

Urheilusuoritusten mittaaminen ja optimointi tekoälyllä

LuK-tutkielma
TURUN YLIOPISTO
Tietotekniikan laitos
Tietojenkäsittelytiede
Toukokuu 2024
Eero Kuusisto

TURUN YLIOPISTO
Tietotekniikan laitos

EERO KUUSISTO: Urheilusuoritusten mittaaminen ja optimointi tekoälyllä

LuK-tutkielma, 21 s.
Tietojenkäsittelytiede
Toukokuu 2024

Kilpaurheilijat kehittävät itseään tullakseen paremmiksi kuin toiset. Urheilijat kehittyvät harjoittelemalla, oppimalla sekä valmennuksen avulla. Urheilijoiden kehitys on edennyt siihen, että tulosten parantamiseen käytetään tekoälyä. Urheilijat tuottavat suorituksissaan suuren määrän dataa kaikessa tekemisissään. Jokainen urheilijan suoritus askeleesta mailalla lyömiseen voidaan muuttaa dataksi. Tämän lisäksi urheilijan kehon elintoiminnot, kuten syke ja verenpaine on muunnettavissa dataksi. Tätä urheiludataa pystytään keräämään eri teknologioilla, kuten puettavilla ja dataa mittaavilla sensoreilla. Tekoälyllä pystytään analysoimaan tätä urheilijoista kerättyä dataa ja hyödyntämään sitä harjoittelun, oppimisen ja valmentamisen parantamiseen, jolloin urheilijoiden tulokset paranevat. Tekoälyn avulla pystytään myös vähentämään urheilijoiden loukkaantumisriskiä analysoiden kerättyä dataa ja antaen tämän perusteella ohjeita oikeanlaiseen fyysisen rasituksen määrään. Tässä tutkielmassa tutkitaan urheiludatan keräämistä ja kerätyn datan hyödyntämistä urheilusuoritusten parantamiseen.

Asiasanat: tekoäly, urheilu, data, optimointi

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tekoäly urheilussa	3
2.1	Urheilu ja teknologia	3
2.2	Tekoäly	5
2.3	Tekoälyn hyödyntäminen urheilussa	6
3	Datan kerääminen	8
3.1	Tekoäly ja data	8
3.2	Urheiludatan kerääminen	10
3.3	Datan keräyksen soveltaminen	13
4	Urheilijoiden tulosten parantaminen tekoälyllä	15
4.1	Datan analysointi ja tulosten parantaminen	15
4.2	Loukkaantumisriskin vähentäminen	17
5	Yhteenveto	20
	Lähdeluettelo	22

Kuvat

3.1	Puettavan teknologian keräämän datan reitti palvelimelle [20].	12
-----	--	----

1 Johdanto

Kilpaurheilussa on usein kyse voitosta. Urheilijat tähtäävät voittoon ja jotta tämä voitto saavutettaisiin, pitää suoriutua paremmin kuin muut. Tämä vaatii harjoittelua ja omien suoritusten parantamista. Tällöin voiton lisäksi isona päämääränä on itsensä kehittäminen. Urheilijoiden apuna kehityksessä ovat valmentajat. Valmennus on ollut mukana kilpaurheilussa yhtä kauan kuin kilpaurheilun käsite on ollut olemassa. Valmennuksen avuksi on jatkuvasti kehitetty eri menetelmiä, joilla urheilijoita voisi entisestään kehittää paremmiksi. Teknologian kehityksen myötä urheilijat ovat parantaneet omia suorituksiaan. Yksi näistä teknologian suuntauksista on tekoäly. Tekoäly ja sen hyödyntäminen on tuore menetelmä urheilun parissa yleisellä tasolla, vaikkakin sen alempia muotoja on nähty aiemmin urheilussa. Tietotekniikan avulla on pystytty seuraamaan urheilijoita syvällisemmin vuosikymmeniä [1] ja keräämään dataa analysointia varten. Kerätyn datan analysointi tekoälyn kanssa on tuonut paljon lisää mahdollisuuksia kehittää urheilijoita entisestään. Urheilijoista kerätyn tiedon avulla tekoäly pystyy dataa analysoimalla mahdollistamaan urheilijoiden suoritusten optimoinnin niin, että heidän tuloksensa paranevat. Tekoäly pystyy myös arvioimaan pelaajien kuntotasoja datan avulla, määräten lepoa loukkaantumisten välttämiseksi.[2]

Kandidaatintutkielman tarkoitus on kirjallisuuskatsauksen muodossa tutkia tekoälyn hyödyntämistä urheilutulosten analysoinnissa. Tutkielma käsittelee urheiludatan keräämistä urheilijoilta erityisesti puettavan teknologian kannalta sekä kerä-

tyn datan käsittelyä tekoälyä hyödyntäen. Tutkimuskysymykset tutkielmassa ovat:

TK1 Miten tekoälyä hyödynnetään urheilussa?

TK2 Miten urheiludataa kerätään?

TK3 Miten urheilusuorituksia pystytään optimoimaan tekoälyn avulla?

Tutkimuksessa toteutetun tiedonhaun lähteinä on käytetty tieteellisiä artikkeleita. Tiedonhaku on suoritettu käyttäen päähakusanoina *artificial intelligence* ja *AI* yhdistettynä OR-operaattorilla, tuoden myös niitä artikkeleita, joissa on käytetty vain toista muotoa. Nämä sanat oli yhdistetty AND-operaattorilla sanoihin *sports*, *athletics* ja *data*. Haut on suoritettu pääsääntöisesti Elsevier-kustantamon Scopus-artikkelitietokannasta pääosin vuosilta 2018–2024, sillä tekoälyä on vasta tällöin alettu hyödyntämään urheiludatan analysoinnissa laajemmin. Tekoälyn ja urheilun hakusanoilla ja esitetyillä hakuvuosilla tehty tiedonhaku tuottaa 2200 tieteellistä artikkelia, joita analysoimalla ja karsimalla on saatu kerättyä tutkielmaan lähteitä tekoälystä urheilussa.

Tutkielman luvussa 2 käsitellään urheilun ja teknologian yhteistä historiaa sekä kerrotaan tekoälystä yleisellä tasolla. Tämän lisäksi tutkitaan, miten tekoälyn käyttö näkyy urheilussa. Luvussa 3 tutkitaan, miten dataa kerätään urheilijoista ja mitä kerätty data sisältää. Luvussa myös tutkitaan, miten tekoäly käsittelee dataa ja miten kerättyä urheiludataa sovelletaan. Luvussa 4 selvitetään, miten urheiludataa analysoidaan tekoälyn avulla ja miten analysoidun datan avulla pystytään parantamaan urheilutuloksia sekä vähentämään urheilijoiden loukkaantumisriskiä. Luvussa 5 vastataan tutkimuskysymyksiin ja käsitellään tekoälyn roolia tulevaisuudessa urheilutulosten optimoinnin kannalta.

2 Tekoöly urheilussa

Kilpaurheilussa on aina pyritty parantamaan suorituksia eri keinoilla. Historiaa tarkasteltaessa voidaankin nähdä, kuinka erilaisilla menetelmillä on pyritty kohentamaan tuloksia eri lajeissa. Esimerkkinä on Dick Fosburyn korkeushypyn pysyvästi muuttanut hyppytapa, jossa hän itse kehittämällään tekniikallaan hyppäsi korkeutta selkä edellä. Ennen Fosburyn tekniikkaa korkeushypyssä suosittiin kierähdystyyliä. Fosbury pystyi hyppyjen toistamisen avulla selvittämään tehokkaimman tavan ylittää rima. Fosbury voittikin olympiakultaa Méxicon olympialaisissa 1968, ja tämän seurauksena nykyään korkeushypyssä huippu-urheilijat eivät käytä muuta hyppytekniikkaa kuin Fosburyn floppauksena tunnettua tapaa.[3]

Teknologian kasvettua suuremmaksi osaksi urheilua on myös sen myötä päästy kehittämään urheilijoiden tapaa tehdä tietyt suoritukset tehokkaammin. Teknologian saralla tekoöly on kasvanut isoksi tekijäksi suoritusten analysoinnissa ja näiden parantamisessa. Tässä luvussa tarkastellaan tekoölyä ja sen vaikutuksia urheiluun yleisellä tasolla.

2.1 Urheilu ja teknologia

Urheilu ja teknologia ovat kulkeneet rinnakkain viimeisien vuosikymmenien aikana [4]. Melkein kaikki urheilun osa-alueet ovat tekemisissä teknologian kanssa päivittäin. Urheilu on muuttunut vuosikymmenten aikana riippuvaiseksi teknologiasta ja sen tuomista mahdollisuuksista. Fosbury loi omilla suoritustensa arvioinneillaan täy-

dellisen hyppytekniikan olympialaisiin [3], mutta teknologia ja tarkemmin tietokoneet olivat osa olympialaisia jo ennen tätä. Olympiaurheilu nähtiin ensimmäistä kertaa suorana TV-lähetyksenä Tokion olympialaisissa vuonna 1964. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun katsojat pääsivät osallistumaan omilla silmillään samaan aikaan tapahtuvaan urheiluun ilman, että olisivat paikan päällä.[1]

Tokion olympialaisissa 1964 nähtiin myös ensi kertaa toinen tietokonetta vaatinut uudistus. Näissä kilpailuissa käytettiin ensimmäistä kertaa sähköistä ajanottoa. Tällöin tutkijat tulivat tulokseen, ettei olympialaisia voida järjestää jatkossa ilman tietokoneiden apua. Tietokoneiden merkityksen ymmärrettiin jo tuolloin koskevan kaikkea urheilua eikä vain olympialaisia. Itse tietokoneiden käytön urheilussa voidaan nähdä alkaneen Squaw Valleyn olympialaisissa 1960. Tällöin tietokone pystyi luomaan ja julkaisemaan luistelukaukalosta saadut tulokset 12 sekunnissa suorituksesta. Tällöin säästettiin aikaa ja resursseja tuomaroinnissa ja tulosten julkaisemisessa.[1] Tulosten seuraaminen ja niistä ilmoittaminen loikin pohjaa sille, miten tänä päivänä seurataan urheilua eri tilastojen kautta, vaikkei itse urheilusuurituksia katsottaisi suorana.

Teknologia ja urheilu vaikuttavat yhdessä muuhunkin kuin suoritusten seuraamiseen. Teknologia on muokannut urheilun valmennusta, urheilupsykologiaa sekä urheilun modernia muotoa. Yksi modernissa urheilussa teknologian kehityksen myötä syntyneistä aloista on maisemateknologia (Landscape Technology). Maisemateknologia vaikuttaa urheiluympäristöön ja sen vaikutuksiin kaikkeen urheilun ympärillä. Yksi tapa, jolla urheilun kannattajien näkökulmasta maisemateknologia näyttäytyy, on isot areenakompleksit ja niiden sisältämät suuret mediaa toistavat näytöt, tekonurmet, aukeavat katot ja liikkuvat kamerat. Teknologian vaikutus näkyy myös urheilijoissa areenojen sisällä. Vastustajat pystyvät seuraamaan toistensa suorituksia median kautta, samalla keskittyen omaan tekniikkaan. Urheiluareenoilla viime vuosina on lisääntynyt luvussa 2.2 pohjustettu tekoäly. Tekoäly on urheiludatan ana-

lysoinnin myötä antanut urheilijoille mahdollisuuden muuttaa omia tekniikoitaan uusilla tavoilla. Tekoäly on tuonut urheiluun jo paljon mahdollisuuksia urheilijoille, katsojille, valmentajille, analyytikoille ja näiden mielenkiinnonkohteiden kehitykselle.[5]

2.2 Tekoäly

Tekoäly on tietokoneen luomaa keinotekoisia ja aivoissa tapahtuvaa ajattelusta muistuttavaa älyä. Se pyrkii suorittamaan ajattelun tavoin sille määrättyjä tehtäviä ja sitä on hyödynnetty laajasti monilla eri aloilla, kuten hakukoneissa, kääntämisessä ja ohjelmoinnissa. Tekoäly on kehittynyt siihen pisteeseen, että ihmisen väliintulon tarve on erittäin pieni, viitaten tekoälyn itsenäiseen oppimiseen ihmisen oppilaana olemisen sijaan. Viime vuosina tekoälyn merkitys on kasvanut valtavasti. Yksi suurista tekijöistä on oppimisalgoritmien kehitys. Kun syväoppimisen (Deep Learning) laajuus ja nopeus on yhdistetty syvien neuroverkkojen (Deep Neural Networks) valtavaan kapasiteetteihin, on tekoälyn nopea kehitys selitettävissä. Koska tekoäly on kehittynyt nopeasti, ihmiset ovat suhtautuneet varovaisesti tekoälyn tuomiin mahdollisuuksiin ja pitäneet sen riskejä esillä. On totta, että tekoäly pyrkii vahvaan suoritukseen tunneajattelun sijaan. Tämä on myös lisännyt vaatimuksia eettiselle tekoälylle, joka toimisi yleisten eettisten arvojen mukaan. Tekoäly kuitenkin kykenee nykyään myös korjaamaan itseään ja tällöin se myös kykenee luomaan itselleen omia sääntöjä tunnettujen eettisten sääntöjen mukaisesti, vaikkakin sen biasoitumista esiintyy edelleen.[6]

Oppimisen ja itsensä kehittämisen lisäksi tekoäly on todistetusti toiminut opettajan asemassa varsinkin nuorille. Loogiseen päättelyyn pystyvä tekoäly osaa auttaa matemaattisissa pulmissa sekä antaa näkökulmia kirjoitustehtäviin. Tekoäly voi olla valmentava opettaja, joka auttaa nuorta suoriutumaan haasteista, tai sitten sitä käytetään vain ratkaisun saamiseen missä tahansa pulmassa ja kognitiivinen kehitys

saattaa jäädä kesken.[7] Nuorten positiivinen kehitys ja tekoäly voidaan yhdistää urheiluun. Urheilun verkkoteknologia (Network Technology) on arvokas tapa seurata nuorten kehitystä. Sen avulla voidaan analysoida ilon tunnetta, tilanteiden luomien tekijöiden vaikutusta sekä luottoa erilaisissa mitattavia yksilöitä seuraavissa sovelluksissa. Verkkoteknologian sisältöön kuuluu vahvistusteorian (Reinforcement Theory) älyllistäminen, jonka avulla tekoäly auttaa välittömässä palautteenannossa, palkinnoissa ja dataan perustuvissa harjoituksissa. Tekoälyllä pystytään etsimään jokaiselle nuorelle parhaat mahdolliset tavat kehittää omaa suoritusta. Verkkoteknologialla myös kannustetaan itsenäistymiseen, mikä on todistettu erittäin vahvaksi tekijäksi nuorten kehityksessä.[8]

2.3 Tekoälyn hyödyntäminen urheilussa

Urheilu on kasvanut satojen miljardien dollarien arvoiseksi alaksi [9]. Tämän myötä urheilu on myös ollut kohteena teknologian kehityksen tuomille uudistuksille. Nämä teknologian tuomat uudistukset ovat tuoneet urheiluun myös tekoälyn. Tekoäly on luonut urheilun eri osa-alueisiin suuren määrän uutta sisältöä. Urheilijoiden näkökulmasta saadaan enemmän tietoa heidän fyysisestä kunnostaan ja parannusehdotuksia siihen, miten heidän omaa fysiikkaansa voi parantaa. Urheilijat harjoittelevat, kilpailevat ja lepäävät ympärikäytävän monitoroinnin alaisuudessa samalla, kun kerättyä tietoa analysoidaan ja saadusta analyysistä koitetaan selvittää parhaat keinot suorittaa edellä mainitut tehtävät.[9], [10] Tekoäly antaa mahdollisuuden valmentajille seurata yksityiskohtaisemmin omien urheilijoiden suorituksia saamalla näistä jatkuvaa tietoa ja parannusehdotuksia. Urheilijoiden loukkaantumiseriskiä voidaan tekoälyn avulla vähentää sekä heidän yksittäisiä taitojaan voidaan parantaa.

Jotta urheilu on pystynyt kasvamaan sen nykyiseen arvoon, on sillä pitänyt olla rahanlähde. Urheilun kannattajat ovat urheilun suosion noustessa saaneet teknologian kautta mahdollisuuksia urheilun syvällisempään seuraamiseen. Viimeisimpä-

nä suurena uudistuksena on urheilun seuraaminen lisätyn ja virtuaalitodellisuuden kautta (Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR)). Lisätyssä todellisuudessa kannattaja pystyy esimerkiksi lisäämään omaan näkökenttäänsä tilastoja suorana tapahtuvista urheilusuorituksista. Virtuaalitodellisuudessa kannattaja voi esimerkiksi seisoa keskellä koripalloareenaa ja nähdä mahdollisimman läheltä pelin kulun. Virtuaalitodellisuuden koripallokentän luomiseksi tarvitaan sensoreita, jotka tekoälyn avulla luovat todentuntuisen kuvan fyysisessä todellisuudessa sijaitsevasta kentästä.[11]

On kehitetty strategioita siihen, miten tekoälyä voitaisiin sisällyttää urheiluun ja sen valmennuksen kehittämiseen aiempaa enemmän. Urheilulaitosten ja valtioiden hallintotasojen pitää ensimmäiseksi tunnistaa omat velvollisuutensa vahvistaakseen rahallista tukea ja omia käytäntöjä urheilutekoölyyn. Näiden käytäntöjen tulisi tukea urheilutekoälyn uudistavaa kehitystä mahdollisimman laajasti. Älyjärjestelmien tuki urheilussa pitäisi standardisoida ja urheilun reiluutta pitäisi näin ylläpitää tarjoten samat saatavuudet järjestelmiin kaikille urheilijoille. Tekoälyn luomalle urheiludatalle tulisi tehdä oma määrittely ja standardi. Data on tekoöllylle lähde kehitykseen ja kaiken oppimisen ydin. Datan määrittelyn sekä älyjärjestelmien tuen varmistamisen lisäksi tulisi kehittää urheiluhenkilökunnan koulutusta älyjärjestelmien kanssa. Kun valmentajat koulutetaan työskentelemään tekoälyn kanssa, saavat urheilijatkin paljon enemmän hyötyä omien suoritustensa arviointiin. Tämän lisäksi urheilun katsojia palvelevat sovellukset tulevat olemaan suuremmassa näkyvyydessä tulevaisuudessa ja näitä sovelluksia pitäisi myös kehittää virallisten tahojen toimesta.[10]

3 Datan kerääminen

Tekoälyä käytetään urheilussa moneen tarkoitukseen. Sen avulla pystytään parantamaan urheilusuorituksia ja vähentämään mahdollisia häiriötekijöitä. Tekoälyllä pystytään kehittämään valmennusta erilaisten valmennustekniikoiden ja datan kautta. Sen kautta katsojat saavat entistä paremman käsityksen urheilun yksityiskohdista.[8], [9] Tekoälyn toiminta perustuu sille syötetyn datan analysoimiseen ja sen pohjalta päätöksentekoon [12]. Tässä luvussa tarkastellaan datan keräämistä urheilussa ja sen soveltamista tekoälyn kannalta.

3.1 Tekoäly ja data

Dataa voidaan kuvata yhtenä tekoälyn tärkeimmistä komponenteista, vaikka tekoäly vaatiikin paljon eri tekijöitä toimiakseen. Muutoin sillä ei olisi mitään, mitä työstää. Dataan perustuva tekoäly toimii sen saamien datapakettien analysointina. Nämä datapaketit sisältävät informaatiota muutettuna sellaiseen muotoon, jota tekoälyn on helpoin muuttaa ja siirtää paikasta toiseen. Tekoäly siis vertailee sille annettua dataa keskenään ja oppii annetusta datasta parhaimman tavan tuottaa ennusteita. Tekoälyllä on siis sääntöjä, joiden avulla se käsittelee sille annettua dataa.[13] Esimerkkinä tämä data voi olla urheilussa puettavan teknologian, kuten urheilukellojen antama urheiludata, johon lukeutuu esimerkiksi sykealueet, aika ja suoritustehot. Tätä kerättyä dataa tekoäly analysoi ja tarjoaa saatujen tulosten avulla sovellettua tietoa, josta urheilijat hyötyvät parantaen suorituksiaan. Tätä käsitellään luvussa 4.1 [14].

Tekoäly on noussut tärkeäksi strategiateknologiaksi sen datan analysoinnin ansiosta. Dataan ja sen analysointiin pohjautuvan tekoälyn eri osa-alueita ovat esimerkiksi bayesilaiset verkot (Bayesian Networks), samankaltaisuuden laskeminen (Similarity Measures) ja sääntöihin perustuva päättely (Rule-based Inference).[15] Näitä tekoälyalgoritmeja esitellään tässä alaluvussa ja niiden soveltamista urheiluanalytiikassa tarkastellaan myöhemmin.

Bayesilaiset verkot perustuvat todennäköisyyslaskennalliseen päättelyyn. Verkkojen data sisältää solmuja ja dataa käsitellessä siirrytään solmu kerrallaan eteenpäin. Solmujen väleillä on polkuja, joita pitkin siirrytään aina seuraavaan solmuun. Aina uuteen solmuun siirryttäessä saadaan lisää dataa ja bayesilainen verkko suorittaa todennäköisyyspäättelyn, joka määrittää parhaan mahdollisen polun siirtyä seuraavaan solmuun, mahdollistaen parhaimman tavan tekoälyn oppimiselle.[15]

Samankaltaisuuden laskeminen avustaa klusterointia (Clustering). Klusteroinnissa datasta haetaan samankaltaisia ominaisuuksia, ja ne jaetaan omiin luokkiin eli klustereihin, joiden sisällä olevat yksilöt muistuttavat toisiaan. Klusterointi on ohjaamaton menetelmä, eli se jakaa datan luokkiin sen sijaan, että data sisältäisi kyseiset luokat. Samankaltaisuuden laskemisessa arvioidaan datan yksilöitä ja niiden ominaisuuksia, jotka muistuttavat toisiaan. Tekoäly suorittaa arvioinnin ja jakaa yksilöt luokkiin.[15], [16]

Sääntöihin perustuvassa päättelyssä tekoälyjärjestelmälle on annettu sääntöjä, joiden pohjalta se suorittaa päätöksentekonsa datan analysoinnissa. Säännöt voivat olla yksinkertaisia komentoja, joita tekoäly noudattaa. Ne kertovat sen, mitä tekoäly saa ja ei saa tehdä. Säännöt käskevät noudattamaan tietynlaisia suodattimia tekoälyn ajatustyössä, jotta tulokset olisivat mahdollisimman tarkkoja siihen haluttuun aiheeseen.[15], [17]

3.2 Urheiludatan kerääminen

Kuten kaikessa tekoälyn avustamassa toiminnassa myös urheilussa tarvitaan dataa. Urheiludataa kerätään, jotta sitä voidaan analysoida ja soveltaa käytännössä, auttaen urheilijoita ja heidän ympärillään vaikuttavia toimijoita saamaan tarkempaa tietoa urheilijoiden suorituksista. Urheiludatan keräämistä voidaan tarkastella kahden esimerkin eli puettavan teknologian (Wearable Technology) ja konenäön (Computer Vision) kautta. Puettava teknologia määrittyy nimensä mukaisesti sensoreina, joita käyttäjä pitää päällään toimiessaan. Puettavan teknologian tehtävänä on kerätä dataa urheilijasta, vaikuttaen mahdollisimman vähän itse urheilijan suoritukseen. Tämän vuoksi suosittuja puettavan teknologian välineitä ovat esimerkiksi kellot, sykevyöt sekä sormukset. Konenäkö ei fyysisesti vaikuta urheilijassa, vaan se seuraa tapahtuvaa urheilua esimerkiksi kameran kautta. Tietokone kerää kameran kuvaamista kuvista tai videoista sen tarvitsemaa dataa, kuten esimerkiksi raajojen sijaintia ponnahduslautaan nähden pituushypyssä. Konenäön avulla voidaan vähentää ihmissilmän tekemiä mahdollisia virheitä, kuten jalkapallon paitsioissa tai edellä mainitussa pituushypyssä.[18], [19] Tässä aliluvussa tarkastellaan tarkemmin puettavan teknologian avulla suoritettavaa datan keräämistä.

Puettava teknologia on urheiludatan keräyksessä yksi käytetyimpiä tekniikoita [18]. Siihen lukeutuu kaikki ulkoinen sensoreita sisältävä ja dataa keräävä teknologia, mitä voidaan lisätä urheilijan fyysiseen olemukseen. Yleisiä puettavaa teknologiaa hyödyntäviä laitteita ovat äly- ja urheilukellot. Nämä kellot puetaan ranteeseen tavallisen mekaanisen kellon tavoin ja ne toimivat myös siinä tehtävässä eli ajan näyttämisessä. Kello on hyvä toimimaan sensorina, sillä se ei vaikuta suuria määriä itse suoritukseen, varsinkaan urheilussa, jossa käsien tarkkuuden vaativuus on pieni. Puettavan teknologian sensoreita voidaan sijoittaa ympäri urheilijan kehoa, kuten esimerkiksi kypärään, jos urheilija sellaista käyttää. Puettavien sensorien sijoitus voi olla tärkeää, jos halutaan kerätä jonkin tietyn kehonosan dataa tarkemmin.[18], [20]

Data, jota puettavan teknologian sensoreilla kerätään, vaihtelee paljon sen keräystarkoituksen mukaan. Urheilukellot usein mittaavat urheilijan sydämen lyöntitiheyttä eli sykettä. Kyseisissä kelloissa on eri menetelmillä luotuja sykemittareita, jotka omalla tavallaan seuraavat jokaista sydämen lyöntiä. Kello on hyvä sykemittari, sillä kireällä ranteessa oleva kello on mahdollisimman lähellä ranteessa kulkevia valtimoja ja tällöin se saa mahdollisimman tarkan tiheyden sykkeestä.[14] Urheilukelloissa on usein myös liikettä mittaavia sensoreita, jotka antavat tarkkaa tietoa esimerkiksi urheilijan nopeudesta ja sijainnista.

Suurin osa urheilukelloilla mitattavista tuloksista on mitattavissa myös muilla puettavan teknologian välineillä. Esimerkiksi puettavat vaatteet voivat sisältää saman tai suuremman määrän sensoreita kuin urheilukello. Sensoreita sisältävät vaatteet kietoutuvat koko kehon ympärille, tehden tulosten mittaamisesta helppoa. Puettavaa teknologiaa sisältävät vaatteet ovat edelleen jatkuvassa kehityksessä, sillä tutkimukset koittavat selvittää parhaan mahdollisen materiaalin tekstiilille sekä parhaat mahdolliset paikat sensoreille vaatteessa. Muita jo käytössä olevia puettavaa teknologiaa hyödyntäviä välineitä ovat esimerkiksi älykengät sekä älyvyöt.[21]

Puettavan teknologian laitteet käyttävät sensoreita arvioidakseen fyysisistä suorituksista tullutta dataa. Sensorien keräämä data, kuten esimerkiksi sydämen lyönnit ovat aluksi raakadatan muodossa. Raakadata sisältää attribuutteja, jotka voivat olla kategorisessa, jatkuvassa tai binäärimuodossa.[22] Kategorisessa muodossa olevat attribuutit ovat symboleja, numeroita tai nimiä. Jatkuvassa muodossa datan attribuuttien arvo on mikä tahansa annetulla välillä. Binäärimuodossa data on binäärissä, eli se sisältää vain numeroita 1 ja 0.[23], [24] Kun raakadata on kerätty, se käsitellään esimerkiksi API-ohjelmointirajapinnassa (Application Programming Interface). Raakadastasta kerätään aikaleimoja, jotta pystytään varmistamaan, että datan arvoilla on yhtenäinen tietorakenne. Puuttuvia tietoja pystytään täydentämään eri algoritmien avulla. Data pystytään näin muuntamaan luettavaan muotoon.[22]

Kun data on saatu API:n kautta luettavaan muotoon, voidaan se samassa rajapinnassa siirtää sovellukselta toiselle. Puettavan teknologian tapauksessa se voidaan siirtää luettavaksi äylaitteeseen, kuten älypuhelimeen esimerkiksi Bluetoothin avulla.[20] Joissain puettavan teknologian tapauksissa tätä kohtaa ei tarvita, sillä itse puettava laite voi hoitaa puhelimen roolia datan siirtymisessä eteenpäin [21]. Älypuhelimien rajapinnan kautta on nähtävissä kerätty data ja sitä voidaan jo tässä vaiheessa analysoida. Älypuhelimet hyödyntävät monia eri sovelluksia, joissa dataa käsitellään ja se antaa tietoja aikaisemmista puettavalla teknologialla kerätyistä suorituksista. Kerätty data säilötään palvelimille, joissa on suuret nimitetyt tietokannat pelkästään urheiludatalle. Palvelimia ylläpitää usein puettavan teknologian tai dataa hyödyntävän kolmannen osapuolen yritys, joka tarjoaa datan säilytyksen palveluna käyttäjälle. Data siirtyy palvelimelle äylaitteelta mobiiliyhteyden kautta, joten laite tarvitsee yhteyden esimerkiksi mobiilitukiasemaan, jonka kautta se pääsee siirtämään datan internetiin, josta palvelin hakee datan itselleen.[20] Datan kulkua puettavasta teknologiasta palvelimelle havainnollistetaan kuvassa 3.1. Monet sensoreilla kerättävään dataan perustuvat laitteet toimivat kyseisellä menetelmällä.



Kuva 3.1: Puettavan teknologian keräämän datan reitti palvelimelle [20].

3.3 Datan keräyksen soveltaminen

Dataa kerätään, koska sitä pystytään soveltamaan analyysin kautta konkreettisiin tarkoituksiin. Puettavan teknologian sensorit keräävät dataa yleensä siltä alueelta, jonka datasta hyödytään kyseiseen tarkoitukseen. Esimerkiksi älyshokettit keräävät jalokaterästä lämpötilan, jonka avulla pystytään lämpötilaeroja analysoimalla ennustaa sairaaksi tulemista.[21] Älyshoketit ovat laajan peittonsa vuoksi hyvät keräämään mitattavaa dataa jaloista. Urheilussa sensorit voivat sijaita myös urheiluvälineissä, kuten kypärässä, mailassa tai suojissa.

Urheiludataa mittaava teknologia, joka on kiinni urheilijassa joko urheiluvälineessä tai kehossa, on yleensä sijaintinsa vuoksi painoltaan kevyttä ja kooltaan pientä teknologiaa. Tämän vuoksi energiankäyttö ja sen säästäminen on tärkeä osa-alue datan keräyksessä. Monissa dataa keräävissä laitteissa virta on alhaisimmalla teholla aina kun urheilija on paikoillaan, pitäen sensoreita pois päältä. Usein sykemittarit ovat näissäkin tilanteissa päällä leposykkeen mittausta varten. Kun urheilija lähtee liikkeelle, teho nousee ja sensorit kytkeytyvät päälle.[25] Laitteissa tulee olla myös tarpeeksi tallennustilaa datan hetkelliseen säilömiseen, sillä esimerkiksi urheillessa internet-yhteyden ulottumattomissa pitää data säilöä itse laitteeseen, jotta se voidaan lähettää eteenpäin yhteyden palattua.

Jotta dataa saadaan kerättyä siihen tarkoitettuun tarpeeseen, tulee dataa keräävän laitteen sisältää juuri tarvittavat komponentit datan analysoimiseen. Esimerkiksi baseballissa käytettävä lyönnin jäljitin (Swing tracker) kerää dataa lyönnin voimasta, nopeudesta ja lyöntialueesta. Lyönnin nopeutta voidaan laskea lyönnin kulkeman matkan ja siihen tarvitun ajan perusteella. Lyönnin voimaa voidaan mitata laskemalla lyönnin impulssi palloon tietäen mailan ja pallon nopeuden, mailan ja pallon painon sekä ajan, jonka maila on kiinni pallossa. Lyöntialue voidaan määrittää mailassa ja pallossa sijaitsevien sensorien avulla.[25]

Puettavan teknologian ja konenäön tuomat ratkaisut urheiludatan keräämiseen avustavat sen analysointia entisestään. Monet dataa keräävät laitteet hoitavat keräyksen jälkeen myös niille määritetyt analysoinnit sen sijaan, että dataa lähetettäisiin eteenpäin. Analysoitava data siis pysyy lähellä urheilussa tapahtuvaa suoritusta, jolloin sitä saadaan nopeasti käyttöön sen hyödyntämistä varten.[18]

4 Urheilijoiden tulosten parantaminen tekoälyllä

Urheiludataa pystytään soveltamaan eri tarkoituksiin. Sykemittarilla pystytään seuraamaan urheilijan sykettä ja sen alueita. Askelmittarilla pystytään näkemään etenemistä päivän askelmäärään. Urheiludatan avulla voidaan myös oppia urheilijoista ja parantaa heidän tuloksiaan. Tässä luvussa tarkastellaan tekoälyn hyödyntämistä urheilijoiden tulosten parantamista heistä kerätyn datan avulla. Tarkastellaan myös, miten urheilijoiden loukkaantumisriskiä voidaan tekoälyn avulla vähentää.

4.1 Datan analysointi ja tulosten parantaminen

Kerätyn datan analysointi on edellytys sille, että kerättyä dataa voidaan hyödyntää. Datan analysoinnissa datalle annetaan tarkoitus sen hyödyntämiseen käytännössä. Urheiludatan analysoinnissa tekoälyn rooli on tarjota erilaisia menetelmiä analysoida dataa saavuttaen tuloksia, joissa urheilija tekee suorituksensa entistä paremmin. Eri urheilulajeissa dataa analysoidaan eri tekoälyä hyödyntävillä menetelmillä.[26] Tässä tutkielman luvussa tarkasteltavat urheilulajit ovat jalkapallo, juoksu, uinti ja koripallo.

Jalkapallossa urheiludataa analysoidaan erittäin paljon. Esimerkiksi pelaajien suorituskykyä tietyssä pelipaikassa mittaava koneoppimisalgoritmi sekä aikaisempiin suorituksiin perustuva maalinteon kehitys algoritmi toimivat lineaariregression (Linear Regression) avulla [26]. Linearisessa regressiossa sovitetaan aineistoon suora siten, että suoran yhtälön kertoimet optimoidaan minimoimalla datapisteissä jäljellä olevien neliöiden summaa. Tässä tapauksessa aineisto on maalintekoon tähdätyjen laukausten aineisto ja optimoiduilla kertoimilla tavoitellaan parempaa tarkkuutta laukauksiin [27]. Jalkapallon valmennuksen apuna voidaan nähdä käytettävän esimerkiksi K-means klusterointialgoritmia (K-means Clustering). Klusterointi on selitetty luvussa 3.1. K-means klusterointi on koneoppimisen ja analysoinnin menetelmä, jossa klusterointi tapahtuu iteratiivisesti, eli se toistaa itseään ilman erillistä ohjausta. K-means klusteroinnilla voidaan analysissä tutkia suurta määrää dataa, eli esimerkiksi monen eri jalkapalloilijan suoritusten valmennuksessa. Jalkapallovalmentaja voi käyttää K-means klusterointialgoritmia esimerkiksi älylaitteen rajapinnassa, jossa ohjelma erottelee pelaajien taidot kuten nopeuden, laukausvoiman ja syöttöjen tarkkuuden klustereihin, antaen syvällisempää tietoa valmentajalle harjoittelua varten. [16], [26]

Juoksussa urheiludataa analysoidessa voidaan tekoälyjärjestelmissä tutkia simuloitun hehkutuksen avulla (Simulated Annealing). Simuloidussa hehkutuksessa lasketaan todennäköisin optimaalinen piste hyväksymällä huonompia hetkellisiä vaihtoehtoja. Lopulta algoritmi löytää todennäköisimmän optimipisteen. Simuloidulla hehkutuksella voidaan suunnitella juoksijalle optimaalinen juoksunopeus, jossa juoksija käyttää juuri oikean määrän juoksuvoimaa kussakin juoksun vaiheessa. Tällöin urheilija saa maksimaalisen hyödyn omasta tasostaan ja parantaa tuloksiaan.[26], [28]

Uinnissa antureilla mitattua dataa voidaan analysoida tekoälyä hyödyntävällä päätöspuu-koneoppimisalgoritmilla (Decision trees). Päätöspuissa ongelma jaetaan moniin alaluokkiin, jolloin ongelman eri tasoja pystytään seuraamaan ja valitsemaan oikea polku tavoitteen saavuttamiseksi. Alaluokat edustavat suorituksen testiä ja niiden polut edustavat tulosta. Esimerkiksi uimarien suorittaman intervalliharjoituksen aikana mitataan uintiliikkeen vaiheita, kuten potkua, käden nostamisen nopeutta ja iskuvoimaa veteen. Tästä saatua dataa analysoidaan päätöspuulla. Uintiliikkeen vaiheet jaetaan pieniin osiin, jotka menevät päätöspuussa omiin alaluokkiin ja niistä valitaan parhaimpia tuloksia saavuttavat, jolloin voidaan määrittää optimaalinen uintiliike voimaltaan ja nopeudeltaan.[26], [29]

Luvussa 3.1 mainitut bayesilaiset verkot ovat yksi tapa analysoida dataa ja tehdä ehdotuksia urheilijoille tulosten parantamiseen. Koripallopelien tutkimuksissa on huomattu, että kun pelaajien liikeradat ja aktiivisuudet ovat kohdanneet koripalloasiantuntijoiden suositukset, ovat pelaajat tehneet kolminkertaisen määrän pisteitä niissä peleissä.[2] Bayesilaisilla verkoilla voidaan siis analysoida todennäköisimpiä liikeratoja parhaan mahdollisen tuloksen saavuttamiseksi. Analyysien perusteella pelaajat voisivat noudattaa bayesilaisten verkkojen ehdotuksia, harjoitellen niiden mukaan ja parantaen näin omaa suoritustaan. Analyysissä tulee myös ottaa huomioon eri vastustajien strategiat. Kun pelaajat harjoittelevat näiden ohjeiden mukaan tarpeeksi kauan, pelitapa tulee rutiiniksi ja pelaajat pelaavat paremmin.

4.2 LoukkaantumISRISKIN vähentäminen

Loukkaantumiset urheilussa voivat pahimmillaan johtaa kilpaurheilijan uran päätymiseen. Loukkaantumiset myös vaikuttavat tuloksiin sekä urheilujoukkueiden ja edustusmaiden rahatuloihin.[30] Riittäväällä levolla sekä ulkoisilla tekijöillä, kuten suojarusteilla, ennaltaehkäisevillä hoidoilla ja valmennuksella pyritään ehkäisemään loukkaantumisia. Valmennuksen määräämä harjoittelu ja sen kuormitus on

merkittävä tekijä loukkaantumisissa. Urheilijoita myös koulutetaan liikkumaan loukkaantumisia ehkäisevästi, kuten esimerkiksi miten fyysisiä taklauksia otetaan oikeanlaisesti vastaan. Urheilusuoritusten parantamisen lisäksi tekoälyllä pystytään myös ehkäisemään loukkaantumisia.

Jotta tekoälyn avulla voitaisiin vähentää loukkaantumisriskiä, pitää tunnistaa syyt urheilijoiden loukkaantumisille. Ulkoiset tekijät, kuten urheilussa kontaktista tapahtuvat yllättävät loukkaantumiset ovat vaikeita ennustaa, mutta vähitellen urheilijoita loukkaantumisille altistavia tekijöitä ja niiden ennustamista voidaan tutkia. Urheilijoiden pehmytkudosvammat on yleisesti huonosti tunnettuja. Perimätekijät vaikuttavat usein vammoihin ja siihen miten pitkä toipumisaika eri urheilijoilla on. Myös harjoittelumäärän suhde loukkaantumisriskiin on tutkittu olevan merkittävä tekijä. Tämän suhteen tutkimiseen on kehitetty eri mittareita, kuten ACWR (Acute Chronic Workload Ratio), joka mittaa suhdetta akuutin ja kroonisen työmäärän välillä.[30] Esimerkiksi neljän viikon ACWR lasketaan kaavalla:

$$\frac{w_1}{(w_1 + w_2 + w_3 + w_4)/4} \quad (4.1)$$

Jossa w kuvaa viikon työmäärää ja alaindeksit 1–4 kuvaavat viikkoja. ACWR siis jakaa viimeisen viikon eli akuutin työmäärän edellisen kuukauden viikkokeskiarvolla eli kroonisella työmäärällä.[31] Esimerkissä käytettiin neljää viikkoa, mutta ACWR voidaan myös laskea lyhyemmällä tai pidemmällä aikavälillä. Työmäärä voi olla esimerkiksi juostut kilometrit tai harjoitteluun käytetty aika. Tutkimuksissa on huomattu, että kun akuutti työmäärä on pienempi kuin krooninen työmäärä, eli ACWR-suhde on alle 1, urheilijoiden loukkaantumisriski on matala. Kun ACWR-suhde on suurempi kuin 2, urheilijoiden loukkaantumisriski on 2–4 kertaa suurempi kuin niiden, joilla ACWR-suhde on alle 2.[30] Voidaankin siis päätellä, että merkittävä fyysinen rasitus edeltävällä viikolla verrattuna kausi-keskiarvoon voi johtaa loukkaantumiseen.

Ulkoisten tekijöiden vuorovaikutus on hyvin vaikea saada näkymään pelkällä tilastoiden vertailulla ja laskemisella loukkaantumisten ennustamisessa. Tekoäly, joka ottaa näiden ulkoisten tekijöiden, kuten ympäristön, sään ja pelivälineiden vaikutukset huomioon, pystyy ennustamaan loukkaantumisriskiä paljon paremmin. Näiden lisäksi tekoälyn olisi hyvä ymmärtää ihmiskeho, joka on monimutkainen sen biologisten muuttujien vuoksi. Sopivimmaksi tekoälyn osa-alueeksi tähän ongelmaan voisi nähdä neuroverkot (Neural Networks). Neuroverkot ovat koneoppimisteknologiaa, jossa pystytään esimerkiksi simuloimaan biologisen organismin toimintaa [32]. Neuroverkot pystyvät käsittelemään hyvin raakadataa, joka tässä tapauksessa on pelaajan harjoittelun eli kuormituksen muodossa kuvioina. Neuroverkot tunnistavat kuvioita hierarkkisesti, jolloin oppimisen kautta verkot käsittelevät loukkaantumisia binäärisinä tapahtumina. Tapahtumissa urheilija joko loukkaantuu tai ei loukkaannu. Neuroverkkojen oppimisen ja tapahtumien simuloinnin avulla pystytään tunnistamaan tilanteet, joissa urheilija loukkaantuu epätodennäköisemmin.[30] Loukkaantumisen ja loukkaantumisriskin ennustaminen pitää myös erottaa toisistaan. On mahdotonta ennustaa, että putoaako urheilija huonosti kätensä päälle tai saako hän taklauksen päähänsä. Loukkaantumisriskiä voidaan kuitenkin vähentää tekoälyn avulla.

5 Yhteenveto

Tekoälyllä pystytään analysoimaan urheilijoita sekä optimoimaan harjoittelua ja valmennusta urheilusuoritusten kehittämiseksi. Tekoälyn avulla voidaan parantaa katsojakokemusta sekä analytiikkaa urheilusuorituksista. Tekoäly on kasvanut erittäin nopeasti tärkeäksi osa-alueeksi urheilussa. Tässä luvussa vastataan tutkimuskysymyksiin sekä pohditaan lyhyesti tekoälyn roolia tulevaisuudessa.

TK1: *Miten tekoälyä hyödynnetään urheilussa?* Tekoäly on tuonut paljon uutta sisältöä urheiluun katsojien, valmentajien ja urheilijoiden kannalta. Katsojat ovat päässeet lisätyn ja virtuaalitodellisuuden myötä lähemmäs urheiluareenoja kotisohviltaan sekä he saavat enemmän yksityiskohtaisia tietoja ja tilastoja urheilijoista. Valmentajat ovat saaneet käyttöönsä tekoälyjärjestelmiä ja heidän koulutuksensa myötä urheilijat saavat kehittyä erilaisten harjoitteiden ja suoritusten arviontien kautta. Urheilijat hyötyvät tekoälystä, kun heidän suorituksistaan kerättyä dataa analysoidaan tekoälyn avulla ja he saavat tämän kautta ohjeita tehdä suorituksensa tehokkaammalla tavalla heille räätälöidyissä harjoitteissa.

TK2: *Miten urheiludataa kerätään?* Urheiludataa kerätään monilla eri menetelmillä, mutta esimerkiksi puettavalla teknologialla kerätään urheiludataa puettavien sensorien avulla. Nämä sensorit sijaitsevat esimerkiksi kellossa tai vaatekappaleessa ja ne keräävät tiettyä tietoa urheilijasta, esimerkiksi sykettä. Kerätty data muutetaan luettavaan muotoon ja sen jälkeen siirretään laitteelle, josta sitä voidaan analysoida ja sen pohjalta soveltaa tietoa suoritteesta.

TK3: *Miten urheilutuloksia pystytään optimoimaan tekoälyn avulla?* Urheilutaloutta analysoivat tekoälysovellukset käyttävät eri algoritmeja, joiden avulla urheilu- ja suoritusdataa pystytään esimerkiksi mittaamaan parhaat tavat käyttää urheilijan omaa voimaa optimaalisen tuloksen laskemiseksi. Tällöin urheilijat saavuttavat parhaan mahdollisen tuloksen nykyisillä voimillaan. Dataa analysoidessa tekoälyllä pystytään selvittämään myös esimerkiksi jalkapallon pelaajalle paras mahdollinen pelipaikka analysoiden tämän taitoja ja suorituksia kentällä. Tekoäly myös pystyy tarjoamaan urheilijoille oman fysiikkansa kehittämiseen parhaita mahdollisia harjoitteita. Urheilutulosten optimointiin kuuluu myös parhaiden urheilijoiden kunnossapysyminen. Tekoälyn avulla pystytään arvioimaan pelaajien rasituksen tasoa ja määräämään lepoa harjoittelusta loukkaantumisriskin vähentämiseksi.

Ne urheilun alueet, jotka eivät vielä ole kokeneet tekoälyn vaikutusta, tulevat sen todennäköisesti kokemaan tulevaisuudessa. Huippu-urheilussa on mahdollista tulevaisuudessa nähdä jokaisella urheilijalla henkilökohtaista tekoälyä hyödyntävää valmennusta, kun datan keräysteknologia ja analysointi kehittyy eteenpäin. Tekoäly mahdollistaa varmasti jatkossa entistä laajemman urheilun seurantaverkoston, jossa katsoja pääsee seuraamaan suosikkiurheilijaansa entistä lähempää ja tarkemmin. Tekoälyn ja urheilun yhteinen tulevaisuus on tällöin taattu.

Lähdeluettelo

- [1] D. Luo, "The Application of Computer Technology in Sports Training and Competition", teoksessa *2020 International Conference on Applications and Techniques in Cyber Intelligence*, Cham: Springer International Publishing, 2021, s. 543–549. DOI: 10.1007/978-3-030-53980-1_80.
- [2] B. Li ja X. Xu, "Application of Artificial Intelligence in Basketball Sport", *Journal of Education, Health and Sport*, vol. 11, nro 7, s. 54–67, heinäkuu 2021. DOI: 10.12775/JEHS.2021.11.07.005.
- [3] J. Goldenberg, O. Lowengart, S. Oreg ja M. Bar-Eli, "How do revolutions emerge? Lessons from the fosbury flop", *International Studies of Management and Organization*, vol. 40, nro 2, s. 30–51, 2010. DOI: 10.2753/IM00020-8825400202.
- [4] N. Frevel, D. Beiderbeck ja S. L. Schmidt, "The impact of technology on sports – A prospective study", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 182, 2022, ISSN: 0040-1625. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121838.
- [5] F. Habibi ja M. O. Khairandish, "Evolution of technology in sports: Impact on performance, management, and fan experience", *International Journal of Science and Research Archive*, vol. 10, s. 995–1000, marraskuu 2023. DOI: 10.30574/ijsra.2023.10.1.0831.
- [6] A. Barredo Arrieta, N. Díaz-Rodríguez, J. Del Ser et al., "Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward

- responsible AI”, *Information Fusion*, vol. 58, s. 82–115, 2020, ISSN: 1566-2535. DOI: 10.1016/j.inffus.2019.12.012.
- [7] T. Tossavainen, ”Matemaattisia keskusteluja tekoälyn kanssa – Onko ChatGPT-stä oppaaksi matematiikan oppimisessa?”, *Tieteessä tapahtuu*, vol. 41, nro 2, huhtikuu 2023. url: <https://journal.fi/tt/article/view/129070>.
- [8] H. Zhang, J. Chai ja C. Li, ”On innovative strategies of youth sports teaching and training based on the internet of things and artificial intelligence technology from the perspective of humanism”, *Learning and Motivation*, vol. 86, s. 101969, 2024, ISSN: 0023-9690. DOI: 10.1016/j.lmot.2024.101969.
- [9] R. Beal, T. J. Norman ja S. D. Ramchurn, ”Artificial intelligence for team sports: a survey”, *The Knowledge Engineering Review*, vol. 34, e28, 2019. DOI: 10.1017/S0269888919000225.
- [10] P. Ding, ”Analysis of Artificial Intelligence (AI) Application in Sports”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1302, nro 3, s. 032044, elokuu 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/1302/3/032044.
- [11] S. Kim ja E. Argyro, ”Transforming sport consumption: exploring motivated sport fans innovativeness in the context of AR live sport streaming”, *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*, s. 1464–6668, tammikuu 2024. DOI: 10.1108/IJSMS-09-2023-0180.
- [12] P. F. Felzenszwalb, R. B. Girshick, D. McAllester ja D. Ramanan, ”Object Detection with Discriminatively Trained Part-Based Models”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, nro 9, s. 1627–1645, 2010. DOI: 10.1109/TPAMI.2009.167.
- [13] A. Majeed ja S. O. Hwang, ”Data-Centric Artificial Intelligence, Preprocessing, and the Quest for Transformative Artificial Intelligence Systems Deve-

- lopment”, *Computer*, vol. 56, nro 5, s. 109–115, 2023. DOI: 10.1109/MC.2023.3240450.
- [14] Z. Xu, B. Yu ja F. Wang, ”Chapter 4 - Artificial intelligence/machine learning solutions for mobile and wearable devices”, teoksessa *Digital Health*, S. Syed-Abdul, X. Zhu ja L. Fernandez-Luque, toim., Elsevier, 2021, s. 55–77, ISBN: 978-0-12-820077-3. DOI: 10.1016/B978-0-12-820077-3.00004-3.
- [15] Y. Duan, J. S. Edwards ja Y. K. Dwivedi, ”Artificial intelligence for decision making in the era of Big Data – evolution, challenges and research agenda”, *International Journal of Information Management*, vol. 48, s. 63–71, 2019, ISSN: 0268-4012. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.021.
- [16] K. P. Sinaga ja M.-S. Yang, ”Unsupervised K-Means Clustering Algorithm”, *IEEE Access*, vol. 8, s. 80 716–80 727, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2988796.
- [17] B. V. Boas, W. Zirwas ja M. Haardt, ”Combining AI/ML and PHY Layer Rule Based Inference - Some First Results”, teoksessa *2022 IEEE 23rd International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communication (SPAWC)*, 2022, s. 1–5. DOI: 10.1109/SPAWC51304.2022.9833980.
- [18] G. Aroganam, N. Manivannan ja D. Harrison, ”Review on Wearable Technology Sensors Used in Consumer Sport Applications”, *Sensors*, vol. 19, nro 9, 2019, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s19091983.
- [19] B. T. Naik, M. F. Hashmi ja N. D. Bokde, ”A Comprehensive Review of Computer Vision in Sports: Open Issues, Future Trends and Research Directions”, *Applied Sciences*, vol. 12, nro 9, 2022, ISSN: 2076-3417. DOI: 10.3390/app12094429.

- [20] Y. Yang, "Application of wearable devices based on artificial intelligence sensors in sports human health monitoring", *Measurement: Sensors*, vol. 33, s. 1–9, 2024, ISSN: 2665-9174. DOI: 10.1016/j.measen.2024.101086.
- [21] M. Ahsan, S. H. Teay, A. S. M. Sayem ja A. Albarbar, "Smart Clothing Framework for Health Monitoring Applications", *Signals*, vol. 3, nro 1, s. 113–145, 2022, ISSN: 2624-6120. DOI: 10.3390/signals3010009.
- [22] J. S. Sunny, C. P. K. Patro, K. Karnani et al., "Anomaly Detection Framework for Wearables Data: A Perspective Review on Data Concepts, Data Analysis Algorithms and Prospects", *Sensors*, vol. 22, nro 3, 2022, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s22030756.
- [23] J. Hancock ja T. Khoshgoftaar, "Survey on categorical data for neural networks", *Journal of Big Data*, vol. 7, nro 1, s. 1–41, 2020, ISSN: 2196-1115. DOI: 10.1186/s40537-020-00305-w.
- [24] W.-C. Lin, C.-F. Tsai ja J. R. Zhong, "Deep learning for missing value imputation of continuous data and the effect of data discretization", *Knowledge-Based Systems*, vol. 239, s. 108 079, 2022, ISSN: 0950-7051. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.108079>.
- [25] M. Kos ja I. Kramberger, "A Wearable Device and System for Movement and Biometric Data Acquisition for Sports Applications", *IEEE Access*, vol. 5, s. 6411–6420, 2017. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2675538.
- [26] A. Rajšp ja I. Fister, "A Systematic Literature Review of Intelligent Data Analysis Methods for Smart Sport Training", *Applied Sciences*, vol. 10, nro 9, 2020, ISSN: 2076-3417. DOI: 10.3390/app10093013.
- [27] D. C. Montgomery, E. A. Peck ja G. G. Vining, *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons, 2021.

- [28] A. Blum, C. Dan ja S. Seddighin, ”Learning Complexity of Simulated Annealing”, teoksessa *Proceedings of The 24th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*, A. Banerjee ja K. Fukumizu, toim., sarja Proceedings of Machine Learning Research, vol. 130, PMLR, huhtikuu 2021, s. 1540–1548. url: <https://proceedings.mlr.press/v130/blum21a.html>.
- [29] B. Mahbooba, M. Timilsina, R. Sahal ja M. Serrano, ”Explainable Artificial Intelligence (XAI) to Enhance Trust Management in Intrusion Detection Systems Using Decision Tree Model”, *Complexity*, vol. 2021, 2021. DOI: 10.1155/2021/6634811.
- [30] G. Kakavas, N. Malliaropoulos, R. Pruna ja N. Maffulli, ”Artificial intelligence: A tool for sports trauma prediction”, *Injury*, vol. 51, S63–S65, 2020, *Advancement in Traumatology*, ISSN: 0020-1383. DOI: 10.1016/j.injury.2019.08.033.
- [31] B. T. Hulin, T. J. Gabbett, D. W. Lawson, P. Caputi ja J. A. Sampson, ”The acute:chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players”, *British Journal of Sports Medicine*, vol. 50, nro 4, s. 231–236, 2016, ISSN: 0306-3674. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094817.
- [32] C. C. Aggarwal, *Neural Networks and Deep Learning: A Textbook*, 2. painos. Springer International Publishing, kesäkuu 2023, s. 1–529. DOI: 10.1007/978-3-031-29642-0.