkostoja. Yksinkertaisimmalla neuroverkolla on vain yksi solmu (kuvio 2), jossa syötteet (X) saavat painokertoimet (W) ja funktio (f) tulosteen, joka voi olla toisen neuronin syöte.



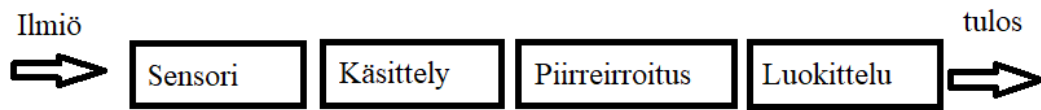
KUVIO 2. Yksinkertainen neuroverkko (Foto.aalto n.d., muokattu)

Verkon kerroksellisuus tai syvyys mahdollistaa monimutkaisten rakenteiden ja sääntöjen oppimisen syötetyn datan pohjalta. Jokainen kerros välittää attribuutteja vastaanotettuun tietoon kerryttäen dataa seuraavaa verkon kerrosta varten kuin päättelyketjussa. Toisin kuin perinteisessä arkkitehtuurissa on neuroverkoissa tapahtuva datan käsittely riippumatonta, eli dataa on mahdollista sekä käsitellä, että tallentaa. Pitkäaikainen muisti neuroverkoissa perustuu painokertoimeen verkon välisessä datan kierrossa. (Johdatus moderniin tekoälyyn n.d.)

3.2.1 Konenäkö

Konenäöllä (Machine vision) pyritään matkimaan ihmisen näköä ohjelmallisesti tulkitsemaan kuvia automaattisesti. Konenäköä hyödynnetään hahmojen tunnistuksessa, kuvankäsittelyissä ja kuva-analyyseissä. Käytännön hyöty on suuri etenkin prosessiteknikoissa ja laadunvalvonnassa. (VR Track | Mitä on konenäkö 2016.) Yksi konenäön sovelluskohteista on sormenjälkitunnistin. Rakenteeltaan tunnistimet voivat olla yksinkertaisia (kuvio 3) Sensori havaitsee tulkittavan ilmiön. Mahdolliset häiriöt käsitellään pois ja ilmiöstä

haetaan muodot tai tarvittavat piirteet. Lopuksi data siirtyy luokittimelle, joka ohjaa toiminnon havainnon mukaisesti. (Hahmontunnistus ja luokittelu 1999.)



KUVIO 3. Rakenne (Hahmontunnistus ja luokittelu 1999, muokattu)

3.2.2 Hahmontunnistus

Hahmontunnistus (Pattern recognition) on koneoppimisen osa-alue, jonka tavoitteena on tunnistaa datasta malleja ja kaavioita. Hahmontunnistusmenetelmät voidaan jakaa kolmeen luokkaan, jotka ovat tilastollinen hahmontunnistus, syntaktinen hahmontunnistus ja neuraalinen hahmontunnistus. (Hahmontunnistus ja luokittelu 1999.) Tilastollinen hahmontunnistus perustuu olettamukseen, että käytetyillä piirteillä on tilastollinen jakauma kussakin luokassa. Syntaktisuudessa taas nojataan olettamukseen, että piirteistä muodostuu kullekin luokalle ominainen rakenne. Neuraalinen lähestymistapa on ennemminkin epälineaarinen regressiomalli, joka erottelee ominaisia piirteitä ja ominaisuuksia, sekä muodostaa monimutkaisia riippuvuuksia piirteiden luokitteluun. (Tekoälyn perusteita ja sovelluksia 2018.)

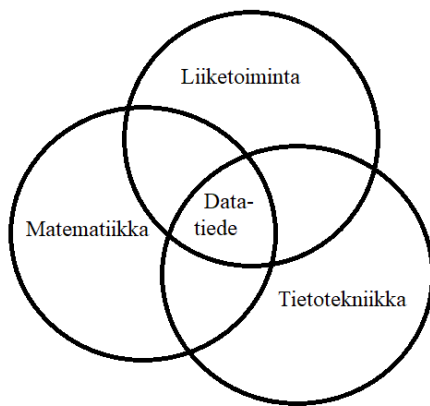
3.2.3 Luonnollisen kielen käsittely

NLP (Natural Language Processing) on koneoppimisen osa-alue, joka tarkoittaa tietokoneohjelmien käyttämistä luonnollisen tekstin ja puheen analysointiin ja tuottamiseen. Asiakaspalvelun tukena käytetään chatbotteja, jotka pyrkivät vastaamaan yleisimpiin kysymyksiin interaktiivisesti ja automatisoidusti. Luonnollisen kielen käsittely alana sisältää konekääntämisen, automaattisen puheentunnistuksen, puhesynteesin, tekstintunnistuksen, älykkään tekstinsyötön ja puheen kääntämisen osa-alueet. (Luonnollinen kieli ja tekoälyn kognitio 2017.)

3.3 Datatiede

Datatiede on erityisen skaalautuva tieteenala. Sovellukset voivat vaihdella pienemmistä tilastollisista päättelyistä tekoälyä ja konenäköä hyödyntäviin robotiikan projekteihin asti.

Tieteenalana datatiede yhdistää liiketoimintaa, tietotekniikkaa, tietojenkäsittelytiedettä sekä matematiikkaa (kuvio 4) ja tilastotiedettä hyödyntäen useita menetelmiä ja tekniikoita kuten signaalinkäsittelyn, koneoppimisen osa-alueet, tilastolliset menetelmät, ohjelmoinnin, tietokannat, datan käsittelyn ja tiedon louhinnan. Data-analytiikan sovelluksilla pystytään analysoimaan ja etsimään johdonmukaisuuksia suuristakin määristä dataa. (Datatiede n.d.)



KUVIO 4. Tieteenalat (Datatiede n.d., muokattu)

3.3.1 Big Data

Datatieteeseen liittyy läheisesti termi Big Data, jolla tarkoitetaan jättimäisiä tera- tai jopa petatavujen kokoisia luokittelemattomia tietomassoja. Big Dataa voidaan kuvata ja luokitella seuraavilla säännöillä:

- **Määrä (Volume):** Suuren määränsä vuoksi data ei ole yleisesti käytettävissä, eikä prosessoitavissa käytössä olevilla ohjelmistoilla järkevässä ajassa.
- **Nopeus (Velocity):** Data muuttuu ja/tai sitä kertyy nopeasti, mahdollisesti useista eri lähteistä samanaikaisesti.

- Monimuotoisuus (Variety): Data on luokittelematonta ja/tai ilman rakennetta, jolloin käsittely ja analysointi on hankalaa.

Big Data voi sisältää paljon erilaista, käsittelemätöntä dataa, kuten ääntä, videota ja kuvaa. (Sovelto n.d.)

3.4 Robotiikka

” Robotiikka on monitieteellistä insinööritiedettä hyvässä ja pahassa” kertoo Jukka Lehtinen artikkelissaan Tutkimusta Suomessa – Robotiikka vaatii monitieteellisyyttä. Robotiikassa yhdistyvät tekoälyn ja monen eri tekniikan osa-alueet. Lehtisen mukaan kivijalkana toimivat tietotekniikan, sähkötekniikan ja konetekniikan yhdistelmät. Laitteiden, ohjelmistojen, anturien ja mekaniikan yhdistelmä mahdollistaa robotiikassa ympäristön havainnoimisen, päättelyn ja mallinnuksen. Koneoppiminen on kuitenkin keskeisin käsite tekoälyn robotiikkasovelluksissa.

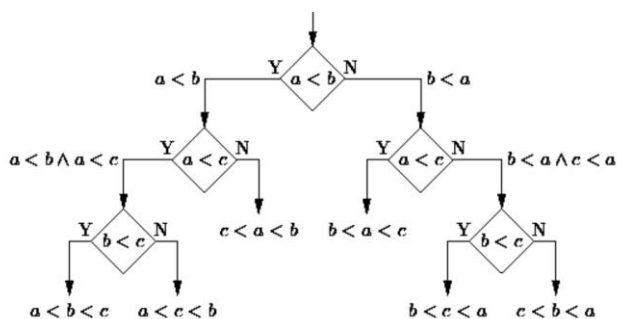
Tutkimusalana robotiikka voidaan jakaa toimilaitteiden-, anturien ja havaitsemisen-, liikkeen ja liikeratojen suunnittelumenetelmien-, suunnitellun liikeradan toteuttamisen menetelmien, sekä robotteja ohjaavien tietokoneohjelmien järjestystä ja rakennetta eli ohjelmistoarkkitehtuureja koskeviin tutkimuksiin. Kehitys robotiikassa suuntaa kohti monirobotteja, aiemman yksittäisten robottien toiminnallisuuden parantamisen sijaan. (Tekoälyn käsitekarta 2018.)

4 MENETELMÄT JA TEKNIIKAT

Tekoälyyn liittyvien menetelmien valinta riippuu tehtävän luonteesta. Jotkut algoritmit, kuten logistinen regressio, on suunniteltu erityisesti binääriseen luokitteluun. Tässä opinäytetyössä esitellään tarkemmin päätospuiden, naiivin Bayesin luokittimen, lineaarisen ja logistisen regression, tukivektorikoneen, ensemble-menetelmien, klusteroinnin ja neuroverkkojen toiminnallisuutta.

4.1 Päätöspuut

Päätöspuita käytetään laajasti koneoppimisen eri tehtävissä. Menetelmänä päätöspuu on käytössä olevan datan pohjalta luotu päätöksenteon tukiväline, joka käyttää puun kaltaista kaaviota tai mallia (kuvio 5). Puu koostuu haaroista, jotka kuvaavat päätöksiä ja satunnaistapahtumien ulostuloja. (The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know n.d.)



KUVIO 5. Päätöspuu (The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know n.d.)

4.2 Naiivi Bayesin luokitin

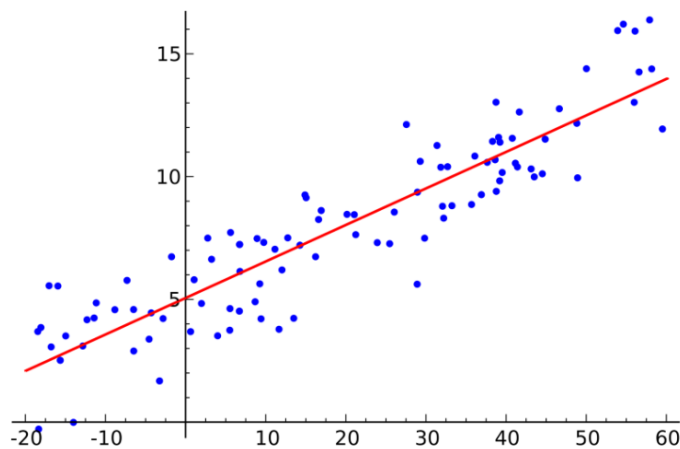
Naiivi Bayesin luokitin on todennäköisyyslaskennan luokittelijamenetelmä, joka perustuu Bayesin teoreeman soveltamiseen voimakkaiden itsenäisyysoletusten ja ominaisuuksien välillä Yhtälön (1) mukaisesti.

$$P(A | B) = \frac{P(B | A) P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

Yhtälössä $(A | B)$ on posteriorinen todennäköisyys, $P(B | A)$ on todennäköisyys, $P(A)$ on luokan aikaisempi todennäköisyys ja $P(B)$ on ennustava aikaisempi todennäköisyys. (The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know n.d.)

4.3 Lineaarinen regressio

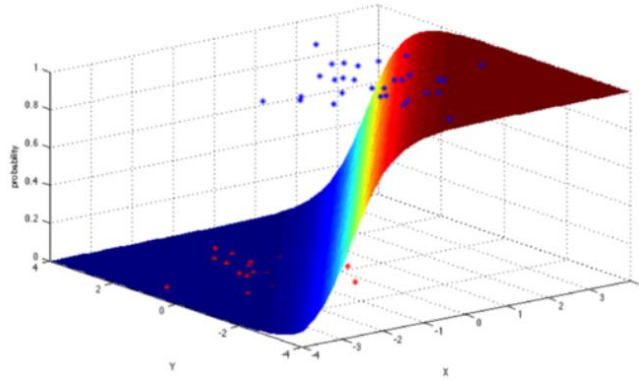
Regressiotekniikoiden tarkoituksena on luoda malleja, joilla voidaan määrittellä muuttujien arvojen välisiä suhteita. Yksi suosituimmista menetelmistä on lineaarinen regressio. Lineaarisen regression tarkoitus on asettaa viiva pisteiden kautta niin, että linja kulkee minimoiden etäisyyden jokaisen pisteen välillä (kuvio 6). Virhemarginaalin laskennassa neliöidään ennusteen ja oikean arvon ero, mikä pienentää virhemarginaalia.



KUVIO 6. Lineaarinen regressio (The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know n.d.)

4.4 Logistinen regressio

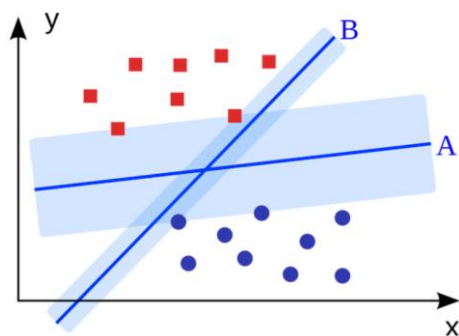
Logistinen regressio on tilastollinen tapa mallintaa yhden tai useamman selittävän muuttujan avulla (kuvio 7). Se mittaa kategorisen riippuvan muuttujan ja yhden tai useamman itsenäisen muuttujan välisen suhteen arvioimalla todennäköisyydet käyttämällä logistista funktiota, joka on kumulatiivinen logistinen jakauma.



KUVIO 7. Logistinen regressio (The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know n.d.)

4.5 Tukivektorikone

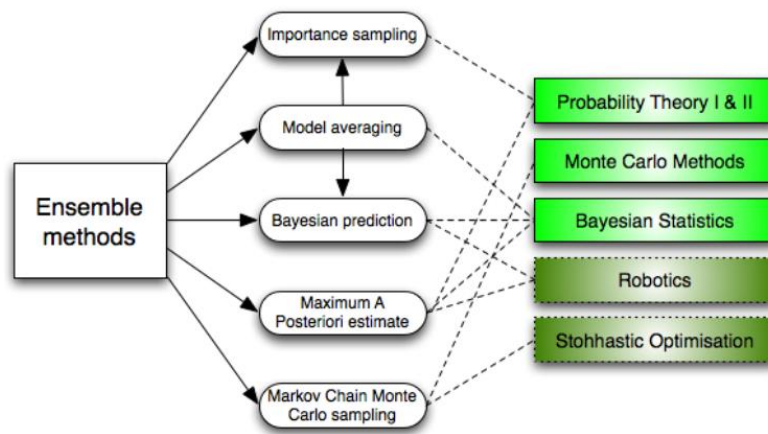
Tukivektorikone (SVM, Support Vector Machine) on binääriluokittelualgoritmi, jossa tehdään lineaarista luokittelua piirreavaruudessa. Esimerkkinä joukko kahden tyyppin pisteitä N -ulotteisessa paikassa (kuvio 8), SVM tuottaa $(N-1)$ -dimension hypertason näiden pisteiden erottamiseksi kahteen ryhmään. (The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know n.d.)



KUVIO 8. Tukivektorikone (The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know n.d.)

4.6 Ensemble-menetelmät

Ensemble-menetelmät ovat yhdistelmätoiminnollisia oppimisalgoritmeja (kuvio 9), jotka rakentuvat joukosta peräkkäisiä luokittelijoita ja luokittelevat sitten uusia datapisteitä ottamalla ennusteidensa aiemmat kertoimet huomioon. Alkuperäinen ensemble-menetelmä on Bayesian keskiarvotus, mutta uudemmat algoritmit ovat tehokkaampia, sisältäen muun muassa parempia virheenkorjaus-, boosting- ja bagging tekniikoita. (The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know n.d.)



KUVIO 9. Ensemble-menetelmät (The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know n.d.)

4.7 Klusterointi

Klusterointialgoritmien tehtävänä on ryhmitellä joukko objekteja siten, että saman ryhmän kohteet ovat samankaltaisempia toisiinsa nähden kuin muiden ryhmien jäseniin verrattaessa. K-means (kuvio 10) on eräs tunnetuimpia klusterointimenetelmiä.

1. Valitse satunnaiset alkiot klustereiden keskipisteiksi.
2. TOISTA
3. Sijoita kukin aineiston alkio siihen klusteriin, jonka keskipiste on lähinnä.
4. Korvaa kunkin klusterin keskipiste klusterin alkioden keskiarvovektorilla.
5. KUNNES (klustereiden keskipisteet eivät enää muutu)

KUVIO 10. K-means algoritmi (Klusterointimenetelmät 2005)

K-means käyttää kahta optimaalisuuskriteeriä, joita vuorottelemalla sen onnistuu optimoimaan lokaalisti kaavan (2) keskineliövirheen tavoitefunktion. Korottomalla datapisteen etäisyydet korotetaan klustereiden keskipisteiden toiseen potenssiin ja lasketaan niiden keskiarvo.

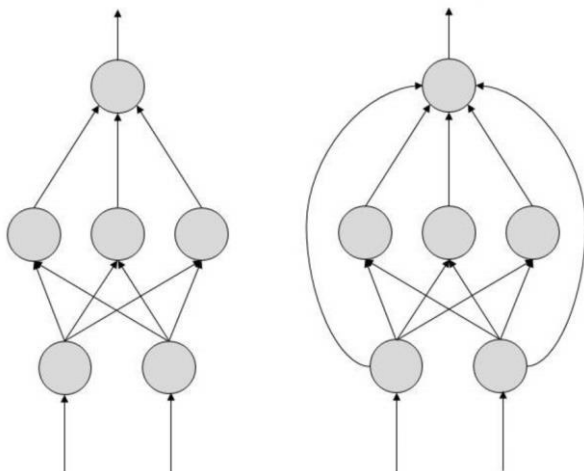
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(x_i, c_{p_i})^2 \quad (2)$$

MSE (Mean Square Error), jossa N on aineiston alkoiden lukumäärä, x_i aineiston i :s alkio, c_{p_i} sen klusterin keskipiste, johon alkio x_i kuuluu, ja $d(x_i, c_{p_i})$ on täten aineiston i :nnen alkion ja klusterinsa keskipisteen välinen euklidinen etäisyys. (Klusterointimenetelmät 2005.)

4.8 Neuroverkot

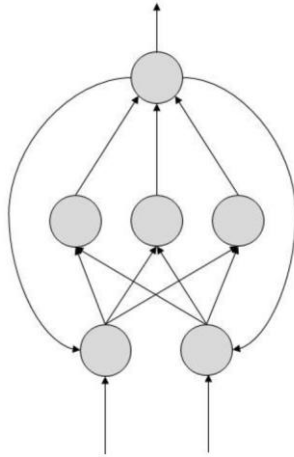
Erilaisia neuroverkkotyyppisiä kuten MLP (Multi Layer Perceptron) ja RNN (Recurrent Neural Network) rakenteita kuvaavat verkkotopologiat. Käytössä on erilaisia tyyppisiä, eteenpäinsyöttäviä ja takaisinkytkettyjä.

Eteenpäinsyöttävässä topologiassa tietovirta on yksisuuntaista. Yksikkö lähettää tietoja toiselle yksikölle, josta se ei saa tietoja takaisinpäin. Topologia ei sisällä palaussilmukoita (kuvio 11). Tätä tyyppiä käytetään mallien generointiin, tunnistamiseen ja luokittelemiseen. Sekä syöttö, että ulostulo ovat kiinteitä. (A.I tutorial n.d.)



KUVIO 11. Eteenpäinsyöttävä topologia (A.I tutorial n.d.)

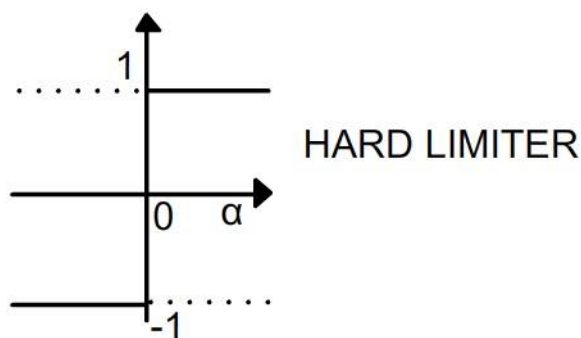
Takaisinkykytyvässä (kuvio 12) topologiassa palautelenkit ovat sallittuja. Ne voivat käyttää sisäistä muistia tulojen sekvenssien käsittelemiseksi, mitä hyödynnetään esimerkiksi puheentunnistuksessa.



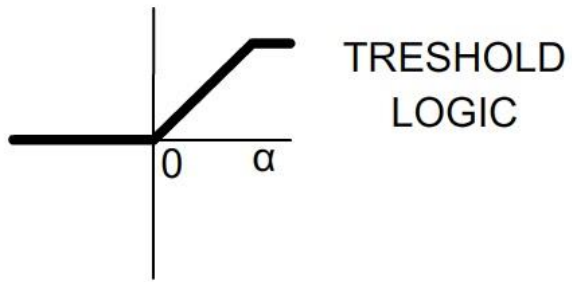
KUVIO 12. Takaisinkykytyvä topologia (A.I tutorial n.d.)

Esitetyissä topologiakaavioissa kukin nuoli edustaa kahden hermosolun välistä yhteyttä ja ilmaisee tiedon kulkua. Jokaisella yhteydellä on paino, kokonaisluku, joka ohjaa kahden neuronin välistä signaalia. Jos verkko synnyttää toivotun kaltaisen lähdön, painoja ei tarvitse säätää. Jos verkko kuitenkin tuottaa epäsuotuisan tulosteen tai virheen, järjestelmä muuttaa painotukset myöhempien tulosten parantamiseksi. (A.I tutorial n.d.)

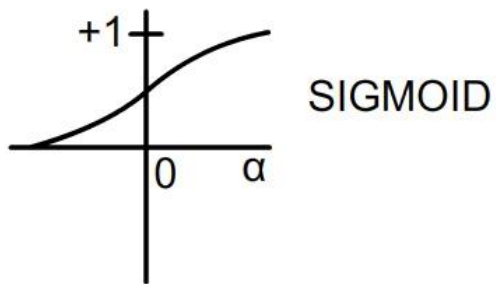
Neuronin tulosteen määrittävät lineaarikombinaatio ja aktivointifunktio. Kolme yleisintä aktivointifunktiota ovat askelfunktio (kuvio 13), identiteettifunktio (kuvio 14) ja sigmoidifunktio (kuvio 15).



KUVIO 13. Askelfunktion tuloste (Foto.aalto n.d., muokattu)



KUVIO 14. Identiteettifunktion tuloste (Foto.aalto n.d., muokattu)



KUVIO 15. Sigmoidifunktion tuloste (Foto.aalto n.d., muokattu)

5 TEKOÄLYN MÄÄRITTELY

Alan Turing esitti 1950-luvulla kysymyksen, voivatko koneet ajatella. Hänen määritelmänsä koneen älykkyydelle oli toiminta tavalla, jota ei erota ihmisestä. Tällä perusteella älykkyys voidaan määritellä funktionaalisuuden perusteella. Yhtä yleisesti käytettyä määritelmää tekoälylle ei kuitenkaan ole, mutta usein käytetty määritelmä on järjestelmän kyky toimia tavoitteellisesti ja ympäristöönsä ennakoiden. Käytännössä tämä määritelmä ei kuitenkaan kata läheskään kaikkia tekoälyiksi kutsuttuja järjestelmiä. Määritelmien kirjavuus vaatii tarkkuutta tehtyjen tutkimusten tulkinnassa ja useissa tapauksissa tekoälyä käytetään tietoteknistymisen (digitalisaation) synonyyminä. (Tekoälyaika 2018.)

Haastavaa tekoälyn määrittelystä tekee määrittelyiden vaihtelevuus. Tulkintoja on useita ja tutkimusaiheena aihe elää sitä mukaa kun tekniikka kehittyy. Tässä opinnäytetyössä määritellään tekoäly yleisellä tasolla.

5.1 Määrittely

Lähtökohtaisesti ajatellaan tekoälyn olevan ihmisälyyn pohjautuva vaste erilaisiin tilanteisiin. Tekoälyn määrittely pohjautuu useimmiten käsitteisiin autonomisuus ja adaptiivisuus. Autonomisuus pohjautuu ajatukseen, jossa tekoälyyn pohjautuva laite tai ohjelmisto pystyy suorittamaan tehtäviä ilman toistuvaa ohjausta. Adaptiivisuus tarkoittaa sopeutumiskykyä ja tekoälyyn viitatessa kykyä oppia toiston tai virheiden kautta, jolloin suorituskyky parantuu.

Kansanomainen tulkinta on, että tekoälyä on mikä tahansa laite tai ohjelma, joka pystyy tekemään muutakin kuin yksinkertaisia opetettuja päätelmiä (Seikku, blogi 2018).

Tekoälyä voidaan luokitella myös termein yleinen (General AI) ja kapea (Narrow AI). Kapean tekoälyn kapasiteetti on ratkaista tehtävä kerrallaan. Yleisellä tekoälyllä viitataan laitteisiin, joilla kapasiteettia olisi ratkaista ongelmia useampia. Käytännössä kaikki nykypäivän tekoälyratkaisut ovat kapeaa tekoälyä.

Jaottelua voidaan tehdä myös vahvan ja heikon tekoälyn mukaisesti. Heikko tekoäly tarkoittaa ihmisen luomaa järjestelmää ja logiikkaa. Kaikki nykypäivän tekoälyratkaisut ovat heikkoa tekoälyä. Vahva tekoäly viittaisi tietoiseen tekoölyyn, joka erityisesti elokuvissa esitetään tekoälyn muotona. (Tekoäly.info.) Kolmas käytössä oleva termi on supertekoäly, singulariteetti. Käsite on puhtaasti hypoteettinen ja tarkoittaa tilaa, jossa tekoälystä tulisi jotain niin yli-inhimillistä, että tavallinen ihminen ei sitä enää ymmärtäisi. (Tekniikka ja talous 2018.)

5.2 Esimerkkejä tekoälystä

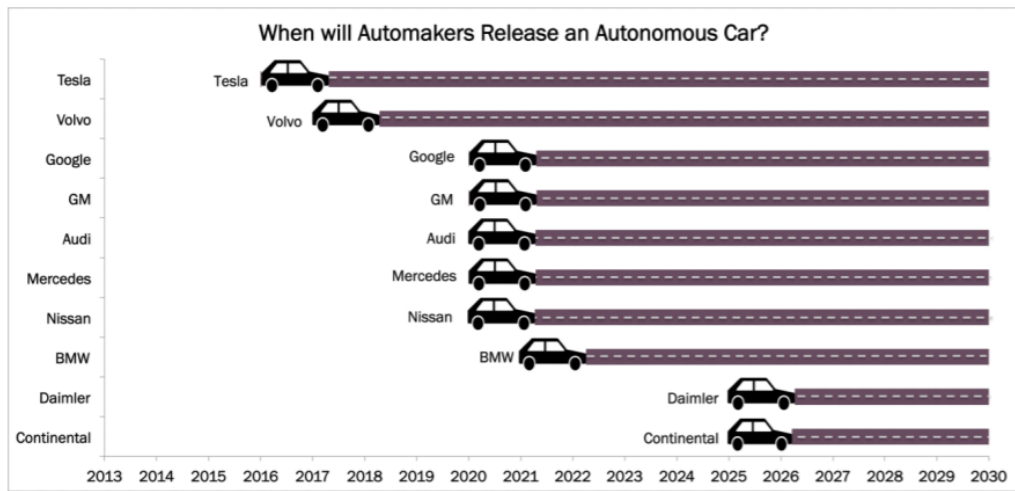
Digitalisoitumisen vaikuttaa vahvasti tekoälyn ja sovellusten kehitykseen. Puheentunnistus, konenäkö, hakusuositukset ja sähköpostien suodatus ovat kaikki esimerkkejä koneoppimista hyödyntävästä tekoälystä (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Tekoälyn käyttökohteita (Tekoäly.info n.d., muokattu)

Amazon	Käyttää tekoälyä tuotesuositteluun, asiakaskäyttäytymisen ennustukseen ja palvelin kapasiteetin optimointiin
Apple	Käyttää tekoälyä kuluttajille suunnatuissa roboteissa. Cozmoa kuvataan kehittyneimmäksi robotiksi, joka on suunnattu kuluttajille.
Facebook	Käyttää tekoälyä parantamaan suorituskykyä sekä selaamaan datan läpi, jota sosiaalisessa mediassa jaetaan
Google	Käyttää tekoälyä hakukoneiden optimoimiseen, puheen tunnistamiseen ja sähköposti palveluihin, lisäksi googlolla on muita lukuisia tekoäly projekteja kehitteillä. Google keskittyy pääasiassa koneoppimiseen, joka edistää googlen kielen ja puheen tunnistamista, lisäksi se edistää visuaalista prosessointia ja ennustus kykyä.
IBM	Keskittyy watson:iin, joka on yksi suurimmista profilointi tekoäly projekteista. Watson on supertietokone, joka etsii merkitystä/oivalluksia ja syvempää ymmärrystä suuresta määrästä järjestyksettömästä datasta koneoppimisen ja kielen prosessoinnin perusteella.
Twitter	Esitteli jonkin aikaa sitten ns. Algoritmisen aikajanana, joka arvioi twiittejä asiaankuuluvuuden mukaan, ennemmin kuin perinteisen aikajärjestyksen mukaan. Yritys käyttää tekoälyä myös siihen mitä twiittejä käyttäjille suositellaan aikajanalla.
Zebra Medical Vision	Käyttää tekoälyä tarjoamaan syväoppimisen tekniikoita radiologiaan. He väittävät voivansa ennustaa useita sairauksia paremmin kuin ihminen, tutkimalla isoja kirjastoja lääketieteellisiä kuvia.
Intel	Keskittyy optimoituun koneoppimisen sovelluskehysiin ja kirjastoihin.

Hahmontunnistuksella (Pattern recognition) saadaan datasta irti kaavoja ja malleja. Tätä hyödynnetään esimerkiksi tietotekniikassa, robotiikassa ja lääketieteessä. Facebookin mukaan henkilön kasvot voidaan tunnistaa kuvista jopa 97 prosentin tarkkuudella, vaikka tämä ei katsoisi suoraan kameraan.

Robotiikkaan liittyvien tekniikoiden kehittyminen on nopeaa ja esineiden internet (Internet of Things, IoT) vauhdittaa sitä entisestään. Ilmiöllä tarkoitetaan verkon laajentamista laitteisiin, kuten jo nyt autoihin (kuvio 16). Tulevaisuudessa siintää terveydenhoito, jossa lääkäri voisi työstää tekoälyn tuottamaa terveysdataa ja jopa hienokirurgiaa voitaisiin hoitaa robotiikalla (Leskinen, Digitalisaatio muuttaa terveydenhuoltoa 2017.)



KUVIO 16. Autovalmistajien julkaisuajankohtien ennuste (Liikenne ja viestintäministeriö 2016)

6 OHJELMOINTIKIELET

Suosituimmat ohjelmointikielet tekoälylle vuonna 2017 olivat Lisp, Prolog, Python, Java ja C++, joista tässä työssä esitellään Lisp-ohjelmointikieli.

6.1 Lisp-ohjelmointikieli

John McCarthy keksi funktionaalisen Lisp (List Processing) -ohjelmointikielen vuonna 1958 ja se on edelleen yksi vanhimmista käytössä olevista ohjelmointikielistä. Vuonna 1961 James Slagle kirjoitti Lisp-ohjelmointikielellä ensimmäisen symbolisen integrointi ohjelman (SAINT). Funktiot esitetään listoina, joiden ensimmäinen alkio on käytettävän funktion nimi ja loput alkiot ovat funktion argumentteja, joita kutsutaan atomeiksi.

(funktio parametri1 parametri2)

Symboleilla T ja NIL on omat merkityksensä. T on totuusarvo ja NIL on epätosi. Loogisissa lausekkeissa mikä tahansa epätodesta poikkeava arvo tosin katsotaan todeksi. Listan rajoittimina toimivat kaarisulut ja alkioiden erottimina sanavälit (kuvio 17). Yhteisesti lausekkeita kutsutaan symbolisiksi lausekkeiksi tai s-lausekkeiksi.

1	(setq x 10)	
2	(setq y 31.234)	
3	(setq z nil)	10
4	(setq a 123.45678)	31.234
5	(setq b 12.0e+3)	NIL
6	(setq c 248/2)	123.45678
7		12000.0
8	(print x)	124
9	(print y)	
10	(print z)	
11	(print a)	
12	(print b)	
13	(print c)	

KUVIO 17. Syntaksi

Kielestä on kehitetty myös alakieliä, joista tunnetuin on Common Lisp -ohjelmointikieli.

Lisp-ohjelmointikielenä ylittää dynaamisuudellaan moderneja skriptauskielemiä ja on edelleen yksi suosituimpia tekoälyn koodauskielistä. (Lisp tutorial n.d.)

7 ETIIKKA JA MORAALI

Tekoälyn yleistyminen tulee muuttamaan maailmaa ja sen vuoksi siihen liittyy myös eettisiä ja moraalisia kysymyksiä. Tekoälyteknologioiden näkökulmasta voidaan tunnistaa moraalifilosofian, soveltavan etiikan, teknologian etiikan ja sodankäynnin etiikan osat alueet. Algoritmeihin ja digitalisaatioon pohjautuvan päätöksenteon tulo tulee yhä enemmän harkinnanvaraiseksi ja tulee huomioitavaksi yhä enemmän tulevaisuudessa. Lainsäädäntö ja sen jakautuminen EU:n ja jäsenvaltioiden välillä ei ole vielä selvillä tekoälyä koskevissa säädöksissä. (Tekoälyn käsitettä 2018.)

Siinä missä tekoälyn ja digitalisaation povataan helpottavan työntekoa rutiininomaisten tehtävien poistuessa, on toisaalta myös arveltu robotiikan syrjäyttävän ihmiset jopa miljoonista toimenkuvista. Toisaalta optimistisempi näkökulma on, että tekoälyn kehittyminen toisi mukanaan myös uudenlaisia ammatteja. Eettisen katselmoinnin haasteena on huomioida tekoälyn käytön vaikutus erilaisissa yhteiskuntaluokissa, jotta muutokset eivät loisi epätasa-arvoa.

Suurten tietomassojen keräämisestä, tallentamisesta, analysoimisesta ja havainnollistamisesta tulee helpompaa. Kääntöpuolella haasteeksi nousee kyberturvallisuus. Kyberturvallisuus rakentuu informaatioteknologiasta ihmisten, sekä organisaatioiden toimintaprosesseista. Sitä mukaa kun kehitetään uutta, kehittyvät myös hakkereiden käyttämät menetelmät. Näin ollen yhä tärkeämpään osaan tulee nousemaan myös ne tiedot, joita annamme itsestämme instituutioiden ja organisaatioiden järjestelmiin ja tietokantoihin tallentaa. Myös käsitys yksityisyydestä tulee muuttumaan. Haasteena tulevaisuudessa on turvata järjestelmät ja ennaltaehkäistä ei-toivottuja sivuvaikutuksia.

Uutena ilmiönä on myös tullut esiin myös algoritminen syrjintä. Jos suuresta määrästä henkilö dataa seulotaan ominaisuuksien perusteella voi tämä asettaa ihmiset eriarvoiseen asemaan riippuen koneelle opetetuista tai annetuista parametreista. Kuinka saamme luotua tasa-arvoa korostavia algoritmeja samalla kun pyrimme järjestämään tai luokittelemaan dataa? Tulevaisuuden haasteena kehittäjille tulee olemaan eettinen ohjelmointi.

8 POHDINTA

Käsitteenä tekoäly on haastava määriteltävä jatkuvan kehityksen ja asiayhteyksiin riippuvuuden takia. Tekoäly tietotekniikassa, kuten ihmisten taidot elämässä, eivät ole yksiselitteisesti määriteltävissä, vaan koostuvat laajasta skaalasta erilaisia ominaispiirteitä. Teknisen puolen läpikäynti antaa kuitenkin kattavan käsityksen tämänhetkisestä tilasta. Tekoäly on tietojenkäsittelytieteen osa-alue ja koneoppiminen puolestaan tekoälyn osa-alue. Tekoälyn liittyvien järjestelmien toiminta perustuu pitkälti datasta oppimiseen. Sovelluskohteesta riippuen ovat jotkin tekniikat vahvempia kuin toiset, joten opinnäytetyössä esiteltiin laajasti koneoppimisen piirteitä, jotka ovat myös yksi tietotekniikan tulevaisuuden keskeisimmistä suuntauksista.

Tekoälyn, sekä järjestelmien kehittyessä asia tulee ajankohtaisemmaksi enenevässä määrin sekä arjessa, että työpaikoilla. Informaatioteknologian mahdollistama automaatio vaikuttaa jo lähes kaikkiin toimialoihin ja merkittäviä uudistuksia on jo nähtävissä liiketoiminnan, teknologia- ja lääketieteellisuuden aloilla. Haasteena tulevaisuudessa tulee olemaan pyrkimys vähintäänkin teoria tasolla ymmärtämään tulevat kehityspiirteet ja näiden välillinen tai välitön vaikutus elämään.

Jotta tekoälyn yleistymisen vaikutus konkretisoituisi, nostettiin opinnäytetyössä esiin myös tekoälyyn liittyvä eettinen näkökulma. Positiivisten muutosten lisäksi myös negatiivisten vaikutusten riski kasvaa. Asian tiedostaminen ja käytösmallien mukauttaminen ennaltaehkäisee ei-toivottuja vaikutuksia. Tärkeimmät päätökset liittyen siihen kuinka yhteiskuntamme onnistuu mukautumaan tekoälyn tuomiin muutoksiin, eivät ole teknologisia, vaan yhteiskunnallisella tasolla ratkaistavia asioita, yksilön vastuuta unohtamatta.

Opinnäytetyön aiheen olisi voinut rajata koskettamaan vain yhtä tai kahta tekoälyn osa-alueita ja perehtyä pelkästään niihin mutta toisaalta käsitteen kokonaisvaltainen laajuuden ymmärtää esittelemällä aihetta kattavasti useita osa-alueita esitellen. Aihetta voisi käsitellä laajemminkin, vertailemalla esimerkiksi valtiokohtaista kilpailua ja kehitystä tai Euroopan tilastollista osuutta verrattuna globaaliin tasoon.

LÄHTEET

Creuz, Mathias. 4.5.2017. Luonnollinen kieli ja tekoälyn kognitio. Luettu 4.12.2018
https://www.defmin.fi/files/3781/Esitys4_Creutz2017_Luonnollinen_kieli.pdf

Foto.aalto. N.d. Hahmontunnistus. Luettu 26.11.2018. <https://foto.aalto.fi/opus/270/esitelmat/1996/tturkka/body.htm>

HistoryofInformation. N.d. Jeremy Norman's HistoryofInformation. Luettu 25.11.2018. <http://www.historyofinformation.com/expanded.php?id=954>

Honkela. N.d. Neuroverkot, johdatus moderniin tekoälyyn. Luettu 24.11.2018.
<http://lipas.uwasa.fi/stes/step96/step96/honkela2/>

Ibiblio. N.d. Internet Pioneers. Luettu 24.11.2018. <https://www.ibiblio.org/pioneers/engelbart.html>

Independent. 1.11.2011 Independent news and articles. Luettu 25.11.2018
<https://www.independent.co.uk/news/obituaries/john-mccarthy-computer-scientist-known-as-the-father-of-ai-6255307.html>

IteWiki. N.d. Koneoppiminen. Luettu 26.11.2018 <https://www.itewiki.fi/opus/koneoppiminen/>

Joutsijoki. 30.8.2017. Koneoppiminen. Luettu 26.11.2018. <https://coss.fi/wp-content/uploads/2017/12/4-Koneoppiminen.pdf>

Le, James. N.d. KDnuggets, The 10 Algorithms Machine Learning Engineers Need to Know. Luettu 5.12.2018. <https://www.kdnuggets.com/2016/08/10-algorithms-machine-learning-engineers.html>

Kämäräinen, Joni. 12.8.1999. Hahmontunnistus ja luokittelu. Luettu 26.11.2018.
<https://www.it.lut.fi/project/VQCCD/thesishtml/node13.html>

Lehtinen, Jukka. 1.5.2015. Tieteessä tapahtuu. Luettu 27.11.2018. <https://journal.fi/tt/article/download/52748/16435/>

Leskinen, Sanna. 19.7.2017. Tivi. "Lääkäri ei olekaan enää kaikista viisain" – digitalisaatio muuttaa terveydenhuoltoa. Luettu 27.11.2018 https://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/laakari-ei-olekaan-ena-kaikista-viisain-digitalisaatio-muuttaa-terveydenhuoltoa-6677079

Sas Insight. N.d. Machine Learning. Luettu 26.11.2018 https://www.sas.com/en_ae/insights/analytics/machine-learning.html

Seikku, Ermo. 5.2.2018. Tivi.blogi. Luettu 24.11.2018. https://www.tivi.fi/Kumppaniblogit/hewlett_packard_enterprise/mika-ihmeen-tekoaly-koneoppiminen-ja-enna-koiva-analytiikka-6699339

Sovelto. N.d. Big Data. Luettu 5.12. <https://www.sovelto.fi/ratkaisut/ict-ja-uudet-tek-nologiat/big-data/>

Tekniikka ja Talous. 27.4.2017. Fujitsu-johtaja varoittaa tekoälyn vaaroista. Luettu 28.11.2018 <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/ict/fujitsu-johtaja-varoittaa-tekoalyn-vaaroista-voi-olla-ihmiskunnan-kauhistuttavin-ase-6644724>

Tekoälyaika. 20.6.2018. Tekoälyajan työ raportti. Luettu 4.12.2018. <https://www.tekoalyaika.fi/raportit/tekoalyajan-tyo/liite-2-tekoalyn-maarittelya/>

Tekoäly.info. N.d. Tietosivusto. Luettu 28.11.2018. https://xn--tekoly-eua.info/tekoaly_historia/

TTY. N.d. Datatiede. Luettu 27.11.2018. <https://www.datatiede.fi/mika-datatiede/>

Tutorialspoint. N.d. A.I Tutorial. Luettu 1.12.2018. https://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_neural_networks.htm

Tutorialpoint.. N.d. Lisp tutorial. Luettu 28.11.2018. <https://www.tutorialspoint.com/lisp/>

Lehto, Neittaanmäki, Nyrhinen, Ojalainen, Pölönen, Rautiainen, Ruohonen, Tuominen, Vähäkainu, Äyrämö S., Äyrämö S.M. 18.9.2018. Tekoälyn perusteita ja sovelluksia. Luettu 5.12.2018. <https://helituominen.files.wordpress.com/2018/09/kirja1809.pdf>

Liikenne ja viestintäministeriö. 2.2016. Robotiikan taustaselvityksiä. Luettu 5.12.2018. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/64936/Julkaisu%202-2016.pdf?sequence=1>

Teknologiantutkimuskeskus VTT. 14.6.2018. Tekoälyn käsitekartta. Luettu 3.12.2018. <https://www.vtt.fi/Documents/uutiset/DataK%C3%A4sitekartta%20AI.pdf>

Tuononen, Marko. 25.2.2005. Klusterointimenetelmät. Luettu 5.12.2018 <http://cs.joensuu.fi/~mtuonon/Klusterointimenetelmat.pdf>

VR Track | Mitä on konenäkö. 7.9.2016. Mitä konenäkö tarkoittaa. Katsottu 28.11.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=p9KnMz0HaMU>