

Anna Stenberg

TIETOTEKNIIKAN KAKSI ROOLIA NEUROTIETEIDEN TUTKIMUKSESSA – TYÖVÄLINE JA TUTKIMUKSEN KOHDE

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaattitutkielma
Toukokuu 2020

TIIVISTELMÄ

Anna Stenberg: Tietotekniikan kaksi roolia neurotieteiden tutkimuksessa
Kandidaattitutkielma
Tampereen yliopisto
Tietojenkäsittelytieteiden tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2020

Neurotieteiden keskeinen tutkimuskohde on aivotoiminta ja sen mallintaminen. Tiedon avulla kehitetään lääketieteellistä ja kognitiivista osaamista. Neurotieteillä on tiedonkäsittelylle erityisvaatimuksia datan määrän, monimuotoisuuden ja kerroksellisuuden takia. Kirjallisuus-katsauksen aiheena on tietotekniikan kaksi roolia neurotieteiden tutkimuksessa: kuinka tietotekniikka toimii neurotieteiden työvälineenä ja kuinka se hyötyy biologisten neuroverkkojen toiminnallisuuksien tuntemisesta. Tutkimuskysymyksenä tarkastellaan, miten poikkitieteellinen yhteistyö hyödyttää tutkimusta.

Katsauksen keskiössä on eurooppalainen neurotieteiden suurhanke Human Brain Project (HBP), sen toimintatavat, alusta ja sovellukset, joita havainnollistetaan esimerkkien kautta. HBP:n tiedeportaali on avoin palvelu, joka tarjoaa dataa, valmiita simulaatiomalleja ja alustalle integroituja sovelluksia tutkimustiedon analysointiin ja mallintamiseen. Portaali optimoi käytettäviä resursseja ja kallista laskentakapasiteettia tutkimusyhteisön käyttöön. Jaettu alusta koostuu portaalista, infrastruktuurista, integroiduista simulaatio- ja mallinnustyökaluista, versiohallinnasta ja tulkinallisista työkaluista. Biologinen aivotutkimus ja neurologiset mallit ovat pohjana keinotekoisille neuroverkoille. Aivotoimintaa jäljittelevät sovellusalat neuromorfinen tietotekniikka, keinotekoisiin neuroverkkoihin pohjaavat algoritmiset mallit kuten Spiking Neural Networks (SNN) ja neurorobotiikka ovat tutkimusalustalla käytettävää teknologiaa. Ne ovat siis osa sekä tutkimusalustaa että tutkimuksen kohteena.

Neurotieteiden datan mallintaminen on erityisen herkkää muutoksille, ja sen käsittelyn tulee olla virheetöntä. Alustalla olevan datan laatuun kiinnitetään erityistä huomiota sekä tietoaatlasten että tutkittavien mallien kohdalla. HBP on luonut yhteisiä toimintatapoja, työvirtoja ja tukiorganisaatioita tutkijoiden työn helpottamiseksi. Keskitetty ympäristö on yksimielisesti kaikkien osapuolien mukaan tutkimuksen vaatimusten täyttämiseksi ainoa järkevä toimintamalli.

Tulevaisuudessa tiedon ja toimijoiden määrä tulee kasvamaan entisestään, sillä tiedämme vasta noin 10 % aivojen toiminnasta. Datan määrän kasvun seurauksena laskentatehon saatavuuden varmistaminen ja järjestelmien toimintavarmuus ovat tietotekniikalle ainutlaatuinen haaste valmistaa neurotieteille tarvittavaa tulevaisuuden huipputeknologiaa. HBP:n tutkimustuloksia tullaan soveltamaan luonnontieteiden, lääketieteen ja teknologian alalla vielä vuosia.

Avainsanat: neuroscience, brain simulation, Human Brain Project, science gateway, neurorobotics, neuromorphic computing

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	1
2. Human Brain Project ja neurotieteiden tiedeportaalin malli.....	3
3. Tietotekniikka neurotieteiden tutkimuksessa.....	4
4. Human Brain Project alustan arkkitehtuuri.....	5
4.1 Kokonaisarkkitehtuuri.....	6
4.2 Data.....	6
4.3 Infrastruktuuri.....	8
4.4 Sovellukset.....	9
4.5 Neurorobotiikka.....	11
5. Pohdinta.....	12
6. Yhteenveto.....	14
Lähdeluettelo.....	15

1 Johdanto

Neurotieteet tutkivat ihmisen aivotoimintaa ja pyrkivät siten ymmärtämään ihmisen ajattelua, käyttäytymistä ja toimintaa. Lääketieteellinen, biologinen, kognitiivinen ja neurologian tutkimus keräävät erilaista dataa aivojen ja hermoston toiminnasta. Dataa yhteen sovittamalla ja edelleen mallintamalla saadaan tutkimustietoa lääketieteen ja muiden soveltavien alojen käyttöön edistämään ihmisten terveyttä ja hyvinvointia. Neurotieteiden datan määrän ja kompleksisuuden takia sen käsittelyyn tarvitaan tehokkaita ja pitkälle räätälöityjä tietoteknisiä ratkaisuja.

Keinotekoisia neuroverkkoja on kehitetty 1950 -luvulta alkaen, mutta vasta nyt suurien tietomassojen ollessa saatavilla ja tietokoneiden laskentatehon kasvaessa niitä voidaan toteuttaa käytännössä. Neurotieteiden kasvavan datamäärän hallinta tarjoaa tietojenkäsittelylle haasteita ja mahdollisuuksia. Tietotekniikan roolit neurotieteiden työvälineenä ja tutkimuksen kohteena limittyvät vahvasti toisiinsa. Mitä enemmän ymmärrämme aivojen toiminnasta, ja mitä pidemmälle sitä kyetään mallintamaan, sitä enemmän saatua tietoa voidaan hyödyntää keinotekoisien neuroverkkojen ja niiden sovellusten kehittämisessä edelleen. Tiivis poikkitieteellinen yhteistyö auttaa tutkijayhteisöä puolin ja toisin. Toimivampia malleja voidaan suunnitella, testata ja ottaa käyttöön yhteistyössä joustavasti.

Tutkielman tarkastelukohteena on laaja eurooppalainen neurotieteiden tutkimusprojekti Human Brain Project (HBP). HBP on Euroopan Unionin rahoittama vuonna 2013 aloitettu kymmenen vuoden projekti, jonka tavoitteena on luoda aivotutkimukselle, neurotieteille ja aivoista inspiraation saavan tietotekniikan tutkimukselle jaettu yhteinen toimintaympäristö (Aicardi et al., 2018). Neurotutkimuksen toiminnan pääkomponentteja ovat monimuotoinen data, sen tallettaminen, käsitteleminen, mallintaminen ja simulointi.

Tutkielmani aiheena on tietotekniikan kaksi roolia aivotutkimuksessa. Se toimii sekä tutkimuksen työvälineenä, että toisaalta tutkimuksen kohteena. Tutkielmassa tarkastellaan HBP:n tutkimustyötä, tiedeportaalin arkkitehtuurista rakennetta ja projektin yhteistyömallin toimivuutta käytännön esimerkkien kautta. Eri tieteenalojen yhteistyöstä syntyy synergiaa. Käytännössä aivojen mallinnus on tieto- ja työmäärän laajuudelta niin suuri, ettei sitä ole mahdollista tehdä ilman yhteistyötä. Tutkimuskysymyksenä tarkastellaan miten poikkitieteellinen yhteistyö hyödyttää tutkimusta.

Tutkielman tutkimusmenetelmänä on kirjallisuuskatsaus. Lähdemateriaali on poimittu pääsääntöisesti HBP:n julkaisusivuston (HBP, 2020) reilun tuhannen artikkelin joukosta avainsanoja käyttäen. Valituissa artikkeleissa on pyritty kattamaan mahdollisimman laaja kattaus neurotieteiden ja tietotekniikan yhteistyöstä ja synergiasta. Tietotekniikan ratkaisuja tarkastellaan tutkimuksen välineenä, ja toisaalta siten, että huomio on tarkemmin tietotekniikan roolissa tutkimuksen kohteena. Tutkielman lähteinä on artikkeleita vuosilta 2015 - 2019.

Tutkielman rakenne etenee yleiskuvasta kohti tarkentavia lukuja. Yleiskuvassa esitellään neurotieteitä, HBP:a ja tietotekniikan roolia neurotutkimuksessa. Tiedeportaalin tietotekninen ratkaisuarkkitehtuuri on jaettu alusta, joka tarjoaa datan käsittelyä varten tarvittavan infrastruktuurin ja sovellusten palveluiden integroinnit käyttäjäkunnalle helposti lähestyttävässä muodossa. HBP:n kokonaisarkkitehtuurin kautta avataan järjestelmälustan rakennetta, neurotieteiden tutkimuksen konkreettisia työvaiheita, käytettävän datan luonnetta ja sovelluksien erityispiirteitä. Infrastruktuurin osalta käsitellään tarkemmin laskentakapasiteetin vaatimuksia ja neuromorfisuutta.

Tutkielman esimerkkeinä esitellään lyhyesti kaksi kokonaista sovellusta. Jordan ja muut (2019) ja Senk ja muut (2017) perustelevat miten HBP:n kaltainen yhteishankkeen malli tuottaa alan tarvitsemalle tutkimukselle sopivat puitteet. Ensimmäisessä tapauksessa tietotekniikka tuodaan tutkimuksen käyttöön työvirran ja toisessa tapauksessa neurorobotiikan työkalujen ketjutuksen ratkaisulla. Neuroverkoista innovoivia tietoteknisiä ratkaisuja avataan syvemmin aina kunkin sovelluksen komponenttien kohdalla. Tutkielman lopussa on pohdinta ja yhteenveto.

2 Human Brain Project ja neurotieteiden tiedeportaalmalli

Neurotieteiden tutkimuskohteena on ymmärtää aivotoimintaa. Aivojen toiminta, kuten oppiminen, tapahtuu yksittäisten solujen verkostoitumisen tuotoksena tavalla, jonka logiikkaa ei vielä tunneta (Einevoll et al., 2019). Tutkimuksen yhtenä tavoitteena on kohdistaa tutkimusta aivotoiminnan häiriöiden, kuten dementian, epilepsian ja Alzheimerin taudin hoitoon. Aivotoiminnan häiriöistä kärsiviä potilaita arvioidaan olevan yksin Euroopassa 165 miljoonaa. Datan avulla kehitetään myös koneoppimiseen pohjautuvaa diagnostiikkaa ja mallinnetaan lääkkeiden toimintaa. (Amunts et al., 2019)

HBP:ssa on useita toimijoita: eläinten ja ihmisten kognitiivinen ja teoreettinen neurotiede, tutkimusalustan kehitys, neuroinformatiikka, suorituskykyanalyysi, lääketieteellinen informatiikka, neuromorfinen tietojenkäsittely ja neurorobotiikka (Aicardi et al., 2018). Projekti on ryhmitelty vastaaviin alaprojekteihin. Aiemmin hajautettuna toimineet kuusi erillistä alustaa on sittemmin integroitu yhdeksi yleiseksi alustaksi yhteistyön helpottamiseksi (HBP, 2020). HBP osallistuu aktiivisesti kansainväliseen yhteistyöhön muiden vastaavien isojen tutkimushankkeiden, kuten International Brain Initiative (IBI) kanssa (Amunts et al., 2019).

Tutkimuksessa käytettävä data tulee useasta lähteestä. Alan vuosikymmenien tutkimustiedon lisäksi yliopistojen ja yritysten käynnissä olevia tutkimushankkeita ja niiden dataa kootaan yhteen paikkaan. Biologisten tietoaatlasten tiedon lisäksi HBP integroi tutkimusmateriaaliksi sairaaloista kerättyä anonymisoitua lääketieteellistä potilasdataa (Amunts et al., 2019). Data on varastoitu yhteen paikkaan, luokiteltu ja validoitu, ja sitä ylläpidetään systemaattisesti tiedon kasvaessa. HBP noudattaa datan käsittelyssä FAIR-

periaatteita (sanoista findable, accessible, interoperable, reusable). Kuratoitu metadatan luokittelu varmistaa, että alustalla oleva data pysyy puhtaana ja laadukkaana, ja että data on haettavissa alustan hakukoneilla. (Amunts et al., 2019).

HBP:n tiedeportaali varmistaa, että työskentelevällä yhteisöllä on käytössä sama ajantasainen tieto datan käsittelyä varten (Einevoll et al., 2019). Neurotutkimuksen peruspilareita ovat datan ja mallien simulointi, kokeilu ja teoria (Jordan et al., 2019). Perustutkimus käyttää olemassa olevaa dataa ja malleja. Näiden yksittäisten tutkimusten mallien päälle voidaan rakentaa jatkotutkimusta ja vertailevia malleja (Einevoll et al., 2019). Simulaatioilla, kokeiluilla ja teorioiden avulla joko vahvistetaan olemassa olevia hypoteeseja tai haastetaan niitä uusilla. Kokeellisuus tuo järjestelmään kerroksellista dataa, jonka hallinta vaatii tarkkaa versionhallintaa sekä yksittäisten että eri mallien välillä. Näin tulokset ovat vertailtavissa, kun tietoja ja simulaatiomalleja yhdistellään ja jatkokehitetään. (Senk et al., 2017)

HBP:n yksi tavoitteista on tarjota yksittäisiä tutkimuksista yhdistämällä laaja yleinen malli aivotoiminnasta (Einevoll et al., 2019). Yleinen malli on itsenäinen ja toistettava rakenne, jossain määrittelyssä suljetussa ympäristössä, joka käyttäytyy tiedetyllä tavalla. Niinpä dataa edelleen jäsentämällä, mallintamalla ja simuloimalla rakennetaan täydentyviä kokonaisuuksia suljettuja malleja (Amunts et al., 2019). Neurorobotiikan sovellusalue on suljettu kokeilu- ja testausympäristö, joka tuo neurotieteille puitteet validoida fyysiloginen ja biologinen malli joko simuloitun tai todellisen robotiikan avulla. Simulaatiossa mallia voi testata ympäristön ärsykkeiden kautta. (Jordan et al., 2019; Falotico et al., 2017) Kun simulaatiomalli on tarpeeksi toimiva, mallista voidaan rakentaa fyysinen roboti. Robotiikan kehitys hyötyy siis sekin biologiseen tietoon pohjautuvan ja sen toimintaperiaatteista ohjautuvan arkkitehtuurin tiedoista (Falotico et al., 2017).

Mallintamisessa käytetään monimuotoista dataa. Neurotieteiden datan erityispiirteisiin kuuluu pienten toisiinsa verkostoituneiden hetkellisten yksityiskohtaisten tapahtumien tarkka käsittely, jolloin käsiteltävän datan laadulliset vaatimukset ovat korkeat (Bouchard et al., 2016). Tietoa tulee voida aina tulkita yksiselitteisesti ja rakentaa olemassa olevan tiedon päälle (Jordan et al., 2019). Neurotieteiden datan käsittely asettaa järjestelmille vaatimuksia myös sen määrän, muodon ja laskentatehoa kuormittavien analysointitarpeiden kautta. Neurotieteiden datan luonteen herkän muuttuvuuden eli plastiisuuden takia tieteenalan sovelluksilta odotetaan erityistä käytettävyyttä, läpinäkyvyyttä ja luotettavuutta. (Glatard et al., 2017)

Datan käsittelyyn vaadittavaa tietotekniikkaa ja keinotekoisia neuroverkkoja hyödyntäviä algoritmeja kehitetään aivotutkimuksessa opitun biologisten mallien avulla. Alustalla käsiteltävä data on määrältään ja muodoltaan monimuotoista ja plastista, ja lisäksi sen formaatti, kerroksisuus ja aikajänne vaikuttavat datan käsittelyyn (Einevoll et al., 2019). Datan käsittelyssä käytetään keinotekoisien neuroverkkojen koneoppimisen metodeja. Biologisen mallin adaptointia sovelletaan koneoppimiseen ja edelleen algoritmiikan, neuromorfisten koneiden ja arkkitehtuurin kehittymiseen (Amunts et al., 2019). Neurorobotiikan alueella kehitetään neuroverkkojen toiminnan ymmärtämisen kautta

ympäristöjä, joilla simulaatioiden ja kokeilujen tulosten luotettavuutta ja vertailullisuutta voi mitata ja ennustaa (Falotico et al., 2017). Etenkin neurorobotiikassa ollaan uuden äärellä. Voidaankin perustellusti sanoa, että neurotieteet tuovat innovatiivisia elementtejä nykyisille ja tulevaisuuden teknologioille (Jordan et al., 2019).

Kompleksisten ja nopeasti kehittyvien tietoteknisten sovellusten tehokas käyttäminen on haasteellista niin tutkijoille, kuin teknologian ammattilaisille. HBP:n tiedeportaaliratkaisu on käyttäjäystävällinen portaali, jonka kautta käyttäjät voivat käyttää sovelluksia, jotka helpottavat ja nopeuttavat tutkimustyön päätehtävää. HBP:n tiedeportaalissa teknisiä työvälineitä on koottu tehtäväputkiksi integroimalla työkaluketjujen (engl. tool chain) ratkaisuja yhteen paikkaan. Tutkijoille on näin koottu toisiinsa liittyviä, usein tarvittavia sovelluksia samaan tehtäväputkeen (engl. workflow). (Senk et al., 2017) Viimeisimmistä saatavilla olevien sovelluksista jaetaan tietoa muun muassa alan konferensseissa (Einevoll et al., 2019).

Avoimen datan mallin periaatteiden mukaisesti toimiva HBP tarjoaa järjestelmiin avoimet käyttöoikeudet. Muihin järjestelmiin avautuvien integraatioiden avulla uudet ominaisuudet ja eri toimijoiden tuottamat, integroidut räätälöidyt ratkaisut ovat välittömästi kaikkien käytettävissä (Amunts et al., 2019). Tämä on mahdollista, koska HBP hallinnointi hoidetaan yhteisellä tasolla kannatellen tasapuolisesti koko tutkimuskenttää. Projektin toiveena on, että avoin toteutus tuo yhdenvertaiset mahdollisuudet ratkaisujen kaupallistamiseen liiketoiminnaksi. Tällaisen hankkeen yksityistäminen kaventaisi yhteistyötä, ja sulkisi kaupallistamisen pieniltä toimijoilta (HBP).

3 Tietotekniikka neurotieteiden tutkimuksessa

HBP:n avoimelle periaatteelle perustuva yhteinen yleinen alusta tarjoaa mahdollisuuksia sekä neurotieteiden että sen rinnalla rakennettavan tietotekniikan kautta rakentuvalla innovaatiolle, yritystoiminnalle ja tutkimukselle. Tieto on kaikkien saavutettavissa. Poikkitieteellinen yhteistyö mahdollistaa tutkijoille nopeasti ja ymmärrettävästi vertailukelpoista ja perusteltua tietoa käyttöönsä. Tieteen lisäksi HBP:n tavoitteena on edesauttaa innovaatioita hyödyntävää yksityistä tuotekehitystä. (Einevoll et al., 2019; HBP, 2020). Tietotekniikan osalta erityinen kiinnostus kohdistuu keinotekoisiiin neuroverkkoihin, joiden tutkimus ja soveltaminen edelleen on ollut olemassa jo pitkään.

Neuroverkkojen inspiroimia verkkomaisia laskennallisia malleja on kehitetty 1950-luvulta alkaen. Mallit ovat osoittautuneet tehokkaiksi erityisesti koneoppimisen algoritmien alueella (Aggarwal, 2018). Neuroverkkoja käyttäviä algoritmeja kutsutaan yleisesti tekoälysovelluksiksi. Tekoälyä käytetään tiedon prosessoinnissa ja laskennassa, sekä sovelluksissa että prosessoreissa. Myös robotiikan kehitys soveltaa koneoppimista ja neuroverkkoja. Neurotieteistä kehittyvää tietotekniikkaa HBP:lle ja sen neurotutkijoille tarjoamalla teknologian kehittäjät saavat projektissa ensikäden tietoa toimivista malleista.

Näiden avulla kehitetään neurorobotiikkaa, tehokkaampia simulaatiomalleja ja neuro-morfisia tietokoneita ja prosessoreita (Amunts et al., 2019).

Aivojen mallintamisen tutkimuksen monialaisuus ja neurotieteiden datan monimuotoisuus, joita kuvattiin edellisessä luvussa, tekevät siitä kallista tutkimusta. Einevoll ja muut (2019) perustelee, miksi tutkimusta tehdään ja miksi sitä kannattaa jatkaa. Yhdistetystä datasta koostuva yleismalli ja tiedon jakaminen yhteisesti edesauttavat kaikkien alojen kehitystä. Jatkuvuus ja luotettavuus sekä järjestelmien ja tehdyn tutkimustiedon saatavuus alan tutkijoille nähdään tärkeänä. Datan, mallien ja alustan ylläpito ja kehitys ovat yhdessä paikassa ympäristössä. HBP on luonut standardeja, tukiorganisaation, koulutusta ja yhdenmukaisia tapoja toimia jaetulla alustalla. HBP on näin tutkimukselle kanava, jota kautta jaettuja resursseja voidaan organisoida käyttöön. (Einevoll et al., 2019)

Neurotieteiden datan käsittelyssä ja prosessoinnissa käytetään jaettua järjestelmäalustaa. Jaetun infrastruktuurin tallennuskapasiteettia ja laskentatehoa hyödynnetään optimoimalla sitä suurten erilaisten datojen käsittelyyn (Bouchard et al., 2016). Kapasiteetin optimointi nopeuttaa datan prosessointia säätelemällä samanaikaista sovellusten kuormitusta. Tulevaisuudessa kapasiteettivaatimukset kasvavat yhä, sillä nykyisen datan arvioidaan kattavan vasta kymmenesosa kokonaisdatasta (Rinke et al., 2018). Tutkimukselle on olennaista, että sen käyttämä tieto ja sovellukset ovat tiiviisti integroituja.

Neurotieteiden hyvästä tarkoituksesta huolimatta, tai sen lisäksi, aivojen mallinnuksen yhä täydellisempi onnistuminen tekoälyn avulla, ja keinotekoisien tietoisuuden kasvattaminen nähdään eksistentiaalisena riskinä. Riskinä on itseohjautuvien koneiden hallittavuus ja vaikutusmahdollisuuksien voima. Riskejä pyritään välttämään tiedostamalla ne ja ohjeistamalla tutkijoita ottamaan eettiset näkökannat huomioon. Tekoälysovelluksien ja aivojen mallintamisen kautta saatava hyöty nähdään HBP:ssa kuitenkin riskejä suurempana. (Aicardi et al., 2018)

4 Human Brain Project -alustan arkkitehtuuri

HBP:lle rakennetun alustan arkkitehtuurin tavoitteena on tuoda yhden kanavan kautta maailmanlaajuiselle neurotieteiden yhteisölle työssä tarvittavat työvälineet. Kanava on väylä, jota kautta käyttäjä saa käytettäväkseen työssään tarvitsemansa datan ja työvälineet. Työvälineet eli sovellukset on toteutettu erilaisten järjestelmien avulla. Alustan arkkitehtuuri tarjoaa sovelluksia sekä integroimalla portaaliin olemassa olevia työkaluja, tarjoamalla avoimia rajapintoja ja kehittämällä uusia sovelluksia. Sovellukset ovat saatavilla portaalissa, kunkin käyttäjän käyttöoikeuksien mukaisella tavalla. Järjestelmät käyttävät yhteistä alustaa (engl. platform), jonka kautta varmistetaan tarvittava infrastruktuuri ja järjestelmäkapasiteetti. Tässä luvussa esitellään HBP:n kokonaisarkkitehtuuri ja käydään läpi alustan tärkeimmät komponentit.

4.1 Kokonaisarkkitehtuuri

Tiedeportaali (engl. science gateway) on palvelukanava, johon on integroitu käytettävissä muodossa olennaiset sovellukset ja tietotekniikan palvelut. Portaalin toimintaa ohjaamalla koordinoidaan yhteisön jaettuja resursseja optimoimalla muun muassa käytettävien järjestelmien laitteistojen tiedontallennuskapasiteettia ja suorituskykyä. Tiedeportaali sovelluksien arkkitehtuuri valitaan palvelemaan sen käyttötarkoitusta.

Arkkitehtuurin olennaisia ominaisuuksia ovat integroitavuus, laajennettavuus, skaalattavuus ja kestävyys. Järjestelmien välinen yhteensopivuus, integroitavuus ja laajennettavuus toteutetaan muun muassa standardien avulla ja varmistamalla uusien komponenttien sopivuus. Kieli-agnostinen rajapinta mahdollistaa datan siirrot ja toiminnallisuudet integroitavien komponenttien välillä. (Glatard, 2017 et al.)

Järjestelmien skaalattavuus ja kestävyys varmistavat sekä sovellusten toiminnallisuutta että käyttäjäkokemusta käyttäjäyhteisön, käsiteltävän datan ja integroitavien sovellusten määrän kasvaessa. Palvelu on näin ennustettava, läpinäkyvä, luotettava, jäljitettävä ja toistettavissa. (Glatard et al., 2017)

HBP -alusta saadaan käyttäjille käyttöön Collaborator portal väylän kautta. Se on selainpohjainen portaali, joka mahdollistaa käyttöoikeudet, datahakemistot ja suoran yhteyden portaalille implementoitujen työkalujen, kuten Jupyter Notebook, työvirtojen ja työkaluketjujen kautta alustoille. Projekteilla on omissa projektikohtaissa työskentelyympäristössä käytössä portaalin versiointityökaluja ja alkuperän jäljitys, jonka kirjaa yksityiskohtaisesti, mitä dataa milloinkin käytetään. (Senk et al., 2017)

Hakukoneella voidaan hakea tietoa sekä tallennusjärjestelmästä (Felix), jossa säilytetään tutkimusdataa, että multimodaalisista tietopankeista (Knowledge Atlases), joissa on lisäksi graafisista dataa. Tietopankkien data on kuratoitua, eli sillä on metadata, joka mahdollistaa käytettävän datan yksilöinnin simulaatioiden versiohallinnassa. (Amunts et al., 2019)

4.2 Data

Neurotieteiden datan haasteet ovat sen määrä, laajuus ja kompleksisuus. Datan tulee olla mahdollisimman kokonaista ja virheetöntä, pienintä objektia myöten. Aivojen rakenteen mallintamisen monimuotoisuus muuttuu pienestäkin muutoksesta verkon ketjussa. Samankaltaisesta biologisesta aivorakenteesta huolimatta jokainen ihminen on ainutlaatuinen yksilö. Aivojen toiminnasta ymmärretään pääsääntöisesti yksittäisten neuronien toimintatapa prosessoida tietoa, mutta neuroniverkostojen toimintaa tai kaikkia neurotyyppisiä ei vielä tunneta. (Einevoll et al., 2019) Ihmisaivoissa on 10 potenssiin 11 neuronien määrä (Rinke et al., 2018).

Neuronien ja synapsien, eli neuronien hermoliitosten toiminta yhdessä tuottaa siten määrällisesti valtavasti monimuotoista dataa, jonka analysointi simuloimalla ja mallintamalla dataa laskennallisesti vaatii korkeaa laskentatehokapasiteettia. Käsiteltävän tutkimusdatan määrä liikkuu noin petatavutasolla (Amunts et al., 2019). Neurotieteiden

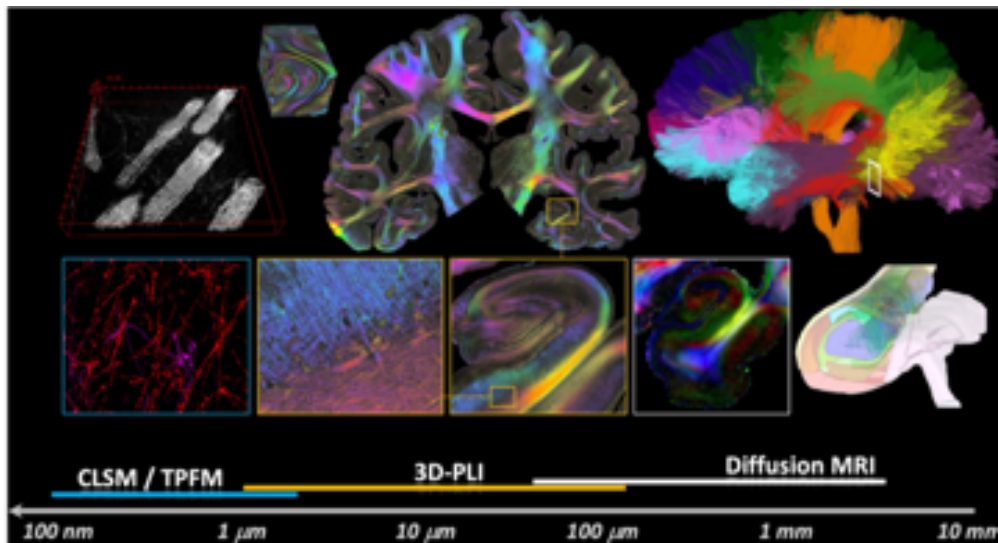
rakenteet toimintaan linkittämä datamassan simulointi vastaa tyypillisesti volumetrista prosessointia, joka vastaa 100 biljoonaa solmun ja triljoonan linkin käsittelemistä (Bouchard et al., 2016). Datan käsittelyyn vaadittavien algoritmien kehittäminen on yksi HBP:n tutkimuskohteista. Skaalattava approksimoiva algoritmi käyttää partikkelien fyysikkää ja tarjoaa yhden mallin laajojen ongelmien ratkaisemiseksi (Rinke et al., 2017).

Infrastrukturi skaalataan käsittelemään ja analysoimaan sekä rakenteista, että tilastollista dataa. Datan esikäsittely ja tilastollinen analyysi ovat olennaisia datan yhtenäisyyden varmistamiseksi. Lisäksi alustoilta vaaditaan kyvykkyyttä ymmärtää dataa ja vastata kasvavaan tarpeeseen käsitellä kokeellista dataa. Kokeellisuus tarkoittaa erilaisten teoreettisten skenaariomallien rakentamista. Järjestelmissä voi näin olla tutkimuksen käytössä samasta datasta useita eri versioita eli erilaisia teoreettisia malleja. Versioinnilla varmistetaan mistä mallista on kyse ja mitä dataa siinä on käytetty. Kokeellisen mallin dataa käytetään sekä selittämään eli tulkitsemaan tietoa, että ennustamaan tulevaa. Tulevan ennustaminen luo puolestaan uusia kokeellisia skenaarioita mallinnettavaksi. Datan käyttö samanaikaisesti sekä ennustettavasti että tulkinnallisesti ovat kuitenkin usein ristiriidassa toistensa kanssa. (Bouchard et al., 2016)

Ihmisen aivotoimintaa ja siihen liittyviä konsepteja kuten tietoisuutta tutkitaan mittaamalla ja tarkkailemalla yksittäisiä eristettyjä toimintoja, ja mallintamalla laskentatehon kasvaessa yksittäisistä malleista verkkorakenteita. Neuronien ja synapsien toiminta tuottaa dataa, joka muistuttaa piikkejä. Keinotekoisista neuroverkkorakenteista spiking neural networks (SNN) on yleistynyt neurotieteiden yleisimmäksi simulaatiomalleiksi (Rinke et al., 2018). Mittausdatana on synapsien pulssi, josta saatua impulssidataa voi muokata graafiseksi kuvaksi piikkien (engl. spikes) muotoon (Rinke et al., 2018).

Pelkästään fysiologista generoituvan rakenteisten konnektomien dataa kertyy 50 teratavua päivässä. Konnektomien toiminta liittyy muun muassa muistin toiminnan ja oppimisen ymmärtämiseen (Rinke et al., 2017). Useassa paikassa, erilaisilla laitteilla tallennettua dataa on monessa erilaisessa muodossa. Esimerkiksi sähköinen ja optisesti tallennettu data tulee muokata yhteensopivaksi. (Bouchard et al., 2016). Jatkossa multimodaalista dataa, kuten kuvassa 1, tulee olemaan yhä enemmän, sillä aktiopotentiaalilin lisäksi data sisältää samanaikaisesti sähköisiä, magneettisia ja optisia signaaleja (Einevoll et al., 2019). Kuvantamistapojen kehittyessä yhä pidemmät dataskenaariot mahdollistuvat. Tämä tarkoittaa, että tiedon ajallinen horisontti kasvaa. (Bouchard et al., 2016)

Osa mittausdatasta voi siis olla erillisiä hetkellisiä lukuja tai kuvia yksittäisinä otoksina tai kuvasarjoina, ja osa mittausdatasta voi olla jatkuvaa nauhoitettua dataa tai kuvaa. Kuvassa 1 näkyy illustraationa erilaisia mittausdatan kokoluokan mittasuhteita. Kuvantunnistuksen käyttäminen tuottaa kuvista prosessointiin sopivaa numeerista dataa. Mittauslähteiden yhdistäminen vaatii mittayksikköjen, mittasuhteiden ja ajallisen horisontin tarkkaa yhteensovittamista. Poikkeava tai puuttuva data tulee (voida) käsitellä ennen käyttämistä. Datan esikäsittelyyn voi kulua huomattava määrä aikaa.



Kuva 1. Aivokuvauksen datan skaalaa (Amunts et al., 2019)

Monimuotoinen data on kerroksista ja vaatii pikkutarkkaa virheetöntä käsittelyä. Kokonaisten neuronipopulaatioiden laskenta vaatii kaiken datan mukaanottamista samanaikaisesti. Dimensioiden vähentäminen ja aikariippuvuuksien tunnistaminen ovat yleisimmät tavat yksinkertaistaa laskentaa. (Bouchard et al., 2016)

4.3 Infrastrukturi

Neuromorfisten tietokoneiden ja prosessoreiden kehitys on johdettu neuroverkkojen toiminnasta. Suurteholaskenta-alustan tärkeimmät ominaisuudet ovat tiedonkäsittelyn kapasiteetti, suorituskyky ja tallennuskapasiteetti (Glatard et al., 2017). HBP:n infrastruktuurina on kaksi neuromorfista alustaa, BrainScales ja SpinNaker (Spiking neural networks architecture) (Amunts et al., 2019). BrainScaleS käsittelee dataa 10 potenssiin 5 kertaa normaalia aikaa nopeammin ja sen voi konfiguroida joustavasti kokeellisille tutkimuksille (Walter et al., 2015). SpiNNaker on neuromorfinen laskennallisia yksiköitä asynkroniseksi verkoksi yhdistävä SNN rauta, joka on suunniteltu tosiaikaisen biologisen datan käsittelyyn (Senk et al., 2017). SpinNakerin oppimisalgoritmeja voi ohjelmoida vapaasti (Walter et al., 2015).

Tavallisten prosessoreiden peräkkäiseen (engl. sequential) malliin verrattuna neuromorfisen informaation prosessointi on rinnakkaista ja hajautettua (engl. parallel and distributed). Neuromorfisissa tietokoneissa on käytävissä useita erilaisia reaaliaikaista SNN dataa käsitteleviä neurobiologisesti oppivia prosessoryyppöjä.

Prosessoreiden oppimiskyvykkyyteen sovelletaan sekä ohjattua oppimista, vahvistusoppimista että ohjaamatonta oppimista. Käytännössä kaikkien neuromorfisten prosessoreiden arkkitehtuuri tukee biologisesti synaptista plastisuutta. Raudan ja prosessien

teoreettista kehitystä on tehty vuosikymmeniä, ja viime vuosina niistä on kyetty kehittäämään yhä tehokkaampia koneita. Jatkossa ne tulevat auttamaan ymmärtämään kognitiivisia toiminnallisuuksia ja prosesseja. (Walter et al., 2015)

4.4 Sovellukset

Sovelluksissa dataa käsitellään analysoimalla, mallintamalla, simuloimalla ja tulkitsemalla saatuja tuloksia (Amunts et al., 2019). Hermoverkkojen toimintaa (engl. brain simulation) mallintamalla, laskennallisilla menetelmillä ja poikkitieteellistä dataa yhdistämällä ja eksperimentoimalla opitaan aivojen toiminnasta uusia metodeja sovellettavaksi. Datan käsittely ja analysointi vaativat optimoitua suurteholaskentakapasiteettia ja sovelluksia, joiden avulla tutkijalle ymmärrettävä lähtödata ja simulaatiomallit käsitellään tyyppillisesti koneoppimisen avulla laskennallisina algoritmeina ja muunnetaan takaisin tulkittaviksi tuloksiksi.

Yhdessä näistä vaiheista koostuu työvirta. Työvirran avulla käyttäjä ohjaa sovellusten ohjelmistoa, jotka koordinoivat ja lähettävät haluttuja työpyyntöjä dataa prosessoiville koneille. Työvirran avulla saadaan käyttöön niin jaetun infrastruktuuri arkkitehtuurin osia, kuten klusteri-, verkko- ja pilvipalveluita, kuin yksittäisiä sovelluksia. Työvirran lisäksi myös työkaluketju on tapa koota ohjelmiston komponentteja yhtenäiseksi putkeksi.

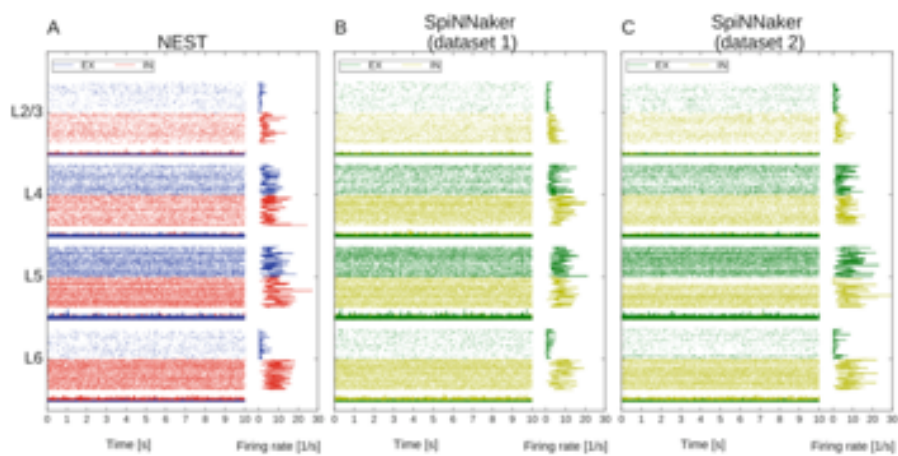
Simulaatiolla tarkoitetaan datan mallintamista tietyllä tavalla tietyillä parametreilla. Simulaatioiden rakentamiseen tarvitaan dataa, malli, laskenta-alusta, analysointiin sopivia sovelluksia ja tulkintaa helpottavia työkaluja. Datan ja simulaatioiden käsittelyssä käytetään statistisia malleja ja niiden käsittely vaatii tietoteknisten sovellusten käyttöä. Standardoinnista huolimatta integroitava data voi olla toisistaan poikkeavassa formaatissa, ja järjestelmien väliset rajapinnat voivat olla toisiinsa nähden erilaisia. Integroitujen järjestelmien käytössä vaaditaan tarkkuutta. (Senk et al., 2017)

Yksittäiset sovellukset voivat sijaita eri puolilla maailmaa, ja olla toisistaan yhteensopimattomia, esimerkiksi erilaisen rajapinnan tai mittakaavan käytön takia, ilman tarvittavia muunnoksia. HBP:n alustalla on tarjolla yhteensopivuudeltaan varmistettuja, valmiita työskentelyyn räätälöityjä ketjutettuja ratkaisuvaihtoehtoja, jotka käyttävät tunnettuja simulaattoreita. NEURON ja NEST simulaattorien tutkimuksen kehityskaari ulottuu 25 vuoden taakse (Einevoll et al., 2019). NEST (NEural Simulation Tool) on suurteholaskenta-alusta (HCP), joka on tarkoitettu simulaatioille (Senk et al., 2017). Laskennan ja simulaatioiden tekeminen, käyttö ja mallintamisen ratkaisut ovat vaativia. Kalliin kapasiteetin laskentatehovaatimukset kasvavat, joten ratkaisussa on huomioitava sen käytön optimointi. Yksi skaalatuksi rakennettu aivosimulaattori voi sisältää sekä yleisiä että räätälöityjä malleja.

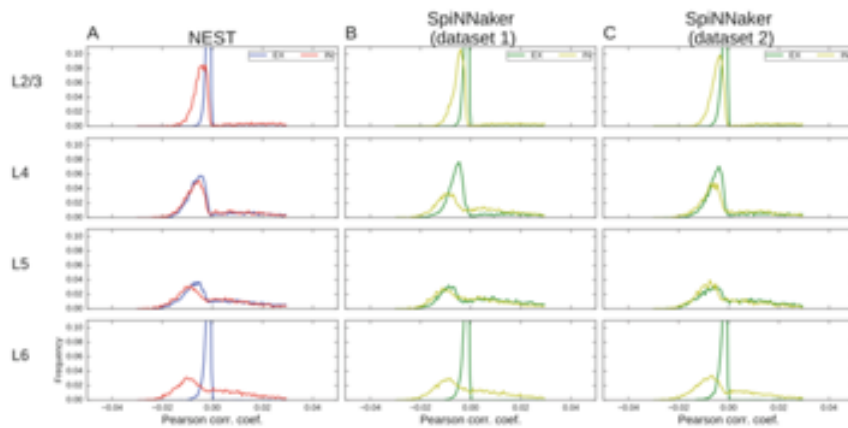
Neurotieteet käsittelevät aivojen rakenteen toimintaa ja pyrkivät ymmärtämään miten aivot vaikuttavat muun muassa liikkeen luomiseen ja tietoisuuteen. Keinotekkoisten neuroverkkojen kautta kehitetään osaamista, jolla simulaatioiden ja kokeilujen tulosten

luotettavuutta ja vertailullisuutta voi mitata ja ennustaa (Senk et al., 2017). Suljettua silmukkaista kokeilu- ja testausympäristöä (engl. closed-loop) käytetään simulaatioiden tutkimiseen neurorobotiikan alustalla (Amunts et al., 2019). Analysointi havainnollistuu malleista muodostettavien robottien toimintaa tarkkailemalla (Falotico et al., 2017). Simulaatiossa olemassa olevaa dataa voidaan mallintaa edelleen parametrien avulla. Toistettava ja iteroiva työskentely vaatii kaiken tutkimuksessa käytettäviltä komponenteilta versionhallintaa. Data, laskentatapa ja simulaatiokierrokset ovat versioituna keskenään vertailukelpoisia.

Senk et al. (2017) esittelee artikkelissaan, kuinka saman mallin analysointi kahdella eri HCP -alustalla antaa erilaista dataa. Malleja vertailtiin samalla datalla ja parametreilla käyttäen NEST ja SpiNNaker-alustoja. Tulodata tuotiin sitten Python pohjaiseen Elephant-sovellukseen, jonka jälkeen molemmista tulosmalleista tuotettiin ohjelmallisesti graafista dataa. Ensimmäisessä vertailussa graafissa kuvassa 2 tulokset ovat rasterigrafiikkana. Toisessa vertailussa kuvassa 3 Pearsonin korrelaatioina. Kuvissa näkyy spiking neural networks mallin piikkimäinen kuvio. Senkin (2017) vertailun lopputuloksena nähdään, että saman mallin ajaminen samalla datalla eri ympäristöissä antaa erilaista yksityiskohtaista dataa. Tämä tieto on tärkeää tutkijoille.



Kuva 2. Rasterigrafiikkaa (Senk et al., 2017)



Kuva 3. Pearsonin korrelaatiot (Senk et al., 2017)

Tutkimustulosten tulkinnassa käytetään siis tilastollisen, numeerisen ja graafisen datan vertailua. Validoituja simulaatiomalleja testataan tietokonesimulaatioiden ja erilaisten robottien avulla. Visuaalinen tapa esittää tuloksia auttaa tutkijoita löytämään ja ymmärtämään havaittuja eroja. Jo maallikko kykenee erottamaan kuvissa esitetyistä graafeista kohtia, joita tarkastella edelleen. Visuaalisten mallien laajempi askel on simulaatio.

4.5 Neurorobotiikka

Neurorobotiikka rakentaa autonomisia robotteja yhdistämällä neurotieteiden malleihin perustuviin algoritmeihin teknologiaa. HBP projektin yksi pitkän tähtäimen päätavoitteesta on kyetä mallintamaan aivot kokonaisuudessaan neurofysiologista dataa käyttämällä. Robotiikan kehitys saa ensikäden tietoa biologisesti kontrolloidun teknologian suunnitteluun. HBP projektissa jyräjän ja ihmisen aivoille rakennetaan neurorobotiikka simulaatiomallia käyttämällä hermomalleja ja spiking neural networks (SNN) verkkoja.

SNN mallissa neuronit kommunikoivat piikkisekvenssien avulla. Yksinkertaistamalla laskennallista mallia vastaamaan prosesessointivaatimuksiltaan ajantasaisen (engl. real-time) datan laskentaa, mallia käytetään luomaan oikea robotti. Toistaiseksi robotit ovat yksinkertaisia. Koko mallia käyttämällä saadaan laskennallisesti simuloitu, tietokoneelle mallinnettu robotti. Tiedon ja mallien täydentyessä robottien kehitys etenee. (Falotico et al., 2017)

Aivot muokkautuvat kokemuksen kautta ja reagoimalla ympäristöönsä. Robottien avulla sensorisen, motorisen ja tunteiden tutkimuksen lisäksi tutkimukseen saadaan mukaan ulkoisia ärsykeitä. Robotiikalta vaaditaan kontrolloitavaa ja mitattavaa ärsykkeiden käsittelyä, jotta niiden antama syötetietoa (engl. input) voidaan säädellä, ja tarkkailla parametrisoinnista seuraavaa käyttäytymistä kuten silmänliikkeitä. Ärsykeitä voidaan antaa ajallisesti säännönmukaisesti vertailun mahdollistamiseksi. (Falotico et al., 2017)

Neurorobotiikka-alustan (NRP neurorobotics platform) järjestelmällä on mallinusta varten selainpohjainen käyttöliittymä, joka on integroitu HBP -alustan muihin osiin

ja robottien kameroiden ja motoristen sensorien dataan. Robottien ja ympäristön suunniteltuohjelma, kokeilu- ja aivorajapinta ja kehointegraatio ohjelmien lisäksi NRP:ssä on valmiina simulaatiomoottorit (engl. engine) World simulation, Neural simulation ja Closed loop. Alustan prosessointitehoa pyritään kasvattamaan monimutkaisempien robottien mahdollistamiseksi. NRP alustalle on projektin aikana integroitu useita kehitteillä olevia robottihankkeita, kuten ECCE ROBOT ja Roboy. (Knoll et al., 2017)

Yhteinen haaste laskennallisilla menetelmillä onkin saavuttaa aivojen monimuotoisuus, luovuus ja joustavuus, muistin käsittely ja oppiminen (Einevoll et al., 2019). Nämä osat kuuluvat vaikeasti määriteltävälle tietoisuuden osa-alueelle. Suljetussa ympäristössä aivomalleihin tulevia ärsykejä voidaan mallintaa, mitata, ennustaa ja vertailla koneoppimisen avulla. Analysoitua dataa verrataan edellisten mallien tuloksiin poikkeamien löytämiseksi. Lisäksi datan analysointia ja varmistusta tehdään ajamalla samaa skenaariota useammassa eri ympäristössä. Koska kokeiluilla hahmotetaan oppimisen kaltaisia irrationaalisia elementtejä, tulostiedon on oltava perusteltua. Simulaatioista syntyy uusia malleja, ja räätälöidyistä malleista kehitetään yleisiä malleja. Prosessointia vertaamalla saatua tietoa käytetään samassa yhteydessä kehittämään siihen tarvittavien laitteiden suorituskykyä. Soveltava, suljettuja ympäristöjä käyttävä tutkimuksen ja sen kehityksen tarve tulevat kasvamaan jatkossa, kun tutkimus etenee kattamaan yhä suurempia osia aivotoiminnasta. (Amunts et al., 2019)

Aivotoiminnan mallintamisen lisähaasteena on tutkimusmateriaalin jatkuva liike, ja datan muokkautuvuus pienimmästäkin muutoksesta. Usein tutkimusta on lähes mahdotonta toistaa, tai jatkaa pidemmälle. Suljettua koneoppimista ja laskennallisten neurotieteitä yhdistämällä luotu simulaatiomalli mahdollistaa biologisten hermojen, neuronien ja synapsien yhteistoiminnan tutkimisen. Tietoa arvioimalla ja vertailemalla kehitetään yleisiä standardimalleja mallintamisen eri tasoilla. (Jordan et al., 2019)

Neuroverkkojen simulaatiolla voi luoda ja arvioida hermoston rakenteita, dynamiikkaa ja toimintaa koskevia hypoteeseja. Jordan et al. (2019) tutkimus käytti neuroverkkojen oppimista ja standardoituja testejä apunaan, ja kykeni näiden avulla tuottamaan kahdessa viikossa uudelleenkäytettävän mallin tutkimukselle. Ulkoisten ärsykkeiden lisäksi mallissa hyödynnettiin organismien itseohjautuvia muutoksia ja näiden kerroksittaisia reaktioita yhdessä. Tällaisesta toiminnasta syntyy suljetussa ympäristössä jatkuva malli. Tutkijoiden kannalta uudelleenkäytettävä malli ja testatut työkalut nopeuttavat ja tehostavat työtä. Toimintavarman mallin jatkokehitys lisää hyötyjä edelleen. (Jordan et al., 2019)

5 Pohdinta

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin yhden neurotieteiden suurprojektin tietoteknisiä ratkaisuja suhteessa tiedeportaalien konseptiin. Aivotutkimuksen tavoite on mallintaa ihmisen

aivotoiminta kokonaisuudessaan, jonka avulla voidaan kohdentaa lääketieteen osaamista ja kehittää robotiikkaa humanoidimaiseksi. Tietotekniikalla on kaksi roolia, se on tutkimuksen työväline ja tutkimuksen kohde. Käytännössä neurotutkimukselle on vain yksi toimiva arkkitehtuuriratkaisu - yhteinen alusta. Aivotutkimus on kokonaisuus, jonka datan määrä, laatu ja tutkimuksen luonne vaativat suorituskyvyltään tehokkaita tietoteknisiä ratkaisuja (Glatard et al., 2017). Tutkimustiedon täydentyessä tiedonkäsittelykapasiteetin skaalattavuusvaatimukset vaativat uudenlaista infrastruktuuria ja teknologiaa laskentatehnon varmistamiseksi (Amunts et al., 2019).

Neuromorfinen tietotekniikka, koneoppimissovellukset ja robotiikka hyötyvät vastavuoroisesti neurotieteiden tutkimuksesta (Amunts et al., 2019). Datan käsittelyn metodit ja suljettua kokeilu- ja testausympäristöä käyttävä neurorobotiikan alusta ovat avainasemassa uusien innovaatioiden rakentamisessa ja testaamisessa. Poikkitieteellinen iteraatiivinen kehittäminen nopeuttaa tutkimuksesta oppimista, ja uusien ratkaisujen tuottamista. Tutkimusta tehdään myös vertailemalla eri alustojen ratkaisuja toisiinsa, josta saadaan tietoa ratkaisujen toimivuudesta kulloisenkin ongelman ratkaisemiseen.

HBP on muuttanut projektin aikana rakennettaan ja alkuperäistä arkkitehtuuriaan tuomalla erilliset osa-alueet lähemmäs toisiaan. Projektissa on siis huomattu saumattomasti integroitujen järjestelmien tärkeys. Tämän muutoksen voi tulkita oppimisena. Artikkeleissa samankaltaista ajattelun etenemistä käsitellään myös neuromorfologian ja neurorobotiikan alueilla. HBP:tä on arvosteltu hallinnolliselta rakenteeltaan kankeaksi ja raskaaksi (Einevoll et al., 2019). Integroidut alustat vaativat yhteistyötä, asioiden yhteensovittamista ja kommunikaatiota. Tältä osin HBP:n arkkitehtuuri ja toimintatavat muistuttavat tyypillistä suuren korporaation järjestelmäratkaisua. On vaikea nähdä, miten yhteiseen tulokseen päästäisiin ilman yhteistä järjestelmäalustaa ja sovittuja työtapoja.

Raportissa esiteltiin HBP projektin kokonaisarkkitehtuuri, sekä kaksi esimerkkiä, joissa tutkimustyön työvaiheet yhteen paikkaan kokoava työvirta koetaan neurotutkimusta helpottavana ratkaisuna. Kaikissa lähdeartikkeleissa toistuu alustan välttämättömyyden tunnustaminen, olipa näkökulmana neurotutkimus, data- tai teknologia- lähtöisyys. Käyttäjille datan monimuotoisuuden ja monimutkaisten työvälineiden hallinta ovat helpottuneet HBP:n kautta. Käytettävyys, standardien käyttö ja yhteiset toimintatavat, sekä käyttäjien tuki nähdään ratkaisujen hyödyntämisen edellytyksenä.

Tulevaisuudessa tiedon määrä kasvaa ja teknologiset ratkaisut täydentyvät yhä kompleksisimmiksi. Tutkijoiden työtä on keskittyä omaan sovellusalaansa. Sovellusputkien rakentaminen, ajantasaisuus ja tekniset tukirakenteet ovat toimiessaan käyttäjälle näkymättömiä apuvälineitä. Vastaavasti käytettävän datan kuratointi ja versionhallinta vaativat metadatan huomioimista. Teknisten järjestelmien kehittyminen tulee automatisoimaan konfiguraatioiden hallintaa lisää ja siten siirtämään niiden huomioinnin vähintäänkin taustalle.

Tiedeportaali-järjestelmät tarjoavat suuria tietomassoja käyttäville aloille mahdollisuuksia globaaliin yhteistyöhön. Tutkimusaineisto on rajoittunut HBP:n kautta käytössä

olevaan tietoon ja teknologiaan viime vuosilta. Vastaavan tyyppisiä tiedeportaalijärjestelmiä voisi tarkastella sekä globaalisti useammilta aloilta, ja vertailla niiden ratkaisuja keskenään. Sään tutkimuksessa käytettävä fyysikaalisen ja kemiallisen datan mallintaminen vastaavat sekä mitattavien elementtien skaalan laajuudella ja laskettavuuden haastavuuden suhteen aivotoiminnan mallintamista (Einevoll et al., 2019).

Neurotieteet ovat kehittyvä tutkimusala. Tutkielman lähdeaineisto ei kerro selkeästi mittakaavaa, jossa tutkimustyö etenee. Artikkeleista ei selviä kuinka pitkällä aivojen mallinnuksessa ollaan. HBP:ssa kehitetyt tietotekniikan ratkaisut toimivat inspiraationa kaupallisille sovelluksille. Konkreettiset tulokset ja mittakaava auttaisivat hahmottamaan kehityksen suuntaa, vauhtia ja merkityksellisyyttä. Projektin jatkosta päätetään tulevien vuosien aikana. Selkeää vaihtoehtoa tulevaisuudesta ei ollut materiaalissa tarjolla.

6 Yhteenveto

Biologinen aivotutkimus ja neurologiset mallit tähtäävät lääketieteellisen osaamisen ja kognitiivisen tiedon syvempään ymmärtämiseen. Tietoa sovelletaan edelleen sekä terveydenhuollossa että useilla luonnontieteen aloilla. Tietotekniikassa biologiset mallit ovat merkittävässä roolissa keinotekoisien neuroverkkojen kehityksessä. Neuromorfista rautaa käytetään tiedon käsittelyssä ja sitä optimoidaan ja kehitetään edelleen vastaamaan laskentatehon vaatimuksia. Datan mallinnuksessa käytetään laajalti neuroverkkoihin pohjautuvia algoritmeja. Tutkimustuloksena saatavaa dataa vertaillaan ja simuloidaan neurorobotiikan alustalla. Tiivis yhteistyö hyödyttää molempia osapuolia, varmistaa saumatoman tiedonjaon ja olennaisten asioiden jatkokehityksen.

Neurotieteiden tutkimuskohde, laskentatehoa ja mallintamista vaativa data ja poikkitieteellisen tutkijayhteisön yhteistyö vaativat tietoteknisiä ratkaisuja. Neurotieteiden tutkimusprojekti HBP on rakentanut tiedeyhteisön käyttöön alustan ja työtavat, jotka tukevat alan tutkimusta kokoamalla ja järjestämällä aihepiiriin liittyvän tiedon ja työkalut yhteensopivaksi kokonaisuudeksi. Järjestelmillä on keskitetty arkkitehtuuri, jossa validoitu tieto, tutkimustulokset ja skenaariot sekä mallinnus ovat avoimesti saatavilla. Avoin järjestelmä mahdollistaa tiiviin yhteistyön ja olemassa olevan tiedon ja tutkimustyössä validoitujen mallien varaan tapahtuvan iteratiivisen rakentamisen. Tiedon ja mallien verifiointi on näin toimien mahdollista ja laadultaan erillisiä tutkimuksia luotettavampaa ja nopeampaa.

Lähdeluettelo

Amunts K., Knoll, A., Lippert, T., Pennartz, C., Ryvlin, R., Destexhe, A., Jirsa, V., D'Angelo, E., Bjaalie, J. (2019). The Human Brain Project-Synergy between neuroscience, computing, informatics, and brain-inspired technologies. *PLoS Biology*, *17*(7), e3000344. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000344>

Aggarwal, C. (2018). *Neural networks and deep learning: a textbook*. Cham, Switzerland: Springer.

Aicardi, C., Fothergill, B., Rainey, S., Stahl, B., & Harris, E. (2018). Accompanying technology development in the Human Brain Project: From foresight to ethics management. *Futures*, *102*, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.01.005>

Bouchard, K., Aimone, J., Chun, M., Dean, T., Denker, M., Diesmann, M., Donofrio, D., Frank, L., Kasthuri, N., Koch, C. et al. (2016). High-Performance Computing in Neuroscience for Data-Driven Discovery, Integration, and Dissemination. *Neuron*, *92*(3), 628–631. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.10.035>

Einevoll, G., Destexhe, A., Diesmann, M., Grün, S., Jirsa, V., de Kamps, M., Migliore, M., Ness, T., Plesser, H., Schürmann, F. (2019). The Scientific Case for Brain Simulations. *Neuron*, *102*(4), 735–744. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.03.027>

Falotico, E., Vannucci, L., Ambrosano, A., Albanese, U., Ulbrich, S., Vasquez Tieck, J., Hinkel, G., Kaiser, J., Peric, I., Denninger, O., et al. (2017). Connecting Artificial Brains to Robots in a Comprehensive Simulation Framework: The Neurorobotics Platform. *Frontiers in Neurobotics*, *11*, 2. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2017.00002>

Glatard, T., Rousseau, M., Camarasu-Pop, S., Adalat, R., Beck, N., Das, S., Ferreira da Silva, R., Khalili-Mahani, N., Korkhov, V., Quirion, P-O. et al. (2017). Software architectures to integrate workflow engines in science gateways. *Future Generation Computer Systems-The International Journal Of Esience*, *75*, 239–255. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.01.005>

HBP Human Brain Project. (2020). *Human Brain Project etusivu*. <https://www.humanbrainproject.eu/en/science/hbp-science-publications/> (Haettu 4.3.2020)

Jordan, J., Weidel, P., & Morrison, A. (2019). A Closed-Loop Toolchain for Neural Network Simulations of Learning Autonomous Agents. *Frontiers In Computational Neuroscience*, *13*, 46. <https://doi.org/10.3389/fncom.2019.00046>

Knoll, A., Röhrbein, F., Kuhn, A., Akl, M., & Sharma, K. (2017). Neurorobotics. *Informatik-Spektrum*, *40*(2), 161–164. <https://doi.org/10.1007/s00287-017-1031-8>

Rinke, S., Butz-Ostendorf, M., Hermanns, M., Naveau, M., & Wolf, F. (2018). A scalable algorithm for simulating the structural plasticity of the brain. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, *120*, 251–266. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2017.11.019>

Senk, J., Yegenoglu, A., Amblet, O., Brukau, Y., Davison, A., Lester, D., Lührs, A., Quaglio, P., Ros-tami, V., Rowley, A. et al. (2017). A collaborative simulation-analysis workflow for computational neuroscience Using HPC. *Lecture Notes in Computer Science (including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10164, 243–256. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53862-4_21

Walter, F., Röhrbein, F., Knoll, A. Neuromorphic implementations of neurobiological learning algorithms for spiking neural networks. (2015). *Neural Networks*, 72, 152-167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neunet.2015.07.004>