

Algoritmit ja niiden käyttö  
liikuntasovelluksia hyödyntävässä  
tutkimuksessa

TURUN YLIOPISTO  
Tietotekniikan laitos  
TkK-tutkielma  
Tietotekniikka  
Kesäkuu 2025  
Lenni Sigfridsson

Terveyden ja liikunnan edistämiseen voidaan käyttää ja on käytetty erilaisia sovelluksia ja laitteistoa. Liikuntasovelluksissa, niitä käyttävässä laitteistossa ja tutkimuksessa tarvitaan monenlaisia algoritmeja. Niitä käytetään esim. raakadatan lajitteluun, liikkeiden analysoimiseen sekä intensiteetin arvioimiseen. Myös tiedon analysointiin käytetään monenlaisia algoritmeja. Viime vuosina aihetta on tutkittu melko paljon.

Tässä tutkielmassa kerrotaan tarkemmin liikuntasovelluksia hyödyntävässä tutkimuksessa ja varsinaisessa liikuntasovellustutkimuksessa käytetyistä algoritmeista. Tässä tutkielmassa tarkastellaan algoritmiikkaa ja sen käyttöä kahden tutkimuskysymyksen kautta. Ensimmäiseksi käydään läpi, minkä tyyppisiä sovelluksia on tutkittu tai hyödynnetty tutkimuksessa ja minkä tyyppisiä algoritmeja ne käyttävät. Sitten selvitetään, mitä algoritmeja on käytetty tutkimuksissa ja mihin tarkoitukseen. Lopuksi analysoidaan, mitkä algoritmit ovat käyttökelpoisimpia tämän tyyppisessä tutkimuksessa, sekä mitä hyötyä niiden käytöstä on ollut yleisellä tasolla. Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, joka keskittyy eritoten hiljattaisissa liikuntasovelluksia hyödyntävissä tutkimuksissa käytettyyn algoritmiikkaan. Tutkimuksissa selvitetään esimerkiksi, mikä on paras algoritmi jonkin tehtävän suorittamiseen, eli vertaillaan eri algoritmeja, esitellään uusia sovelluksia ja algoritmeja ja kerrotaan, miten algoritmeja voi käyttää erilaisten liikuntasuoritteiden optimointiin.

Tutkielmassa selviää, että sovelluksissa käytetään monenlaisia algoritmeja ja niitä, ja erilaisia niihin liittyviä järjestelmiä, myös hyödynnetään tutkimuksessa jonkin verran. Aineistossa on käytetty erityisesti koneoppimis- ja statistisia algoritmeja, jotka ovat olleet tehokkaimpia. Koneoppimisalgoritmit ovat olleet monipuolisimpia ja niitä on käytetty eniten. Tutkimuksissa käytetään varsinaisia liikuntasovelluksia melko vähän ja niistä voisi olla hyötyä tutkimuskäytössä. Eniten esiintyneitä ja käyttökelpoisimpia algoritmeja sekä liikuntasovellusten käyttöä tulisi tutkia enemmän etenkin tutkimuskäyttöä varten.

Asiasanat: Liikuntasovellukset, algoritmit, koneoppiminen, syväoppiminen, personointi, kiihtyvyysanturi, luokittelu

# Sisällys

<b>1 Johdanto</b>	<b>1</b>
1.1 Tutkielman rajausta ja tutkimuskysymykset . . . . .	1
1.2 Tutkimusmenetelmät ja lähteet . . . . .	2
1.3 Tutkielman rakenne . . . . .	4
<b>2 Tausta</b>	<b>5</b>
2.1 Aiemmat löydökset alalta . . . . .	5
2.2 Tutkimustiedon luonne . . . . .	6
<b>3 Sovelluksien käyttö ja tutkimus</b>	<b>9</b>
3.1 Tutkimuksissa käytetyt sovellukset ja niiden ominaisuudet . . . . .	9
3.2 Sovelluksissa käytetyt algoritmit . . . . .	13
<b>4 Algoritmit</b>	<b>16</b>
4.1 Tutkimuksissa käytetyt algoritmit . . . . .	16
4.2 Algoritmien vertailua . . . . .	19
4.3 Algoritmit tutkimuksessa . . . . .	21
<b>5 Yhteenveto</b>	<b>23</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>25</b>

# Kuvat

1.1 Aineistonhakuprosessi . . . . .	3
-------------------------------------	---

# Taulukot

3.1	Tutkimuksissa esitellyt sovellukset . . . . .	12
3.2	Tutkimuksissa käytetyt sovellukset ja järjestelmät ja niiden käyttö- tarkoitukset . . . . .	13
3.3	Aineiston järjestelmätyypit käyttökohteittain . . . . .	13
3.4	Aineiston algoritmityypit tutkimuksittain . . . . .	14
4.1	Algoritmit tutkimuksittain . . . . .	19
4.2	Vertailut algoritmityypit tarkoituksittain . . . . .	20

# Termistö

**CNN** Konvoluutioneuroverkko

**HMQA** Human motion quality assessment - Ihmisen liikkeen laadun arviointi

**kNN** k:n lähin naapuri

**LSTM** Long Short-Term Memory

**MLP** Multi-layer perceptron

**PKK** Pearsonin korrelaatiokerroin

**RF** Random forest

**RNN** Recurrent Neural Network

**SVM** Tukivektorikone

# 1 Johdanto

Liikuntasovelluksia hyödyntävässä tutkimuksessa käytetään paljon algoritmeja ja ala on jatkuvassa kehityksessä [1]–[5]. Myös itse liikuntasovelluksia tutkittaessa käytetään algoritmeja [5]–[7]. Algoritmeja onkin monia erilaisia ja niitä käytetään moneen eri tarkoitukseen aina tiedon hankinnasta, lajittelusta ja käsittelystä [1]–[5], [7]–[9] liikkeiden tunnistamiseen ja analysoimiseen [1], [2], [4]–[8]. Algoritmien käyttö on ajankohtaista ja niitä tullaan jatkossakin käyttämään tämänkaltaisessa tutkimuksessa. On siis hyvä ymmärtää hieman, minkälaisia algoritmeja on käytetty ja mihin tarkoituksiin. Etenkin tekoälyalgoritmit tulevat jatkossakin olemaan käytössä ja tutkimuksen kohteena.

## 1.1 Tutkielman rajaus ja tutkimuskysymykset

Tämä tutkielma käsittelee liikuntasovelluksia hyödyntävässä tutkimuksessa käytettyjä algoritmeja, mutta myös hieman liikuntasovellustutkimusta ja siinä käytettäviä algoritmeja, sillä niitä käytetään pitkälti samoihin tarkoituksiin. Tutkielmassa kerrotaan näistä algoritmeista ja niiden käyttötarkoituksista sekä vertaillaan niitä. Lisäksi tutkielmassa esitellään tutkimuksessa apuna käytettyjä sovelluksia ja myös sovelluksissa käytettyjä algoritmeja. Tutkielman tarkoitus on analysoida tätä tutkimuksen osa-alueita. Myös sovellukset ja erityisesti niissä käytetyt algoritmit ovat merkittävä osa tutkielman aihetta.

Tutkielmassa siis käsitellään sekä algoritmeja että sovelluksia niiltä osin kuin nii-

tä on mielekästä käsitellä ja on tarpeellista sovellusten ja algoritmien käytön tarpeen ymmärtämiseen. Varsinaiseen algoritmien matematiikkaan ei juuri paneuduta, sillä sitä ei ole esitelty jokaisessa tutkimuksessa eikä se ole tutkielman aiheen puitteissa mielekästä. Painopiste on siis eri algoritmien ja niiden käyttötarkoitusten esittelyssä sekä niiden hyödyllisyyden ja käyttökelpoisuuden analysoinnissa eri tarkoitusten kannalta. Tutkielmassa ei myöskään pyritä luomaan standardeja siitä, miten algoritmit ja sovellukset ja niiden käyttö tulisi esitellä tutkimuksissa, mutta tutkielmaa voi mahdollisesti hyödyntää sellaisten luomisessa.

Seuraavaksi esiteltävät tutkimuskysymykset havainnollistavat tutkielman rakennetta ja auttavat selkeyttämään, mistä tässä tutkielmassa on kyse. Algoritmiikka on laaja ala, joten rajausta tarvitaan. Tutkielmassa vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

**TK1:** Minkä tyyppisiä sovelluksia on tutkittu tai hyödynnetty tutkimuksessa ja minkälaisia algoritmeja ne hyödyntävät?

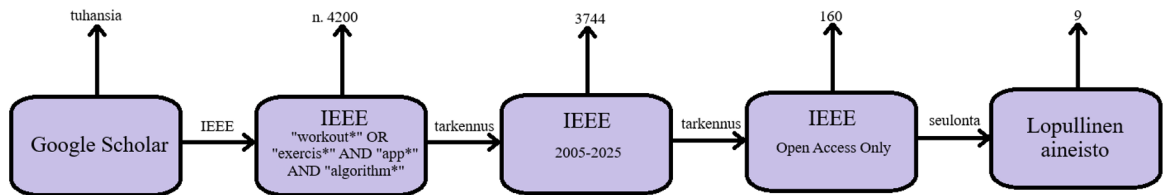
**TK2:** Mitä algoritmeja tutkimuksessa on käytetty ja mihin tarkoitukseen?

Varsinaisten tutkimuskysymysten lisäksi tutkielmassa analysoidaan myös sitä, mitkä algoritmit ovat käyttökelpoisimpia tämän tyyppisessä tutkimuksessa ja mitä hyötyä niistä on ollut. Tutkielmassa pohditaan myös, mitä algoritmeja tulisi tutkia lisää, ja sitä, onko tässä tutkielmassa esille tulleita seikkoja mahdollista hyödyntää tulevassa tutkimuksessa.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät ja lähteet

Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Aineistonhakuprosessi ei ollut monivaiheinen, sillä rajauksia ei tarvinnut tehdä paljon tutkielman aiheen laajuuden vuoksi. Prosessi aloitettiin tekemällä alustava haku Google Scholarista, koska siellä

on laajalti artikkeleita eri aloilta. Google Scholarista käytiin läpi lähdetietokantoja, joista osuvimmaksi osoittautui IEEE. Siellä on laajalti artikkeleita, jotka täsmäävät hakulausekkeeseen. Aineistonhakuprosessi on esitelty kokonaisuudessaan kuvassa 1.1, jossa havainnollistetaan hakuvaiheita ja varsinaisten artikkelien valintaa.



Kuva 1.1: Aineistonhakuprosessi

Ensin seulottiin lähteitä Google Scholarin avulla. Tässä käytettiin tarkoituksella löyhää hakulauseketta, jotta saataisiin laajalti lähdetietokantoja. Google Scholarissa on huomattava määrä artikkeleita, eikä tähän aiheeseen liittyen ollut mielekästä ruveta rajaamaan artikkeleita sieltä. Ensimmäisillä hauilla löytyi tuhansia artikkeleita. Lähdetietokannoista hyödyllisimmäksi osoittautui IEEE, jossa on tutkielman aihetta käsitteleviä artikkeleita.

Lopulliseksi hakulausekkeeksi valikoitui  $\{ "workout*" OR "exercis*" AND "app*" AND "algorithm*" \}$ . Tällä löytyi noin 4200 tulosta. Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana tämä ala on edistynyt merkittävästi, joten haku rajattiin vuosille 2005-2025. Tällä saatiin 3744 tulosta. Haku rajattiin käytännön syistä Open Access Only -artikkeleihin, jolloin saatiin tulokseksi 160 artikkelia. Seuraavaksi artikkeleita seulottiin otsikon ja tiivistelmän perusteella ja sen perusteella, miten monesti artikkelissa mainittiin esimerkiksi sanat "algorithm" ja "application" eri muodoissaan. Tutkittiin siis, käsittelevätkö artikkelit oikeasti aihetta, jota tässä tutkielmassa on haluttu tutkia. Tällaisin perustein valittiin 9 osuvinta lähdeartikkeleiksi. Lähdeartikkeleiden julkaisuvuodet sijoittuvat välille 2019-2024.

## 1.3 Tutkielman rakenne

Tutkielma etenee seuraavalla tavalla: Luvussa 2 kerrotaan aiheeseen liittyvästä tutkimuksesta ja aineistosta, johon tämä kirjallisuuskatsaus perustuu. Luvussa 3 käydään läpi tutkimuksissa käytettyjä sovelluksia ja niissä käytettäviä algoritmeja. Luvussa 4 paneudutaan varsinaisiin tutkimuksissa käytettyihin algoritmeihin. Kerrotaan, mikä tyyppisiä algoritmeja on käytetty ja vertaillaan niitä. Luvussa 5 summataan, mitä tutkielmassa on käsitelty ja esitellään joitakin mahdollisuuksia jatkotutkimukselle.

## 2 Tausta

Tutkielman aineistossa on käytetty monenlaisia sovelluksia ja algoritmeja. Tässä luvussa kerrotaan ensin hieman aiheeseen liittyvästä tutkimuksesta ja sitten käydään läpi, millaiseen tutkimustietoon tämä kirjallisuuskatsaus perustuu, eli kerrotaan aineistosta tarkemmin.

### 2.1 Aiemmat löydökset alalta

Aikaisemmassa tutkimuksessa esitellään usein jokin yksittäinen algoritmi tai sovellus [10], [11]. Tämänkaltaisia tutkimuksia täydentämään tarvitaan tutkimusta yleisellä tasolla algoritmeista ja tyypillisten sovellusten toiminnasta. Eräs aikaisempi tutkimus [12] on toteutettu kartoittavana katsauksena. Se keskittyy reaaliaikaisten fyysisen aktiviteetin valmennusohjelmistojen arviointiin. Näissä ohjelmistoissa on käytetty personointimekanismeja. Katsauksessa käsiteltiin 17:a sovellusta 28:n eri tutkimuksen kohteena. Tutkimuksessa havaittiin, etteivät nämä ohjelmistot ole alan teorian ja käytännön mukaisia personointimekanismeissaan, jotka ovat varsin yksinkertaisia. Lisäksi kaikkia sovelluksia ja algoritmeja ei esitelty kunnolla, kuten käy ilmi myös muissa tutkimuksissa [13]. Tätäkin varten tarvitaan tutkimusta yleisellä tasolla.

Aikaisemmassa tutkimuksessa on käytetty sovelluksia myös tutkimus- ja liikuntalaitteiden hallintaan [14]. Nämä eivät kuitenkaan ole suoranaisesti liikuntasovelluksia, joita tutkimuksessa voisi myös hyödyntää. Sovelluksissa on luonnollisesti käy-

tetty algoritmeja, joten niistä tarvitaan tutkimustietoa myös yleisellä tasolla. Algoritmeja on käytetty paljon myös tiedon prosessointiin esimerkiksi muuttamalla tieto oikeaan muotoon, jotta sitä voidaan käyttää verrattaessa mallidataan [15].

Aikaisemmassa tutkimuksessa on myös verrattu algoritmien tehokkuutta. Samalla sivutaan sovelluskerroksen ja ohjelmointirajapinnan kehittämistä esimerkiksi urheiluterveyden seuraamiseen [16]. Tämänkin kaltaisissa tutkimuksissa voitaisiin kertoa enemmän itse sovelluksista, joissa algoritmeja hyödynnetään. Joissakin artikkeleissa taas mainitaan sovellusten käyttö taustassa [17], mutta sovelluksia ei juuri hyödynnetä itse tutkimuksessa, jossa niistä saattaisi olla apua. Algoritmeja sen sijaan käytetään.

## 2.2 Tutkimustiedon luonne

Tässä tutkielmassa käsitellään vuosina 2019-2024 vapaasti saatavilla olevia artikkeleita. Suurin osa aineistosta valikoitui IEEE Accessista ja yksi lähdeartikkeli on IEEE Journal of Biomedical and Health Informaticsissa. Artikkeleissa muun muassa vertaillaan jo olemassa olevia algoritmeja eri tarkoituksiin [1]–[4], mutta myös esitellään uusia algoritmeja ja sovelluksia [2], [3], [5], [6], [8], [9] sekä esimerkiksi mahdollisuuksia käyttää algoritmeja sovelluksissa [7].

Monet lähdeartikkeleista ovat lääketieteelliseen tai liikuntatieteeseen viittaavaa tutkimusta, jossa arvioidaan algoritmien tai sovelluksien soveltumista tai vaikutusta siihen [1], [7]–[9]. Osassa artikkeleista esitellään uusi algoritmi [8], [9]. Suuressa osassa artikkeleista esitellään uusi sovellus tai sovelluksen osa [2], [3], [5], [6], [8]. Osassa artikkeleista vertaillaan algoritmeja johonkin tiettyyn tarkoitukseen ja analysoidaan niiden tehokkuutta [1]–[4].

## Algoritmit

Algoritmeja on käytetty lähdeartikkeleissa muun muassa tiedon keräämiseen ja käsittelyyn eri tavoin. Tarkemmin algoritmeja on käytetty ainakin seuraaviin tarkoituksiin:

Tiedon lajittelu tai sen saattaminen helpommin käsiteltävään muotoon [2], [3], ihmisten, liikkeen ja asentojen analysointi ja lajittelu [1]–[5], [7]–[9], datan arviointi [1], [4], harjoitteen intensiteetin arviointi [1], [4], kiihtyvyydestiedon soveltaminen [4] ja harjoitteiden suosittelu tai räätälöinti [7], [9]. Aineistossa esitellään lisäksi sovelluksien käyttötarkoituksia algoritmeille. Näistä kerrotaan lisää luvussa 4.2.

Artikkeleissa on lisäksi vertailtu algoritmeja ainakin seuraaviin tarkoituksiin: Liikkeen ja liikeratojen analysointi [1], [2], [4], liikkeiden luokittelu [3], intensiteetin arviointi [4] ja datan arviointi [4]. Joissakin lähdeartikkeleissa on myös esitelty kokonaan uusia algoritmeja seuraaviin tarkoituksiin: Liikkeen ja erityisesti asennon arvioiminen [8] ja erilaisten liikkeiden suosittelu suositusmekanismin avulla [9].

## Sovellukset

Lähdeartikkeleissa on myös kehitetty ja vertailtu sovelluksia muun muassa seuraaviin tarkoituksiin: Luodaan tai esitellään mobiili- (tai älykello)sovellus, joka kertoo, tehdäänkö suorite oikein [2], [6], mittaa esimerkiksi kiihdytystietoa [3] tai jonka avulla voi luoda harjoitussessioita tai muokata niitä [5]. Lisäksi kehitetään uusia järjestelmiä, joita voidaan käyttää sovelluksissa [8] tai suoraan käyttöliittymänä [5], [9]. Yhdessä artikkelissa myös validoidaan eräs järjestelmä laajentaen sen käyttömahdollisuuksia [7].

Lisäksi joissain lähdeartikkeleissa on käytetty sovelluksia tutkimustarkoituksiin. Yhdessä tutkimuksessa käytetään älykellosovellusta kiihtyvyydestiedon mittaamiseen [3]. Eräessä tutkimuksessa taas käytetään erillisiä sovelluksia, jotka toimivat tutkimuksessa esitellyn järjestelmän osana pitäen kirjaa potilaan fyysisistä suorit-

teista ja antaen aktiviteettisuosituksia [9]. Joissain tutkimuksissa taas käytetään luotuja järjestelmiä, jotka joko seuraavat fyysistä toimintaa tasapainoharjoitteen aikana [5], auttavat asennonkorjauksessa [8] tai havaitsevat liikettä ja rytmiä [7].

## **Tuloksia**

Tutkimuksien tuloksena esiteltiin uusia sovelluksia tai järjestelmiä [5], [6], [8] tai molempia [9]. Näitä voidaan mahdollisesti hyödyntää jatkotutkimuksessa. Lisäksi tuloksissa kerrottiin, että tietynlaisilla algoritmeilla saadaan hyviä tuloksia fyysisen aktiviteetin havaitsemisessa ja lajittelussa [7], mutta myös, että tietynlaiset algoritmit suoriutuvat eri tehtävistä paremmin kuin toiset [1]–[3], [8]. Tuloksissa näkyy myös tietynlaisten sensorien parempi suorituskyky harjoitteen intensiteettiä mitattaessa [4]. Näiden lisäksi eräässä tutkimuksessa selviää yleisemmin algoritmien laatuvaatimuksia eri tarkoituksiin [1].

## 3 Sovelluksien käyttö ja tutkimus

Tässä luvussa eritellään eri tutkimuksissa käytetyt sovellukset ja kerrotaan hieman enemmän siitä, miten niitä on hyödynnetty tutkimuksessa. Varsinaisten liikuntasovellustutkimusten kohdalla eritellään, mitä sovellusta on tutkittu ja millä tavoin. Edellisessä luvussa kerrottiin hieman, minkälaisia sovelluksia tutkimuksessa on kehitetty ja vertailtu. Luvussa 3.1 paneudutaan tarkemmin tutkimuksissa käytettyihin sovelluksiin, esitellään niitä ja niiden käyttötarkoituksia. Luvussa 3.2 kerrotaan sovelluksissa käytetyistä algoritmeista sekä vertaillaan hieman, mihin niitä on käytetty yms. Tässä luvussa pyritään siis vastaamaan tutkimuskysymykseen 1.

### 3.1 Tutkimuksissa käytetyt sovellukset ja niiden ominaisuudet

Aiemmin on mainittu lyhyesti, minkälaisia sovelluksia aineistossa on kehitetty ja käytetty. Tässä luvussa esitellään nämä sovellukset ja kerrotaan niiden käyttötarkoituksista.

Algoritmien vertailun jälkeen on loogista kehittää jokin alusta, johon paras algoritmi voidaan implementoida. Näin tehdään koneoppimisalgoritmeja vertailevassa tutkimuksessa [2], jossa esitellään mobiilisovellusehdotelma, joka on käytännössä sovelluksen runko ilman toteutusta. Ehdotelmassa voidaan kirjautumisen jälkeen valita käsivarsi- tai olkapääharjoite. Harjoitteen valittuaan käyttäjä voi painikkeel-

la aloittaa ennusteprosessin. Sovellus esittää reaaliaikaisen arvion siitä, tehdäänkö suorite oikein. Tämänkaltaisella sovelluksella voidaan arvioida liikkeitä tehokkaasti ja systemaattisesti, joten sitä tai sen kaltaista sovellusta voisi hyödyntää liikunta- tai lääketieteen tarkoituksiin. Kyseisenlaista konseptia kannattaisi siis tutkia lisää ainakin potentiaalisia käyttökohteita ajatellen.

Tutkimuksissa tarvitaan raakadataa, johon voidaan sitten soveltaa algoritmeja. Datan keräämiseen on kehitetty mobiilisovelluksia [6] ja älykellosovelluksia [3]. Algoritmeja käyttäen sovellukset havaitsevat liikkeen inertiasensorilla [6] tai kiihtyvyyssanturilla [3]. Jotkin liikuntasovellukset arvioivat liikkeen laatua [6] tai tunnistavat liikkeen [3], [6]. Tällaista tietoa voidaan käyttää kehittämään parempia algoritmeja ja sovelluksia moniin tarkoituksiin aina tutkimustarkoituksesta käytännön liikuntasovelluksiin. Raakadatan keruu on etenkin tutkimuksen sekä liikettä arvioivien sovellusten kannalta tärkeää, joten sitä kerääviä sovelluksia olisi hyvä tutkia tarkemmin.

Eräässä tutkimuksessa [7] pyritään laajentamaan sovelluksen osien käyttömahdollisuuksia kliinisistä sovelluksista kaupallisiin urheilusovelluksiin. Tällaisia sovelluksen osia ovat esimerkiksi juoksemisen havaitseminen ja välitön rytmin arviointi. Näillä on kuitenkin omat rajoituksensa. Lisää tutkimustietoa tarvitaan, sillä mainitun tutkimuksen otoskoko oli pieni. Lisäksi tutkimuksessa käytetty askeltenhavaitsemisalgoritmi on liian laaja-alainen, ja tietyissä liikkeissä havaitsemisen pitäisi olla tarkkoissa rajoissa.

Tutkimuksessa käytetyt sovellukset tarvitsevat joitakin järjestelmiä, jotta niitä voitaisiin hyödyntää paremmin. Tällaisia järjestelmiä on esitelty tutkimustiedossa [5], [8]. Erilaisia järjestelmiä ja niiden avulla saavutettuja tutkimustuloksia voidaan käyttää esimerkiksi älypuhelinapplikaatioissa, kuten tutkimustiedossa mainitaan [4]. Näitä järjestelmiä käytetään esimerkiksi asennonkorjaukseen voimanostossa [8] tai ne voivat auttaa sovelluksia havaitsemaan esimerkiksi tasapainolaudan liikkeit [5].

Asennonkorjauksessa käytetään esitellyn järjestelmän, YOLOv5:n, lisäksi myös kameraa. Näiden lisäksi tarvitaan luonnollisesti myös prosessointiyksikköä [8]. Tasapainolaudan liikkeiden havaitsemisessa käytetään järjestelmää, jonka osana on kaksi mikroprosessoria, jotka yhdessä kiihtyvyyssantureiden kanssa havaitsevat tasapainolaudan liikkeen [5]. Lisäksi tasapainolaudan käyttöön tarvitaan sovellusta, joka toimii pääkäyttöliittymänä ja jonka avulla voi luoda harjoitussessioita ja muokata niitä [5]. Tällaisia järjestelmiä voisi hyödyntää myöhemmässä tutkimuksessa, sillä liikkeiden havaitseminen ja korjaaminen ovat molemmat osaltaan hyödyllisiä tutkimuksissa. Esiteltyä tasapainolautajärjestelmää voi käyttää myös pelien pelaamiseen, minkä vuoksi tällaista järjestelmää voisi hyödyntää myös pelillistämisen tutkimuksessa.

Varsinaisissa liikuntasovellustutkimuksissa kehitetään myös kokonaan uusia sovelluksia järjestelmineen [6]. Niiden kehittämisessä voi käyttää aikaisempaa tutkimusta ja jo mainittuja järjestelmiä tai muita vastaavia järjestelmiä. Usein tutkimuksissa kehitetään omia järjestelmiä, kuten yllä on mainittu. Joskus kuitenkin myös laajempi kirjallisuuskatsaus on tarpeen, että saataisiin laajempi kuva tilanteesta eri sovelluksien kohdalla [1] ja mahdollisesti voitaisiin ottaa käyttöön jokin jo olemassa oleva järjestelmä. Tätä varten on konsepteja, kuten ihmisen liikkeen laadun arviointi (engl. Human Motion Quality Assessment, HMQA). HMQA:n sovelluksia on käytetty ”urheilusovelluksissa, urheilulajien suorituspisteytysjärjestelmissä, motorisissa kuntoutumisjärjestelmissä, lääketiedediagnostiikassa, kykyjen arvioinnissa ja koulutuksessa ja ergonomisten riskien arvioinnissa” [1]. Lisäksi HMQA:ta on käytetty virtuaalisissa fysioterapiasovelluksissa. Joskus käytetään myös sovelluksia, jotka toimivat jonkin järjestelmän osana pitäen kirjaa potilaiden fyysisistä suoritteista ja antaen aktiviteettisuosituksia [9]. Tällaisia laajempia konsepteja eri muodoissaan voidaan hyödyntää sovelluksissa, joita voidaan sitten hyödyntää tutkimuksessa.

Seuraavissa taulukossa (Taulukot 3.1 ja 3.2) esitellään tiivistetysti tässä luvussa

kerrotut asiat. Taulukossa 3.1 mainitaan vielä tutkimuksien mukaan jäsennehtyinä, esiteltiinkö tutkimuksessa sovellus, ja jos niin tehtiin, minkälainen sovellus esiteltiin ja tietoja: Onko kyseessä mobiilisovellus vai jokin muu sovellus? Esiteltiinkö tutkimuksessa sovelluksen osa tai jokin muu järjestelmä? Taulukosta näkee myös, oliko kyseessä liikuntasovellustutkimus. Niitä tutkimuksia, joissa ei esitelty uutta sovellusta tai järjestelmää ei ole sisällytetty taulukkoon 3.1. Taulukossa 3.2 kerrotaan tutkimuksissa käytetyistä sovelluksista ja järjestelmistä ja eritellään niiden yleisimpiä käyttötarkoituksia.

Taulukko 3.1: Tutkimuksissa esitellyt sovellukset

Tutkimuksen kohde	Mobiilisovellus	Muu sovellus	Osa tai järjestelmä	Sovellustutkimus
Mobiilisovellusehdotelma [2]	x			
Datankeräyssovellus [6]	x			x
Uusi sovellus [6]		x		x
Datankeräyssovellus [3]		x		x
Asennonkorjausjärjestelmä [8]			x	
Käyttöliittymä [4]			x	
Mobiilisovellusehdotelma [4]	x			

Taulukosta 3.1 nähdään, että parissa tutkimuksessa esiteltiin useampi kuin yksi järjestelmä tai sovellus. Lisäksi huomataan, ettei läheskään kaikissa liikuntasovelluksia hyödyntävissä tutkimuksissa tarvitse kehittää uusia sovelluksia.

Taulukosta 3.2 nähdään, että kiihtyvyyssmittaus on yleisimpiä tapoja hyödyntää sovelluksia tai järjestelmiä tutkimuksissa. Lähes kaikissa tutkimuksissa hyödynnettiin kiihtyvyyssanturia tavalla tai toisella. Myös liikkeen analysointiin ja tunnistamiseen hyödynnetään useita sovelluksia ja järjestelmiä eri tutkimuksissa. Muita käyttötarkoituksia ei ole joissakin tutkimuksissa määritetty. Osassa on mainittu esimerkiksi pulssimittaus [2], [4]. Joitakin käyttötarkoituksia ei ole ollut tutkimuksen kannalta oleellista määrittellä tarkasti. Osassa tutkimuksista sovellusten ja järjestelmien käyttötarkoitukset on vain mainittu, mutta osassa on esitelty ne perinpohjaisesti [2], [8], [4].

Taulukko 3.2: Tutkimuksissa käytetyt sovellukset ja järjestelmät ja niiden käyttötarkoitukset

Tutkimuksen kohde	Liikkeen analysointi	Liikkeen-tunnistus	Kiihtyvyyssmittaus	Muut
Mobiilisovellusehdotelma [2]	x			x
Datankeräysjärjestelmä [2]			x	x
Datankeräyssovellus [6]			x	x
Uusi sovellus [6]	x	x	x	
Datankeräyssovellus [3]			x	
Asennonkorjausjärjestelmä [8]	x	x		
Käyttöliittymä [4]		x		
Datankeräysjärjestelmä [4]			x	x
Datankeräysjärjestelmä [5]			x	
Datankeräysjärjestelmä [9]				x

## 3.2 Sovelluksissa käytetyt algoritmit

Tämä tutkielma käsittelee sekä tutkimuksissa hyödynnettyjä algoritmeja että varsinaisten sovelluksien hyödyntämiä algoritmeja. Tämä luku käsittelee sovelluksissa käytettyjä algoritmeja. Joissakin tutkimuksissa, varsinkin liikuntasovellustutkimuksissa, on esitelty esimerkiksi sovelluksien hyödyntämiä liikkeiden luokittelujärjestelmiä, jotka perustuvat johonkin algoritmiin [1], [3], [6], [7].

Seuraavissa taulukoissa 3.3 ja 3.4 esitellään tutkimuksissa yleisimmin esiintyvät järjestelmätyypit sekä algoritmityyppit, joista jälkimmäisen kohdalla määritellään käyttökohteet tarkemmin taulukon jälkeen. Huomionarvoista on, että syväoppimisalgoritmeja ei tässä tutkielmassa sisällytetä muihin koneoppimisalgoritmeihin.

Taulukko 3.3: Aineiston järjestelmätyypit käyttökohteittain

Tutkimuksen kohde	Liikkeiden luokittelu	Liikkeiden analysointi	Tasapaino tai asento	Kustomointi/personointi
Uusi sovellus [6]	x	x		x
Monia sovelluksia [1]	x	x	x	x
Datankeräysjärjestelmä [7]	x	x		
Datankeräyssovellus [3]	x	x		
Datankeräysjärjestelmä [5]		x		
Datankeräysjärjestelmä [4]		x		
Mobiilisovellusehdotelma [2]			x	
Datankeräysjärjestelmä [2]			x	
Asennonkorjausjärjestelmä [8]			x	
Käyttöliittymä [4]				x
Käyttöliittymä [9]				x

Taulukosta 3.3 nähdään, että monessa tutkimuksessa hyödynnettiin tai kehitettiin järjestelmiä liikkeiden luokitteluun ja analysointiin. Muutamissa tutkimuksissa hyödynnettiin tai kehitettiin tasapainon tai asennon havaitsemis- tai korjausjärjestelmiä. Joissakin tutkimuksissa esiteltiin myös kustomointi- ja personointijärjestelmiä sovellusten osana. Näissä järjestelmissä hyödynnetään eri tyyppisiä algoritmeja. Taulukossa 3.4 esitellään näistä yleisimmät tutkimuksittain.

Taulukko 3.4: Aineiston algoritmityypit tutkimuksittain

Tutkimuksen kohde	Koneoppimis-algoritmi	Syväoppimis-algoritmi	Järjestely-algoritmi	Statistiset algoritmit	Muut algoritmit
Tutkimus [1]	x	x	x	x	x
Tutkimus [8]	x	x		x	x
Tutkimus [3]	x	x			
Tutkimus [9]	x	x			x
Tutkimus [2]	x		x		x
Tutkimus [5]	x				
Tutkimus [7]				x	x
Tutkimus [6]				x	
Tutkimus [4]				x	x

Taulukossa 3.4 mainittuja algoritmityyppejä on kutakin käytetty monessa tutkimuksessa ja sovelluksessa. Esimerkiksi koneoppimista eri muodoissaan hyödynnetään monessa tutkimuksessa eri tarkoituksiin. Erityisesti konvoluutioneuroverkot (engl. Convolutional Neural Network, CNN) ovat esillä paljon. Osaa käytetään järjestelyalgoritmina ja osaa muun muassa liikeratojen analysointiin sovelluksessa [2]. Osa taulukossa mainituista järjestelyalgoritmeista on siis CNN:iä. CNN:t ovat suuressa roolissa ja siksi ne eriytetään tässä tutkielmassa muista syväoppimisalgoritmeista sisällyttäen ne kuitenkin koneoppimisalgoritmeihin.

Muun koneoppimisen lisäksi oli paljon syväoppimis- ja statistisia algoritmeja, joilla muun muassa rakennetaan malleja [8] ja lajitellaan fyysisiä aktiviteetteja [7]. Niitä käytetään sovellusten sisäisten järjestelmien osina. Muista algoritmeista mainitaan ainakin kustomointi- [6] ja aktiviteetin suosittelujärjestelmät [9]. Näitäkin hyödynnetään sovelluksissa.

Taulukoista 3.1 ja 3.2 voi nähdä, minkä tyyppisiä sovelluksia ja järjestelmiä on kehitetty tai esitelty tutkimuksissa ja mihin niitä on käytetty. Lisäksi on selvitetty, mihin aikaisemmin kehitettyjä sovelluksia tai järjestelmiä on käytetty.

Taulukoista 3.3 ja 3.4 voidaan taas arvioida sovellusten käyttämiä algoritmeja ja järjestelmiä. Tutkimuksissa käytetyt järjestelmät käyttävät paljon koneoppimisalgoritmeja, statistisia algoritmeja sekä muita algoritmeja. Sovelluksissa tarvitaan monenlaisia järjestelmiä riippuen niiden käyttötarkoituksesta ja laajuudesta. On siis hyvä, että sovelluksia ja niiden käyttämiä järjestelmiä sekä edellämainittujen käyttämiä algoritmeja on tutkittu.

# 4 Algoritmit

Tässä luvussa keskitytään varsinaiseen tutkimuksissa käytettyjen algoritmien tutkimiseen. Pyritään siis vastaamaan toiseen tutkimuskysymykseen, eli kertomaan, mitä algoritmeja tutkimuksessa on käytetty ja mihin tarkoitukseen. Aineistossa on sekä hyödynnetty algoritmeja varsinaiseen tutkimustarkoitukseen [1]–[5] että analysoitu yksittäisten sovellusten algoritmeja [6]–[9], kuten aiemmin esiteltiin. Luvussa 4.1 eritellään algoritmeja, joita tutkimuksissa on hyödynnetty ja esitellään niiden käyttötarkoitukset pääpiirteittäin. Luvussa 4.2 vertaillaan tutkimuksien algoritmeja ja niiden käyttötarkoituksia. Luvussa 4.3 pohditaan hieman algoritmien hyödyntämistä tutkimustarkoituksiin yleisesti.

## 4.1 Tutkimuksissa käytetyt algoritmit

Lähdeartikkeleissa mainitaan spesifejä algoritmeja [1]–[6], [8] Useassa tapauksessa mainitaan myös, että on käytetty jotain tietyn tyyppistä algoritmia sen sijaan, että kerrottaisiin, mikä algoritmi on kyseessä tai esiteltäisiin sitä sen tarkemmin [5]–[7], [9]. Kirjallisuudessa mainitaan ainakin koneoppimisalgoritmit (kuudessa tutkimuksessa [1]–[3], [5], [8], [9]), syväoppimisalgoritmit erikseen (neljässä tutkimuksessa [1], [3], [8], [9]), erilaiset statistiset algoritmit (viidessä tutkimuksessa [1], [4], [6]–[8]), järjestelyalgoritmit [1], [2], kustomointialgoritmit [6], [9] ja kiihtyvyyssalgoritmit [4]. Tutkimuksessa on siis käytetty monenlaisia algoritmeja eri tarkoituksiin.

Tekoälyyn perustuvia algoritmeja luodaan tai käytetään kuudessa tutkimukses-

sa [1]–[3], [5], [8], [9]. Muissa hyödynnetään muun muassa statistisia algoritmeja. Kuten mainittiin luvussa 3.2, taulukossa 3.4 mainittuja algoritmityyppejä käytetään monissa tutkimuksissa. Erityisen paljon käytetään koneoppimisalgoritmeja ja erityisesti CNN:iä. Itse CNN:n konsepti on kehitetty jo vuosikymmeniä sitten, mutta viime aikoina CNN:t ovat saaneet suurta huomiota, sillä niitä on mahdollista hyödyntää monenlaisiin tekoälyjärjestelmien tarkoituksiin.

Tekoäly on kätevä ja tehokas keino tutkimustulosten saamiseksi ja siihen on keskitytty hiljattain tutkimuksessa melkein millä tahansa tieteenalalla. Tästä syystä tekoälyyn perustuvia algoritmeja näkyy niin monessa tutkimuksessa. Erityisesti koneoppiminen esiintyy monessa tutkimuksessa. Näistä tutkimuksissa käytetyistä koneoppimisalgoritmeista mainittakoon siis ainakin seuraavat:

**Liikeratojen analysointiin** käytetään tukivektorikonetta (engl. Support Vector Machine, SVM), painotettua k:n lähimmän naapurin menetelmää (engl. k-Nearest Neighbours, kNN) ja bootstrap-aggregaatiota, joita vertaillaan samassa tutkimuksessa. Näistä parhaaksi liikeratojen analysointiin osoittautuu painotettu kNN [2].

Koneoppimisalgoritmeista rigde-luokittelua, RF, eli random forest -luokittelua ja gradientin tehostamisalgoritmia verrataan syväoppimisalgoritmeihin **asennonkorjauksessa**. Tutkimuksessa muut koneoppimismallit toimivat paremmin kuin syväoppimismallit [8].

**Liikkeiden luokitteluun** käytetään CNN:ää ja LSTM:ää yhdessä sekä erikseen. Näitä verrataan tutkimuksessa joihinkin muihin koneoppimisalgoritmeihin, kuten SVM:än. Näistä CNN saavuttaa parhaan luokittelutarkkuuden [3].

CNN:iä käytetään myös **tiedonkeruuseen** ja itse **tarkkuuden arviointiin** tasapainolaudan liikkeiden ja harjoitteiden tunnistamisen osalta [5]. Myös tiedon lajitteluun käytetään CNN:iä [9].

Aineistoon kuuluvassa kirjallisuuskatsauksessa [1] käydään läpi monenlaisia ko-

neoppimisalgoritmeja, joista mainittakoon CNN ja sen sovellukset, RF ja SVM. Kyseisessä kirjallisuuskatsauksessa käytetään myös takaisinkytkettyjä neuroverkkoja (engl. Recurrent Neural Network, RNN), joissa voidaan hyödyntää muistia **syötteiden käsittelemiseen**. Kyseisen kirjallisuuskatsauksen lähdeaineisto on laaja ja se keskittyy algoritmien käyttöön **HMQA:han**. Tähän koneoppimisalgoritmit soveltuvat hyvin.

Muun koneoppimisen lisäksi käytetään myös syväoppimisalgoritmeja (poislukien CNN). Niitä hyödynnetään seuraavasti: CNN:n esiprosessoiman datan käsittelyyn käytetään monia syväoppimisalgoritmeja [3]. Kuten yllä mainittu, CNN päihittää muut syväoppimisalgoritmit tällaisen datan käsittelyssä.

Aikaisemmassa kirjallisuuskatsauksessa erotellaan koneoppimis- ja syväoppimisalgoritmit toisistaan. Siinä käytetään ainakin kymmentä eri syväoppimisalgoritmia tai niiden yhdistelmää HMQA:ssa [1]. Asentojen havaitsemiseen käytetään syväoppimismalleja, kuten yllä mainittu. Malleja kehitetään siis myös hyödyntäen syväoppimista [8]. Liikuntaharjoitteiden suositusmekanismin luomiseen hyödynnetään syväoppimisalgoritmeja [9].

Syväoppimisen sekä muun koneoppimisen lisäksi käytetään runsaasti statistisia algoritmeja. Niitä hyödynnetään seuraavasti: Aineistossa kehitetään uusi algoritmi, matemaattinen malli, jolla saadaan selville nivelten väliset kulmat liikkeitä suorittaessa [8]. Aineistoon kuuluvassa kirjallisuuskatsauksessa mainitaan käytettävän Markovin päätösprosessia, joka on matemaattinen kehikko päätöksenteon mallintamiseen [1]. Näiden lisäksi käytetään painotettua autokorrelaatiota harjoitteiden analysointiin [6].

Statistisia algoritmeja käytetään myös fyysisten aktiviteettien lajitteluun. Näistä mainitaan askelten ja liikkumisen havaitsemisalgoritmi [7]. Monia statistisia algoritmeja käytetään pelkän pulssimittauksen sijaan harjoitteen intensiteetin arvioinnissa. Näistä mainitaan erilaiset kiihdytysalgoritmit ja Pearsonin korrelaatiokerroin, eli

PKK [4]. Aineistossa käytetään siis monia eri tyyppisiä algoritmeja. Niitä vertaillaan ja niitä valjastetaan erilaisiin tutkimustarkoituksiin, kuten tiedon keräämiseen ja erilaisten asioiden mittaamiseen ja analysointiin.

## 4.2 Algoritmien vertailua

Tässä luvussa vertaillaan joitakin aineistossa esitettyjä algoritmeja. Joissakin lähdeartikkeleissa on jo valmiiksi vertailtu joko saman- tai erityyppisiä algoritmeja toisiinsa [1]–[4], [8]. Seuraavissa taulukoissa 4.1 ja 4.2 esitellään selkeämmin, mitä algoritmeja eri tutkimuksissa käytetään ja mihin tarkoitukseen eräitä niistä vertaillaan. Taulukosta 4.1 nähdään yleisimmät tutkimuksissa käytettävät algoritmit tutkimuksittain.

Taulukko 4.1: Algoritmit tutkimuksittain

	CNN	SVM	RNN	RF	MLP	PKK
Tutkimus [1]	x	x	x	x		x
Tutkimus [3]	x	x	x		x	
Tutkimus [5]	x					
Tutkimus [9]	x					
Tutkimus [2]		x				
Tutkimus [8]				x	x	
Tutkimus [4]						x

Kaikissa lähdeartikkeleissa ei esitellä tiettyä algoritmia [6], [7], vaan mainitaan, että hyödynnetään joitakin algoritmeja tai mainitaan pelkästään käytetyn algoritmin tyyppi. Kuten taulukosta huomataan, CNN:ien käyttö on yleistä. Aiemmin tässä tutkielmassa on mainittu tekoälyalgoritmien verrattain runsas käyttö hiljattaisissa tutkimuksissa. CNN on yleisimpiä ja monipuolisimpia tekoälyalgoritmeja, joten sen yleisyys on ymmärrettävää. Myös SVM:t ovat etenkin tutkimuskäyttöön varsin käyttökelpoisia, sillä ne pystyvät sekä järjestelyyn, että regressioanalyysiin, eli yhden muuttujan riippuvuuden muista muuttujista, tarkasteluun.

Muut taulukon 4.1 algoritmit on mainittu parissa tutkimuksessa kukin. RF-

algoritmit ovat käyttökelpoisempia kuin monet yksinkertaisemmat algoritmit, koska niissä ei ole käytetty vain yhtä päätöspuuta, MLP-algoritmit ja PKK-algoritmit ovat nekin käyttökelpoisia luonteensa takia erityisesti vertailussa, sillä MLP-algoritmit ennustavat tuloksia ja PKK-algoritmit mittaavat korrelaatiota. Muita algoritmeja aineistossa ovat ainakin eri signaalinprosessointitekniikat, kuten painotettu auto-korrelaatio [6] ja määrittelemätön rytmianalysointialgoritmi [7]. Myös muita määrittelemättömiä algoritmeja on tutkimuksissa runsaasti, sillä osa niistä ei keskity suoranaisesti algoritmien tutkimiseen, mutta algoritmeja on silti käytetty runsaasti.

Tutkimuksissa on siis jonkin verran vertailua, mutta kaikkia algoritmeja ja algoritmityyppejä ei vertailla. Seuraavassa taulukossa 4.2 kerrotaan, mihin tarkoituksiin algoritmeja vertaillaan.

Taulukko 4.2: Vertaillut algoritmityypit tarkoituksittain

	Koneoppimis- algoritmit [1], [2], [8]	Syväoppimis- algoritmit [1], [3]	Statistiset algoritmit [1], [4]
HMQA	x	x	x
Liikeratojen analysointi	x	x	
Liikkeiden luokittelu	x	x	
Datan arvioin- ti	x		
Intensiteetin parantaminen			x

Taulukosta 4.2 nähdään, ettei kovin monia algoritmityyppejä vertailla aineistossa. Eri tyyppisiä algoritmeja vertaillaan kuitenkin toisiinsa, mistä saa hieman laajemman käsityksen algoritmien suorituskyvystä. Koneoppiminen näkyy tässäkin kohdassa painottuneena, sillä se on hyvin monikäyttöinen algoritmityyppi. Syväoppiminen on sekin taulukossa mainittuihin tarkoituksiin soveltuva. Näitä vertaillaan monessa tutkimuksessa kumpaakin moneen tarkoitukseen. HMQA:han, liikeratojen analysointiin ja liikkeiden luokitteluun sopivat monenlaiset kone- ja syväoppimisalgoritmit ja sen takia niitä onkin vertailtu tutkimuksissa. Niistä on myös hyvä saada

tietoa tulevaa käyttöä varten, koska niitä voi hyödyntää niin moneen tarkoitukseen. Jotkin tutkimukset [1], [2] ovatkin keskittyneet tähän vertailuun.

Statistisia algoritmeja vertaillaan parissa tutkimuksessa HMQA:han ja harjoitteiden intensiteetin parantamiseen. Erilaiset statistiset algoritmit ovat hieman yksipuolisempia kuin monet koneoppimisalgoritmit, joten niitä ei ehkä ole mielekästä vertailla niin runsaasti. Aineistossa myös vertaillaan näitä keskenään ja yleensä koneoppimisalgoritmi on tehokkaampi tai tarkempi.

Seuraavaksi muutama poiminto aineistossa tehtävästä vertailuista: **Liikeratojen analysoinnissa** tehokkaimmaksi algoritmiksi osoittautuu painotettu kNN [2], kun sitä verrataan muihin koneoppimisalgoritmeihin. Koneoppimisalgoritmit toimivat myös **liikkeen arvioimisessa** ja niiden tulisi sopeutua sovellusten tarpeeseen helposti ja toimia erilaisten liikkeidenhavaitsemisjärjestelmien kanssa [1]. **Liikkeiden luokittelussa** parhaiten pärjäävät koneoppimisalgoritmit, kun niitä verrataan syväoppimisalgoritmeihin [8]. **Analysoitaessa luokittelutarkkuutta** sekä koneettä syväoppimismalleilla parhaiten suoriutuu yksiulotteinen CNN [3]. **Harjoitteiden intensiteetin parantamisessa** parhaiten verratuista statistisista algoritmeista pärjäävät keskimääräinen amplitudipoikkeama-algoritmi (engl. Mean Amplitude Deviation, MAD), joka mittaa, kuinka paljon tietosarjan pisteet poikkeavat keskimääräisestä, ja integraalikiihdytysalgoritmi, joka seuraa huippuarvoa ja harjoitteen intensiteetin kertymää. Näitä arvioidaan käyttäen PKK:ta [4].

## 4.3 Algoritmit tutkimuksessa

Tässä luvussa tuodaan pääpointit esille siitä, miten algoritmeja hyödynnetään tutkimuksissa ja miten niitä voisi hyödyntää tulevassa tutkimuksessa. Kuten aiemmista luvuista on tullut selville, CNN:t ja muut koneoppimisalgoritmit ovat olleet yleisiä tutkimuksissa. Selvää on, että kun niitä vertaillaan muun tyyppisiin algoritmeihin, niiden suorituskyky on parempi ja ne ovat monipuolisempia. Myös muita algoritmeja

voidaan tutkimuksessa kuitenkin hyödyntää. Kenties on sellaisia alueita, joissa jokin muu algoritmi, kuten jonkinlainen statistinen algoritmi, pärjäisi koneoppimisalgoritmia paremmin. Aineistossa ei verrata koneoppimisalgoritmeja sellaisiin tarkoituksiin, joissa statistiset algoritmit ovat oletettavasti parempia, kuten harjoitteiden intensiteetin parantamiseen. Voidaan olettaa, että statistiset algoritmit ovat parempia tai muuten käyttökelpoisempia tähän, sillä koneoppimista ei juuri hyödynnetä harjoitteen intensiteetin parantamiseen tutkimustiedossa.

Samankaltaisissa tutkimuksissa, joita on käsitelty tässä tutkielmassa aineistona, tullaan todennäköisesti käyttämään samankaltaisia algoritmeja, joita on aineiston tutkimuksissa käytetty. Koneoppimisen rooli tulee todennäköisesti tulevaisuudessa vielä kasvamaan, sillä tekoäly kehittyy jatkuvasti ja algoritmit ovat niin monipuolisia. Myös sovellukset tulevat kehittymään tulevaisuudessa ja sovelluksia voisi hyödyntää tutkimuksessa enemmänkin. Etenkin liikuntasovelluksien hyödyntämiselle on tämän tutkielman aineiston kaltaisissa tutkimuksissa mahdollisuuksia esimerkiksi datan keräämisen muodossa.

## 5 Yhteenveto

Tutkielmassa käytiin läpi algoritmeja ja niiden käyttöä liikuntasovelluksia hyödyntävässä tutkimuksessa. Ensin selvitettiin hieman taustaa tutkielman aiheelle ja sitten käytiin läpi itse sovellusten käyttöä tutkimuksissa. Algoritmeista tutkittiin sekä eri sovelluksissa ja järjestelmissä käytettyjä algoritmeja että tutkimuksessa käytettyjä algoritmeja.

Tutkielma pyrki vastaamaan tutkimuskysymykseen 1 luvussa 3, jossa kerrotaan tutkimuksissa käytetyistä sovelluksista käyttäen apuna taulukoita. Kyseisessä luvussa käydään läpi myös sovellusten käyttötarkoituksia tutkimuksissa. Selitetään myös sovelluksista ja niissä käytettävistä järjestelmistä sekä edellä mainittujen hyödyntämisestä tutkimuksessa. Tutkimuskysymykseen 2 taas pyrittiin vastaamaan luvussa 4. Toki algoritmit ovat esillä muissakin luvuissa, mutta luku 4 keskittyy niihin mainiten ensin eri algoritmityyppisiä sekä hieman vertaillen niitä ja siirtyen sitten enemmän vertailuun. Monta aineistossa esiintyvää algoritmityyppiä onkin selitetty tarkoituksineen tekstissä ja apuna on käytetty taulukoita, joista nähdään mm. käyttötarkoituksia. Luvussa 4 kerrottiin myös, mitkä algoritmit ovat käyttökelpoisimpia ja mihin tarkoituksiin.

Luvussa 3 selvisi, että sovelluksia ja niiden järjestelmiä kehitetään ja käytetään moneen tarkoitukseen tutkimuksissa. Tutkimuksissa kehitetään esim. mobiilisovelluksia datan keruuta varten, ja niitä hyödynnetään tutkimuksessa. Nämä järjestelmät hyödyntävät algoritmeja, kuten liikkeiden havaitsemisalgoritmeja ja järjestely-

algoritmeja. Luvussa 4 taas selvisi, että koneoppimisalgoritmit ovat tutkimuksissa suuressa roolissa monipuolisuutensa vuoksi. Niitä käytetään mm. liikeratojen analysointiin ja datan lajitteluun. Myös statistisia algoritmeja käytetään runsaasti. Niiden avulla esim. arvioidaan ja pyritään parantamaan harjoitteiden intensiteettiä.

Aineistossa on hyödynnetty huomattavan vähän liikuntasovelluksia apuna tutkimuksissa. Niiden käyttöä ei ole tutkittu niin laajalta, että kovin monta olisi käytössä. Joissakin artikkeleissa mainitaan sovellusten käyttö taustoituksessa, mutta niiden käytöstä varsinaiseen tutkimustarkoitukseen tarvitaan lisää tietoa. Liikuntasovellukset tarvitsevat toimiakseen myös algoritmeja. Etenkin erilaisia koneoppimisalgoritmeja ja statistisia algoritmeja tulisi tutkia lisää, sillä ne vaikuttavat tämän tutkielman aineistossa käyttökelpoisilta sekä tutkimuskäytön että käytännön soveltamisen kannalta.

# Lähdeluettelo

- [1] F. Frangoudes, M. Matsangidou, E. C. Schiza, K. Neokleous ja C. S. Pattichis, ”Assessing Human Motion During Exercise Using Machine Learning: A Literature Review”, *IEEE Access*, vol. 10, s. 86 874–86 903, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3198935.
- [2] A. B. Asghar, M. Majeed, A. Taseer et al., ”Comparative Performance Analysis of Machine Learning Algorithms for Arm and Shoulder Exercises Using Wrist-Worn Band”, *IEEE Access*, vol. 11, s. 111 598–111 607, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3323592.
- [3] P. Jeong, M. Choe, N. Kim, J. Park ja J. Chung, ”Physical Workout Classification Using Wrist Accelerometer Data by Deep Convolutional Neural Networks”, *IEEE Access*, vol. 7, s. 182 406–182 414, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2959398.
- [4] W.-W. Yang, Y.-C. Lin, H.-F. C. Chien, T.-Y. Shiang, M. McCullen ja V. Chen, ”Algorithms to Improve Exercise Intensity Estimation by Using Wrist- and Hip-Worn Accelerometers and Treadmill Exercise”, *IEEE Access*, vol. 12, s. 121 441–121 448, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3439773.
- [5] M. A. Scrugli, B. Blažica, L. Raffo ja P. Meloni, ”A Microcontroller-Based Platform for Cognitive Tracking of Sensorimotor Training”, *IEEE Access*, vol. 11, s. 70 778–70 794, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3294097.

- [6] J. Lim, Y. Oh ja Y. Choi, "uLift: Adaptive Workout Tracker Using a Single Wrist-Worn Accelerometer", *IEEE Access*, vol. 12, s. 21 710–21 722, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3363437.
- [7] G. Prigent, E. Barthelet, K. Aminian ja A. Paraschiv-Ionescu, "Walking and running cadence estimation using a single trunk-fixed accelerometer for daily physical activities assessment", teoksessa *2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, 2022, s. 3645–3648. DOI: 10.1109/EMBC48229.2022.9871713.
- [8] Y.-M. Ko, A. Nasridinov ja S.-H. Park, "Real-Time AI Posture Correction for Powerlifting Exercises Using YOLOv5 and MediaPipe", *IEEE Access*, vol. 12, s. 195 830–195 853, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3516723.
- [9] L. Luan, W. Xiao, K. Hwang, M. S. Hossain, G. Muhammad ja A. Ghoneim, "MEMO Box: Health Assistant for Depression With Medicine Carrier and Exercise Adjustment Driven by Edge Computing", *IEEE Access*, vol. 8, s. 195 568–195 577, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3031725.
- [10] J.-W. Kim, J.-W. Shin ja S.-H. Choi, "Jump Rope Exercise Assistance Program", *IEEE Access*, vol. 12, s. 169 149–169 162, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3496510.
- [11] J.-H. Kim, J. Lee ja Y. Kim, "Motion Generation and Analyzing the User's Arm Muscles via Leap Motion and Its Data-Driven Representations", *IEEE Access*, vol. 12, s. 47 787–47 796, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3383318.
- [12] F. Monteiro-Guerra, O. Rivera-Romero, L. Fernandez-Luque ja B. Caulfield, "Personalization in Real-Time Physical Activity Coaching Using Mobile Applications: A Scoping Review", *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 24, nro 6, s. 1738–1751, 2020. DOI: 10.1109/JBHI.2019.2947243.

- 
- [13] A. Hussain, M. Adeel Zahid, U. Ahmed, S. Nazeer, K. Zafar ja A. Rauf Baig, "Time-Series Data to Refined Insights: A Feature Engineering-Driven Approach to Gym Exercise Recognition", *IEEE Access*, vol. 12, s. 100 343–100 354, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3428309.
- [14] D. Wang ja Y. Zheng, "Digital and Intelligent Image Processing by Artificial Intelligence and Internet of Things Technology in Sports Fitness Detection", *IEEE Access*, vol. 10, s. 115 996–116 003, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3218912.
- [15] J. D. Amor ja C. J. James, "Validation of a Commercial Android Smartwatch as an Activity Monitoring Platform", *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 22, nro 4, s. 968–978, 2018. DOI: 10.1109/JBHI.2017.2732678.
- [16] H. Ma ja X. Pang, "Research and Analysis of Sport Medical Data Processing Algorithms Based on Deep Learning and Internet of Things", *IEEE Access*, vol. 7, s. 118 839–118 849, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2936945.
- [17] S.-H. Cheng, M. A. Sarwar, Y.-A. Daraghmi, T.-U. İk ja Y.-L. Li, "Periodic Physical Activity Information Segmentation, Counting and Recognition From Video", *IEEE Access*, vol. 11, s. 23 019–23 031, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3247583.