Tekoälyn käsitekartta

- VN-TEAS projekti
  Tekoälyn kokonaisjäsennys ja kansallinen osaamiskartoitus
- Yhteyshenkilö: Heikki Ailisto, tutkimusprofessori
  Teknologiantutkimuskeskus VTT Oy

Tausta ja tarkoitus

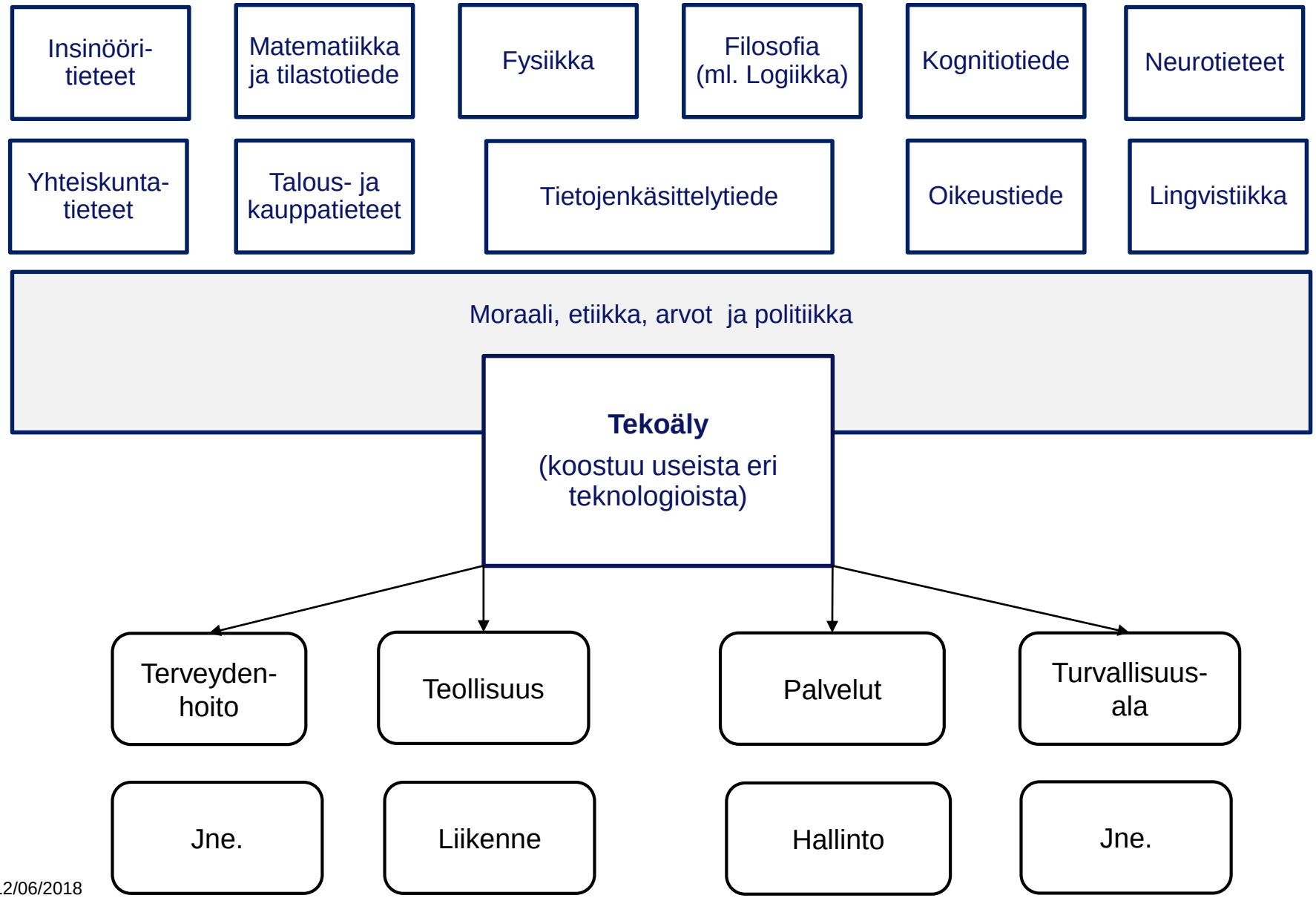
Tekoäly toimii keskeisenä teknologisena ajurina, joka johtaa paitsi tuottavuuden parantumiseen eri sektoreilla myös uusiin työtapoihin, prosesseihin ja liiketoimintamalleihin. Suomella on hyvät edellytykset menestyä muutoksessa.

Keskeinen kysymys on, miten voimme kansakuntana parhaiten hyödyntää digitalisaation ja tekoälyn tuomat mahdollisuudet lisäarvon luomisessa ja tuottavuuden kasvattamisessa.

Tätä varten täytyy ensin luoda laaja ymmärrys tekoälyn kokonaisuudesta. Jotta tämä ymmärrys on myös viestittävissä, se on esitettävä riittävän yleistajuisesti ja selkeästi. Jäsentyneen ymmärryksen ja tietopohjan rakentaminen on tämän selvityksen keskeinen tehtävä. Selvityksen tavoitteena on tuottaa tekoälyn kokonaiskuva osaamislähtöisesti. Tekoälyn eri ulottuvuuksien ja osa-alueiden tieteellis-teknologinen kartoitus sekä käsitteellinen jäsennys on kuvattu väliraportissa (VIITE-LINKKI) ja sen tulokset on tiivistetty tähän **käsitekarttaan**.

Käsitekartta on *tekstiä, kuvia sekä sisäisiä ja ulkoisia linkkejä* käyttävä esitysmuoto, jossa lukija voi saada yleiskuvan alan käsitteistä ja tarvittaessa porautua hieman syvemmälle.

Tekoäly, taustatieteet ja sovellusalueet



Mitä tekoäly on?

Tekoäly on käsitteenä laaja ja moniulotteinen.

- Tekoäly ei ole yksi teknologia, vaan nimikkeen alle kuuluu joukko erilaisia menetelmiä, teknologioita, sovelluksia ja tutkimussuuntia.
- Voidaan myös ajatella, että tekoäly, sen menetelmät, teknologiat ja sovellukset ovat vain yksi osa digitalisaation laajemmassa viitekehyksessä.
- Tekoäly liittyy useisiin tieteenaloihin: filosofiaan, kognitio-, kieli- ja neurotieteisiin, matematiikkaan, fysiikkaan sekä insinööritieteisiin.

Määrittelemme tekoälyn seuraavasti Russellia ja Norvigia mukaillen:

> “Tekoälyn avulla koneet, laitteet, ohjelmat, järjestelmät ja palvelut voivat toimia tehtävän ja tilanteen mukaisesti järkevällä tavalla.”

Tekoälykentän jäsennys

Tässä käsitekartassa tekoälykenttä jäsennetään

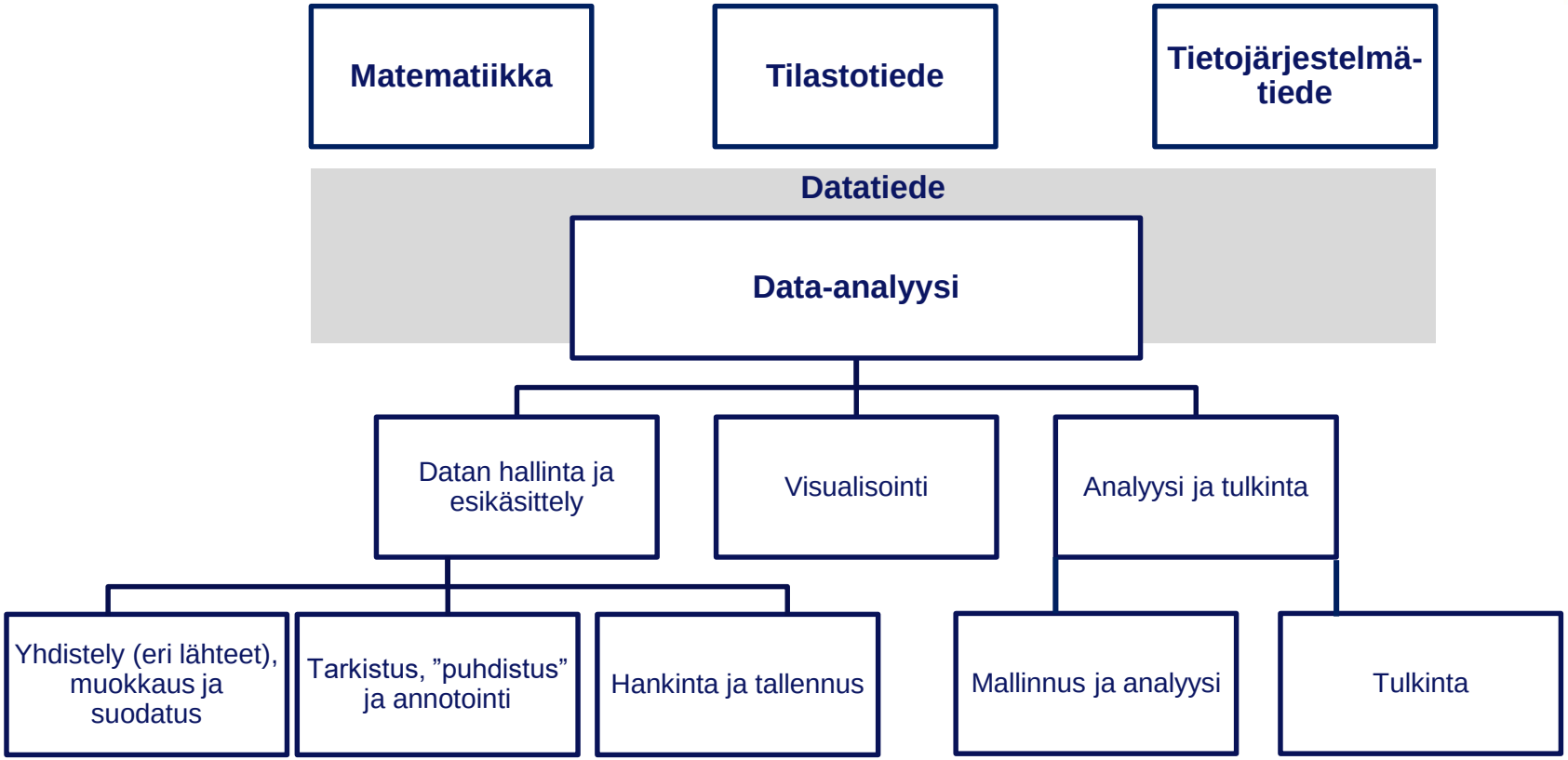
- ensisijaisesti kymmeneen osaamisalueeseen mukaisesti
- toissijaisesti tekoälyteknologioiden ja menetelmien mukaan
- kolmanneksi tekoälyn kypsyysasteiden mukaan
- neljäs kulma on tutkimuksen koulukuntien mukainen: connetionist vs. symbolic vs. embodied AI.

Linkkejä joillekin hyödyllisille verkkosivuille on koottu yhteen.

Tekoäly: 10 keskeistä osaamisaluetta

1. Data-analyysi
2. Havainnointi ja tilannetietoisuus
3. Luonnollinen kieli ja kognitio
4. Vuorovaikutus ihmisen kanssa
5. Digitaidot työelämässä, ongelmanratkaisu ja laskennallinen luovuus
6. Koneoppiminen
7. Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset
8. Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit
9. Robotiikka ja koneautomaatio - tekoälyn fyysinen ulottuvuus
10. Etiikka, moraali, regulaatio ja lainsäädäntö

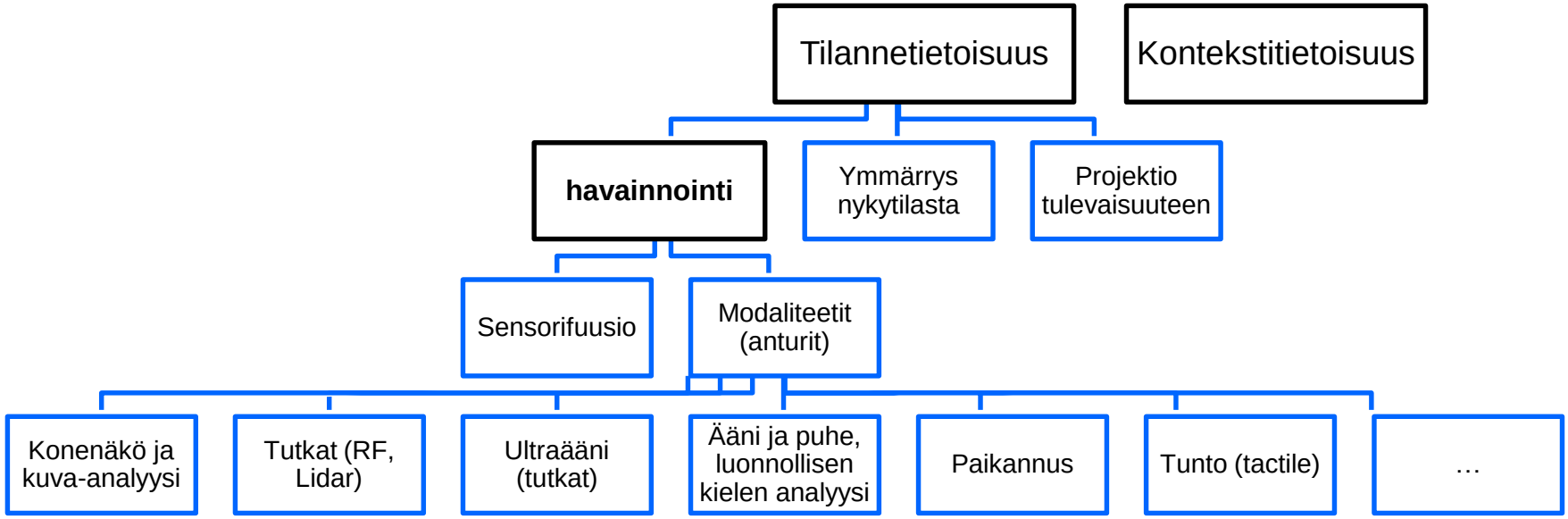
Data-analyysi



Data-analyysi (data analytics, data analysis) tarkoituksena on jalostaa dataa korkeamman tason tiedoksi hyödyllisten johtopäätösten tekemiseksi. Data-analyysin piiriin katsotaan kuuluvaksi esimerkiksi seuraavat tutkimusalat: tilastotieteen menetelmät: tilastollinen analyysi; mallit ja estimointimenetelmät; hahmontunnistus (pattern recognition); koneoppiminen (machine learning); tiedon louhinta (data mining) ja bioinformatiikka (bioinformatics).

Lisäksi data-analyysin kannalta merkittäviä tutkimus- ja sovellusalueita ovat suurten datamassojen (big data) käsittelyyn vaatimat tietokonearkkitehtuurit ja toteutusteknologiat; tietosuojaan liittyvä tutkimus ja data-analyysin automatisoinnin menetelmät.

Havainnointi ja tilannetietoisuus

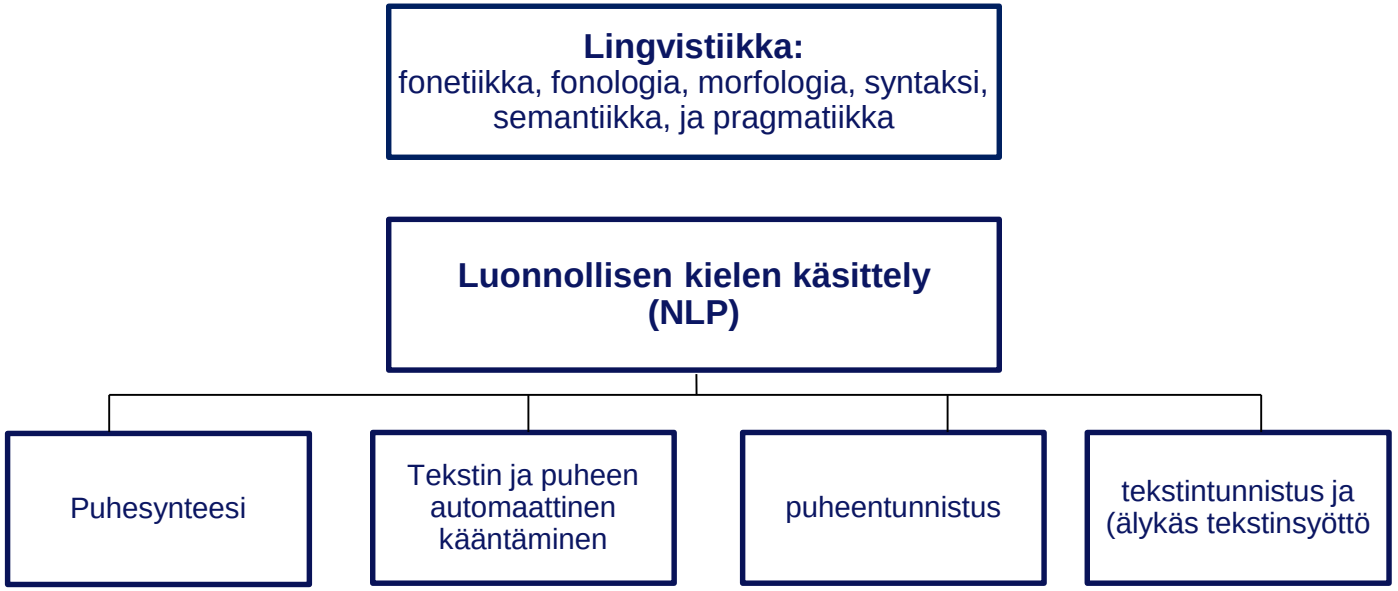


Havainnointi ja tilannetietoisuus (perception and situation awareness) ovat edellytyksiä järjestelmän autonomisuudelle. Tilannetietoisuudella tarkoitetaan tietyssä ympäristössä olevien toimijoiden havainnointia, niiden tarkoitusten ymmärtämistä ja tähän perustuen ennakointia niiden tilasta lähitulevaisuudessa.

Tilannetietoisuuden tutkimuksessa on seuraavia osa-alueita:

- yksilön tilannetietoisuus, joka tutkimusaiheena liittyy havaintopsykologiaan, psykologiaan, ergonomiaan ja kognitiotieteisiin
- ryhmän tilannetietoisuus, joka liittyy mm. työpsykologiaan ja sosiologiaan
- ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen tutkimus, jonka taustalla on ergonomia, tiedon ja datan visualisointi, havaintopsykologia
- tilannetietoisuutta tukevan teknologian tutkimus.

Luonnollinen kieli ja kognitio



Luonnollisen kielen käsittely (Natural Language Processing, NLP) tarkoittaa tietokoneohjelmien käyttämistä luonnollisen tekstin ja puheen analysointiin ja tuottamiseen. Ala sisältää seuraavat osa-alueet: konekääntäminen, automaattinen puheentunnistus, puhesynteesi, tekstintunnistus, älykäs tekstinsyöttö ja puheen kääntäminen.

Kognitio on luonnollisen tai keinotekoisen systeemin kyky ennakoida tarve toimille (action) ja arvioida näiden tulos tai vaikutus ennakolta. Kognitiotieteen tutkimuskohteita ja -kysymyksiä ovat ajattelu, havainnointi ja toiminta; tietämys ja kielenymmärtäminen (cognitive linquistics, psycholinquistics); oppiminen ja kehitys, kuinka yksilö oppii ja hankkii ymmärrystä ja tietoa; muistin toiminta; tekoäly (keinona ymmärtää ihmisen kognitiota); huomion kohdistaminen; kuinka yksilö poimii aistien tuottamasta datasta olennaisen ja keskittää huomionsa siihen; ja tietoisuus.

Semanttisen webin tutkimus ja teknologiat voidaan nähdä liittyvän luonnollisen kielen tutkimukseen ja tekoälyyn.

Vuorovaikutus ihmisen kanssa

Vuorovaikutus ihmisen kanssa on tärkeässä roolissa myös tekoälyteknologioita käyttävien järjestelmien hyödyntämisessä. Osa järjestelmistä, esimerkiksi suosittelujärjestelmät, palvelurobotit, chat-botit ja ns. henkilökohtaiset assistentit on nimenomaan rakennettu palvelemaan ihmistä ja toimimaan vuorovaikutuksessa hänen kanssaan. Myös päätöksenteon tukena toimiville järjestelmille on olennaista kyetä tarjoamaan tietoa, neuvoja ja suosituksia käyttäjille heille kussakin tilanteessa sopivalla tavalla.

Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksen tutkimus (Human Computer Interaction, HCI tai CHI) on tutkimusala, joka tutkii ja pyrkii ihmisen (käyttäjän) vuorovaikutusta tietokoneen kanssa ja tietokoneen kautta. HCI-tutkimuksen taustatieteitä ovat ergonomia, psykologia ja teknologian tutkimus sekä tietojenkäsittelytiede. Ala voidaan jakaa osa-alueisiin seuraavasti:

- vuorovaikutuksen mallintaminen,
- vuorovaikutuksen suunnittelun ohjeistus,
- tietokonejärjestelmien käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen tutkimus ja vertailumenetelmät (usability and user experience),
- tietokoneiden ja ihmisen vuorovaikutuksen vaikutusten tutkiminen sekä yksilön että organisaatioiden näkökulmasta.
- tunnetekoäly (artificial emotional intelligence, affective computing), esim. ihmisen vireyden tai tunnetilan tunnistus, johon käyttöliittymä mukautuu

Digitaidot työelämässä, ongelmanratkaisu ja laskennallinen luovuus

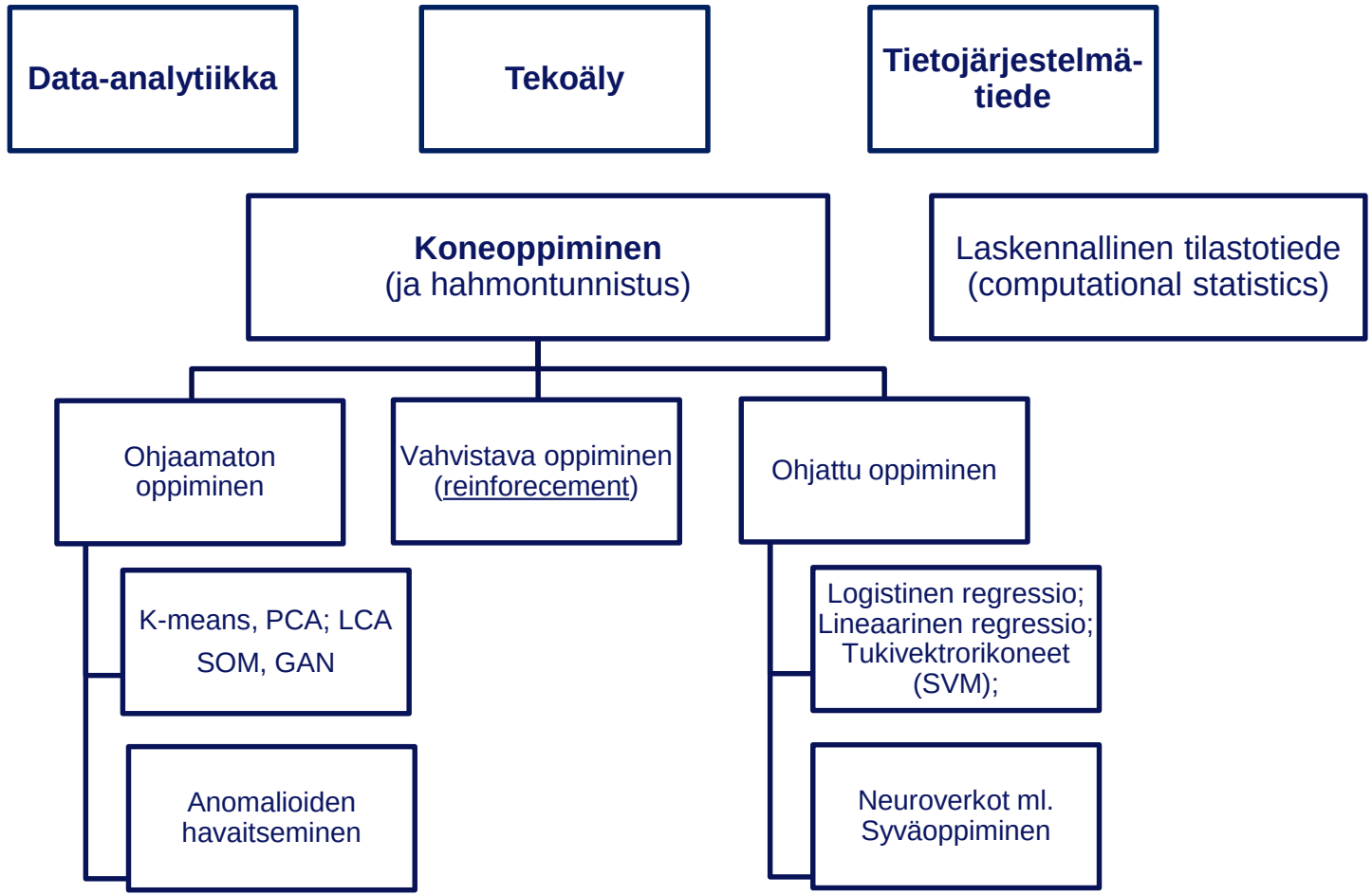
Digitaidot työelämässä perustuvat henkilöiden koulutukseen, kokemukseen ja asenteisiin. Useat tahot, mm. EU (DESI 2018) ja sveitsiläinen kauppakorkeakoulu IMD (IMD 2018), arvioivat kansakuntien digitaitoja ja tiivistävät nämä vertailuluvuiksi ja indekseiksi. Käytettyjä mittareita ja niihin liittyviä tutkimusmenetelmiä ovat

- koulutuksen tulosten vertailu, tunnetuimpana näistä PISA-arvionti,
- koulutuspanostusten mittaaminen, esimerkiksi osuus BKT:sta
- koulutuksen formaalien tulosten mittaaminen, esim. korkeakoulututkinnon haltijoiden osuus aikuisista ja teknisen tai matemaattisen koulutuksen saaneiden osuus
- työvoiman tilastointi ja analysointi, esimerkiksi tilastot tietokoneen käytöstä työssä, ohjelmointi- ja muissa ICT-tehtävissä olevien osuus sekä työuran aikana tapahtuva lisä- ja täydennyskoulutus.

Laskennallinen luovuus (creative computing) ja ongelmanratkaisu vievät tekoälyä nimensä mukaisesti ennen näkemättömälle ja siten ennakoimattomalle alueelle.

Tyypillisiä esimerkkejä laskennallisesta luovuudesta ovat ohjelmien tuottamat runot, tarinat, sävellykset ja kuvat tai kollaasit. Ohjelmat kykenevät myös kirjoittamaan kouluaineita ja koevastauksia, urheilu- ja vaaliuutisia sekä syntetisoimaan mahdollisesti hyödyllisiä yhdisteitä lääke- ja kemianteollisuudelle.

Koneoppiminen



Koneoppiminen (machine learning) on tietokonetekniikan osa-alue, jossa yleensä käytetään tilastotieteen menetelmiä, jotka antavat tietokoneille kyvyn “oppia” datasta (s.o. parantaa suorituskykyään tietyn tehtävän suorittamisessa) ilman eksplisiittistä ohjelmointia.

Koneoppiminen: tuloksia, kritiikkiä ja esimerkki

Niin sanottujen syvien neuroverkkojen (deep neural networks) avulla on saavutettu viime vuosina erittäin merkittäviä ja näyttäviä tuloksia mm. kuvantunnistuksen, puheentunnistuksen ja kielen kääntämisen alueilla. Myös useat verkkokauppojen käyttämät ns. suosittelukoneet perustuvat neuroverkkoihin.

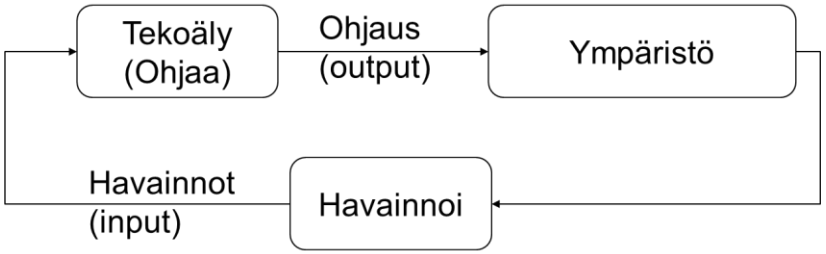
Neuroverkkojen menestys on johtanut siihen, että keskustelussa usein vedetään yhtäläisyysmerkit tekoälyn ja neuroverkkoihin perustuvan koneoppimisen välille. Tämä on liian kapea näkökulma.

On esitetty myös kovaa kritiikkiä, jonka mukaan niiden heikkouksia ovat läpinäkymättömyys; ne käyttävät paljon laskentatehoa ja energiaa; ja ne ovat hauraita (“brittle”), ts. ovat herkkiä syöttötiedon muutoksille ja virheille.

Edellä mainitut ongelmat ovat oikeustieteen näkökulmasta kriittisiä ja voidaan nähdä esteiksi teknologian hyödyntämisessä viranomais- ja tuomiovallan käytössä.

Yksinkertaistettu käytännön esimerkki koneoppimisesta voisi olla seuraava. Toisen asteen oppilaitoksen ongelmana ovat kevätlukukauden aikana tapahtuvat ensimmäisen vuoden opiskelijoiden monet opintojen keskeytykset. Koneoppimisen avulla pyritään tunnistamaan suuren keskeytysriskin oppilaat ja kohdistamaan tukitoimet heihin. Syöttötietona ovat opiskelijan poissaolot syyslukukaudella, peruskoulun päättötodistuksen keskiarvo, opintojen alussa tehdyn motivaatiokyselyn tulokset ja vanhempien koulutustaso. Opetusdatana on kolmen edellisen vuoden opiskelijoiden vastaavat tiedot ja toteutuneet keskeyttämiset.

Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset



Järjestelmätaso ja systeemivaikutukset ymmärretään tässä näkökulmaksi, jossa tekoälyteknologioita ja niiden käyttöä tarkastellaan laajemman järjestelmän kokonaisuuden näkökulmasta (Sage 1992), ikään kuin ylhäältä päin.

Keskeisiä tutkimuskysymyksiä järjestelmätason ja systeemivaikutusten näkökulmasta ovat

- datapohjaisten ja symbolisten tekoälymenetelmien yhdistäminen;
- toisten tieteenalojen ja menetelmien hyödyntäminen tekoälyn kehittämisessä;
- biologisten järjestelmien ja luonnollisen älykkyyden parempi ymmärtäminen, koska se voi johtaa edistysaskeliin yleisen tekoälyn suhteen.

Toinen näkökulma on tekoälymenetelmien käyttäminen systeemisuunnittelun välineenä tai apuna. Insinööritieteen aloja, joilla tekoälyä käytetään suunnittelun apuna ovat elektroniikkapiirien suunnittelu, ohjelmointi, rakennus- ja infrasuunnittelu, konetekniikka, kemiantekniikka ja biolääketiede.

Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit

Ala voidaan jaotella tutkimuksen näkökulmasta seuraaviin osa-alueisiin:

- prosessoritekniikka (ml. uudet neurolaskentaan suunnitellut arkkitehtuurit),
- tietokonejärjestelmät ja arkkitehtuurit (erityisesti ns. big datan käsittelyä palvelevat pilvilaskennan järjestelmät),
- tietoliikenne ja verkkoteknologiat,
- ohjelmistoteknologia ja –arkkitehtuurit; hajautettu laskenta; työkalut,
- tietosuoja, anonymisointi, kryptografia,
- liiketoimintamallien tutkimus ja kehittäminen.

Viime vuosien aikana on siirrytty yksittäisistä tietokoneista kohti pilvilaskentaa. Samalla liiketoimintamallit ovat muuttuneet.

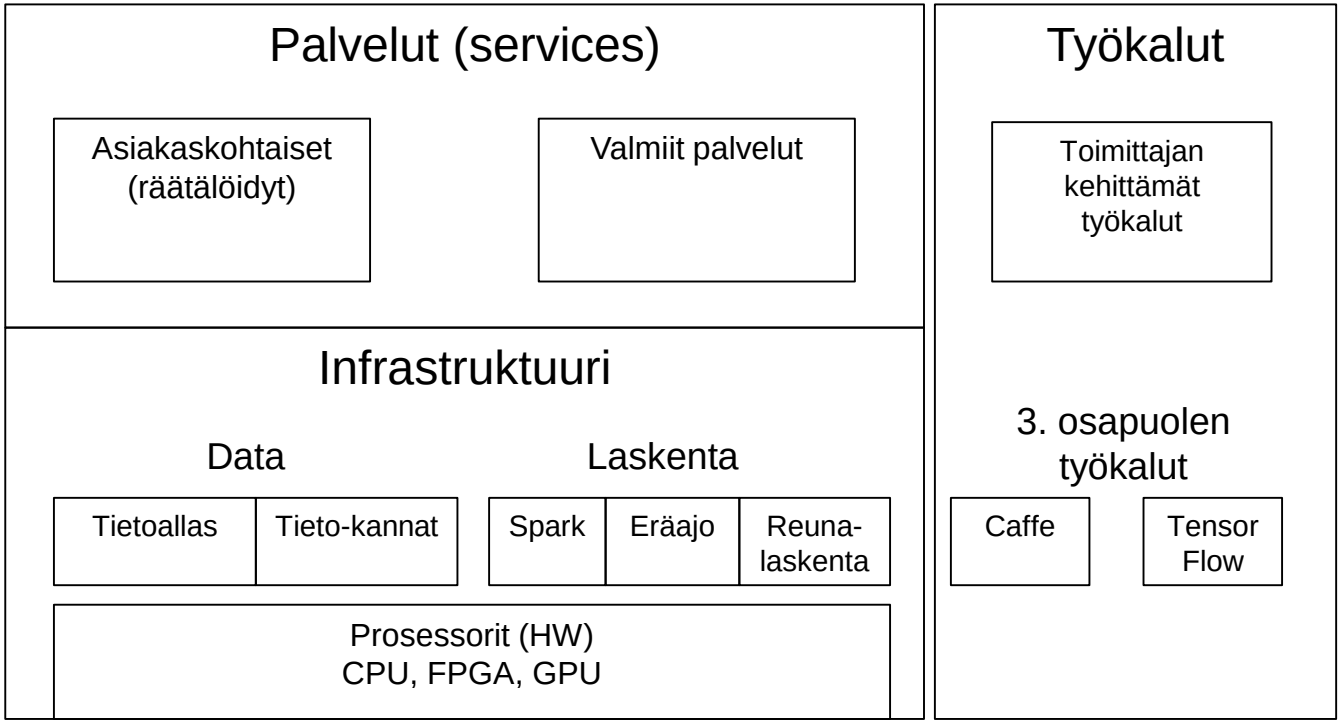
Tekoälyyn pohjautuvaa ratkaisua tarvitseva asiakas voi käyttää palvelutarjoajan alustaa ja työkaluja, joilla ensin kehitetään tarvittava sovellus ja myöhemmin tuotantokäytössä ajetaan sitä.

Kiina on julistanut tekoälyn kansalliseksi prioriteetiksi presidentti Xin arvovallalla ja näin haastaa Yhdysvaltain johdon alalla.

Tekoälyn kenttää hallitsevat vielä amerikkalaiset yritykset, mutta kiinalaisten sijoitukset kasvuyritykseen ulkomailla ja kotimaassa ohittivat Yhdysvaltain vastaavat 2017 ja myös patenttien ja julkaisujen määrässä johtoasema on vaihtunut tai vaihtumassa.

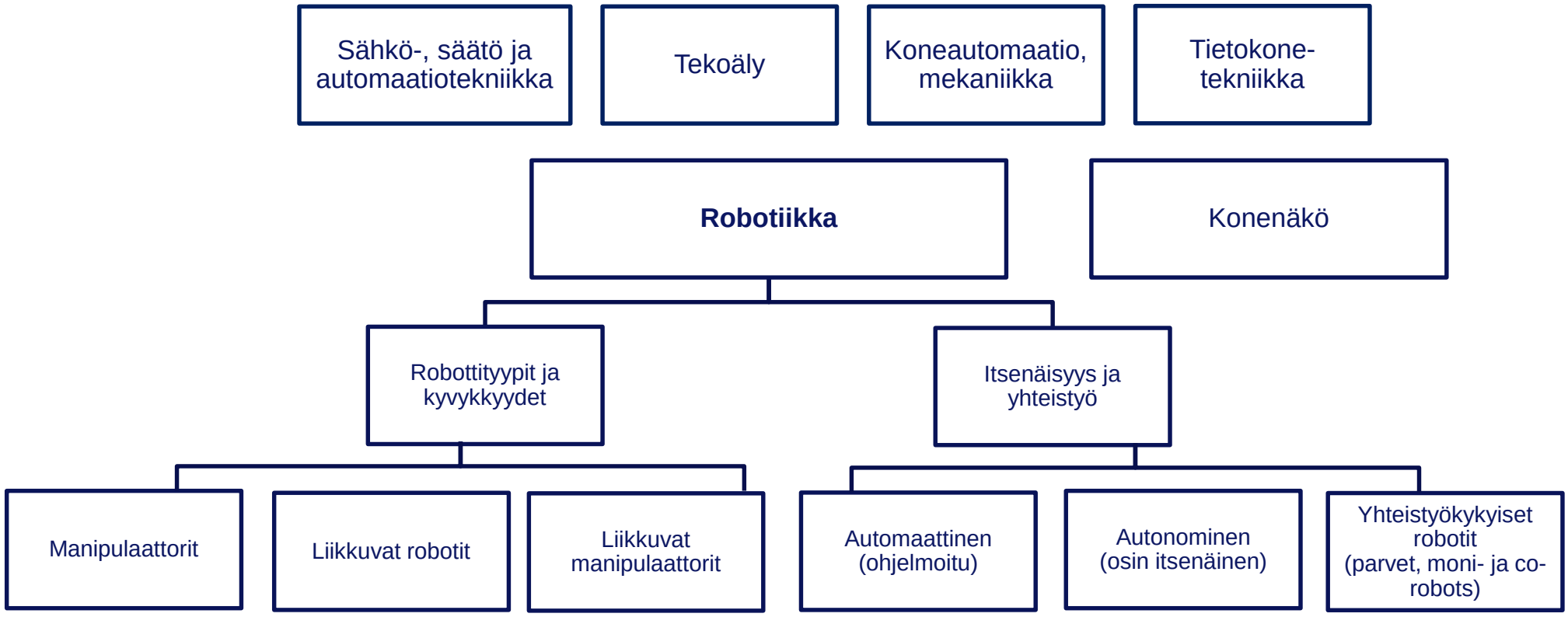
EU ja sen jäsenmaat ovat syystäkin huolissaan tilanteesta. Eurooppalaiset yritykset eivät ole onnistuneet pääsemään tekoälyalustojen toimittajiksi tai ekosysteemien keskeisiksi toimijoiksi, vaikka täällä on suhteellisen paljon start-up yrityksiä.

Tekoälyn laskentaympäristöt, alustat ja palvelut, ekosysteemit



Eri toimijat muodostavat ekosysteemin, joka yhdessä toteuttaa halutun tekoälylaskennan tai sovelluksen. Tällä hetkellä koneoppimiseen pohjaavat teknologiat ovat päärooleissa myös laskentaympäristöjen, alustojen ja palveluiden kehittymissä.

Robotiikka ja koneautomaatio - tekoälyn fyysinen ulottuvuus



Roboteilla tarkoitetaan laitteita , jotka kykenevät vaikuttamaan fyysiseen ympäristöönsä esimerkiksi tarttujan, käsivarren, pyörien tai jalkojen avulla.

Robotiikka ja koneautomaatio - tekoälyn fyysinen ulottuvuus

Tutkimusalana robotiikka voidaan jakaa seuraaviin osiin:

- Toimilaitteiden (effectors) tutkimus
- Anturien ja havaitsemisen (sensors and perception) tutkimus
- Liikkeen ja liikeratojen suunnittelumenetelmät
- Suunnitellun liikeradan toteuttamisen menetelmät
- Robottia ohjaavien tietokoneohjelmien järjestystä ja rakennetta eli ohjelmistoarkkitehtuureja koskeva tutkimus

Aiemmin robotiikan tutkimus ja kehitys keskittyivät yksittäisen robotin kyvykkyyden parantamiseen, mutta jo useiden vuosien ajan on tutkittu ja kehitetty yhdessä toimivia monirobotteja (multi-robots), parviälyä ryhmänä toimivien autonomisten robottien tarpeisiin sekä ihmisen ja muiden toimijoiden kanssa turvallisesti toimivien robottien (co-robots) tai autonomisten koneiden ohjelmoimiseksi

Etiikka, moraali, regulaatio ja lainsäädäntö

Insinööritieteet pyrkivät vaikuttamaan ja muuttamaan maailmaa, eivät pelkästään selittämään sitä kuten luonnontieteet; sen vuoksi niihin liittyy aina eettisiä ja moraalisia kysymyksiä.

Tekoälyteknologioiden näkökulmasta voidaan tunnistaa seuraavat merkittävät etiikan ja moraalin osa-alueet.

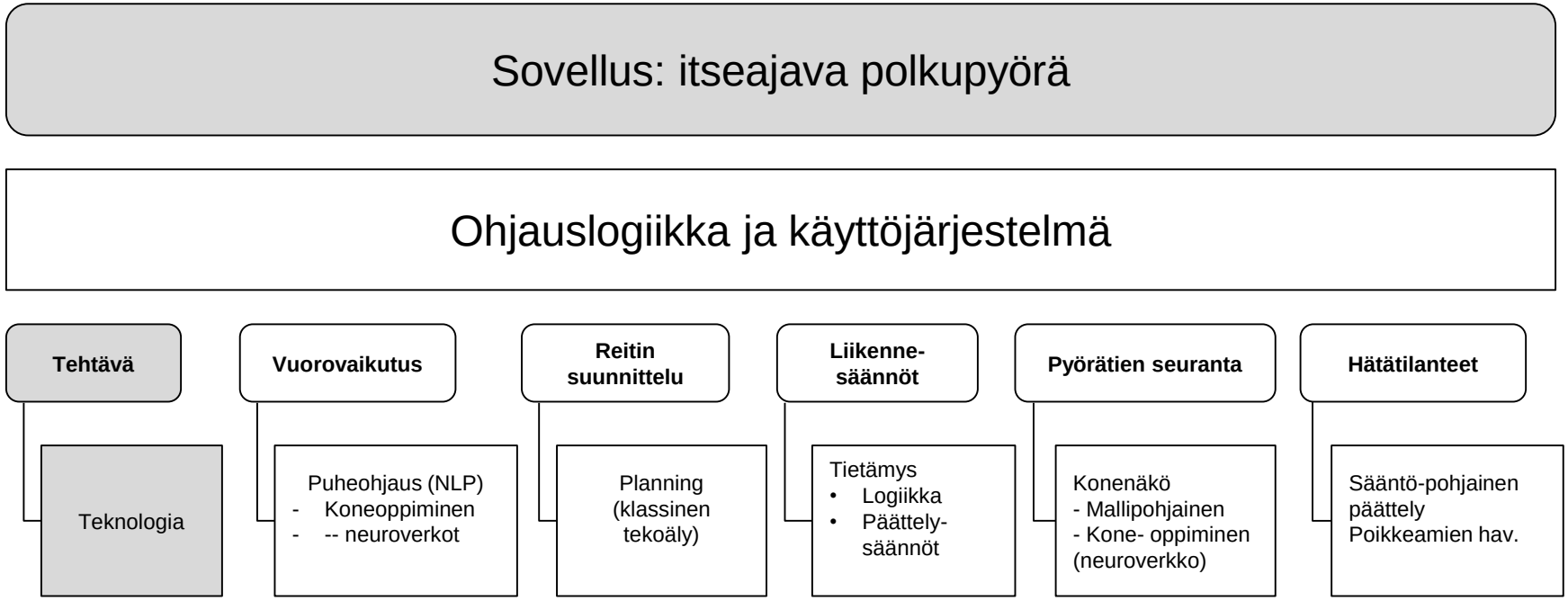
- Moraalifilosofia,
- Soveltava etiikka,
- Teknologian etiikka,
- Sodankäynnin etiikka.

Algoritmeihin ja digitalisaatioon pohjautuvan päätöksenteon tulo voidaan nähdä jopa julkishallinnon ja oikeudenkäytön legitimiteetin lähteen paradigmamuutoksena.

Ei ole vielä mitenkään selvää, miten lainsäädäntövalta jakautuu EU:n ja jäsenvaltioiden välillä, kun tekoälyä aletaan säännellä.

Maailman talousfoorumi (WEF 2016) on kiteyttänyt tekoälyyn liittyvät keskeiset kysymykset seuraavasti

1. Työttömyys: viekö tekoäly työpaikat
2. Epätasa-arvo: johtaako tekoälyn käyttö varallisuuden entistä suurempaan keskit-tymiseen
3. Inhimillisyys: vaikuttaako tekoäly ja robotit ihmisten käyttäytymiseen ja kanssakäymiseen
4. Kuinka suojautua tekoälyn virheiltä ja virhetoiminnoilta
5. Tekoälyn puolueellisuus: oppiiko kone ennakkoluuloiseksi
6. Kuinka suojata tekoälyjärjestelmiä pahan-tahtoisilta toimijoilta
7. Pullon henki – voiko tekoälyllä olla ei toivottuja sivuvaikutuksia
8. Singulariteetti – miten suojautua mahdollisesti vallanhaluiselta tekoälyltä
9. Tekoälyn ja robottien oikeudet – jos koneille kehittyy tietoisuus, kuuluuko niille oikeuksia kuten eläimille tai ihmiselle.


Sovellus: itseajava polkupyörä
Ohjauslogiikka ja käyttöjärjestelmä
Tehtävä
Teknologia
Vuorovaikutus
Puheohjaus (NLP)
- Koneoppiminen
- -- neuroverkot
Reitin suunnittelu
Planning (klassinen tekoäly)
Liikenne-säännöt
Tietämys
• Logiikka
• Päättely-säännöt
Pyörätien seuranta
Konenäkö
- Mallipohjainen
- Kone- oppiminen (neuroverkko)
Hätätilanteet
Sääntö-pohjainen päättely
Poikkeamien hav.

Tekoälyn koulukunnat ja menetelmät

<table>
<tr><th colspan="5">Tekoälyn koulukunnat ja menetelmät
(kaikkia menetelmiä ei luetella, vain keskeiset esimerkit)</th></tr>
<tr><th colspan="3">Datapohjaiset menetelmät
~ ”Connectionistic” –koulukunta</th><th>Symbolinen tekoäly ~Klassinen koulukunta</th><th>”Kehollistettu tekoäly” ~Embodied AI</th></tr>
<tr><td>Ohjattu oppiminen</td><td>Ohjaamaton oppiminen</td><td>Muut</td><td>Semantiikka, ontologiat</td><td rowspan="7">Korostaa liikkumisen ja ”älyn” yhteyttä</td></tr>
<tr><td>Lineaarinen regressio</td><td>PCA, LCA</td><td rowspan="6">Geneettiset algoritmit</td><td>Edellisiin perustuva logiikka</td></tr>
<tr><td>Neuroverkot</td><td>Neuroverkot</td><td>Haku (search)</td></tr>
<tr><td>Tukivektorikoneet SVM</td><td>SOM</td><td>Suunnittelu (Planning)</td></tr>
<tr><td>Logistinen regresessio</td><td>Poikkeavuuksien havaitseminen</td><td rowspan="3">Päätöspuut, asiantuntijajärjestelmät</td></tr>
<tr><td>Lineaarinen erotteluanalyysi LDA</td><td>GAN-verkot</td></tr>
</table>

Tekoälyn tutkimuksen koulukuntia 1/3

- Kognitiotieteen ja tekoälyn historiassa on tunnistettavissa koulukuntia, joista keskeisiä ovat
  - Konnektionismi, jonka mukaan mielen ilmiöt (ajattelu, tunteet, tietoisuus) syntyvät yksinkertaisten ja tyypillisesti keskenään samankaltaisten toisiinsa kytkeytyneiden yksiköiden toiminnan tuloksena. Käytännössä nämä yksiköt ovat neuroneja ja synapseja; tekoälystä puhuttaessa (keinotekoisia) neuroverkkoja. Joskus käytetään myös termiä computational intelligence suunnilleen samassa merkityksessä. Tutkii – ja ratkaisee – tehokkaasti rajattuja ongelmia: shakki-peli, kasvojen tunnistus.
  - Symbolinen tekoäly (symbolic AI) käsittää tekoälymenetelmät, joissa tietoa käsitellään ihmisen ymmärtämien korkeamman tason symbolien avulla, esimerkiksi logiikalla tai päättelysäännöillä. Joskus tätä kutsutaan termillä **GOFAI** ("Good Old-Fashioned Artificial Intelligence"). Tämä suuntaus hallitsi tutkimusta 1950-luvulta 1980-luvun lopulle. Ontologiat ovat yksi tapa esittää symbolista tietoa ja semanttiset menetelmät ovat välineitä symbolisen tiedon käsittelyyn. Tutkii laajempia ja abstrakteja tutkimuskysymyksiä (“general AI”).

- Kahta yllämainittua on pidetty tekoälyn pääkoulukuntina, ks. esim. Hoffman A (1998) Paradigms of Artificial Intelligence- A Methodological and Computational Analysis. Springer.

Embodied (A)I (”kehollistettu tekoäly”) 2/3

- Kolmantena koulukuntana voidaan mainita Embodied Intelligence
  - ”Kehollistettu” (embodied) tekoäly korostaa liikkumisen ja älyn yhteyttä. Ajatuksen kiteyttää seuraava lainaus:
    “Why do plants not have brains? The answer is actually quite simple: they don’t have to move.” Lewis Wolpert, UCL.
    Älykkään toiminnan ajatellaan syntyvän emergentisti anturi – toimilaite silmukoista kun organismi / laite on vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Kehollisen älykkyyden tutkimuksen mallina ovat usein biologiset organismit ja tutkimusvälineinä liikkuvat mekanismit tai robotit. Termin embodied intelligence isänä voidaan pitää robotiikan tutkija Rodney Brooksia (tutkimusjulkaisu vuodelta 1991).

Tekoälyn tutkimuksen koulukuntia 3/3

- P. Smolenskyn artikkeli vuodelta 1987 on merkittävä pohdinta (Smolensky, P. Artif Intell Rev (1987) 1: 95. https://doi.org/10.1007/BF00130011)
- Selkeästi kirjoitettu kuvaus aiheesta löytyy connectionism vs. symbolic AI

Hyödyllisiä tietolähteitä

Hyviä kirjoja

- Russell, S & Norvig P (2014) Artificial intelligence - A Modern Approach. Prentice Hall.
- Bishop, C (2006) Pattern Recognition and Machine Learning. Springer Verlag
- Bostrom, N (2014) Superintelligence, Paths, Dangers, Strategies. Oxford University Press, Oxford, UK.

Raportteja ja julkaisuja

- The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis", http://dx.doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en
- Digital Economy and Society Index DESI (2018) https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi
- EU:n tiedonanto tekoälystä (2018) https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-artificial-intelligence-europe

Hyödyllisiä wiki-sivuja

- Tekoäly (engl.) https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence
- Koneoppiminen (engl.) https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning
- Datatiede (engl.) https://en.wikipedia.org/wiki/Data_science

Muita hyödyllisiä verkkolinkkejä

- One Hundred Year Study on Artificial Intelligence (AI100), https://ai100.stanford.edu
- Top 9 ethical issues in artificial intelligence. https://www.weforum.org/agenda/2016/10/top-10-ethical-issues-in-artificial-intelligence/
- Asilomar AI Principles, https://futureoflife.org/ai-principles/
- Ted talk tekoälyn lajeista https://bdtechtalks.com/2017/05/12/what-is-narrow-general-and-super-artificial-intelligence/