

Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistalenne (kustantajan versio).

Viite:

Hellman, T., & Frimodig, A. (2021). Päälle puettavan kokovartalon liikkeenkaappauslaitteiston ja ergonomia-analyysiohjelmiston valinta tutkimuskäyttöön. Teoksessa S. Päällysaho, P. Junell, M. Salminen-Tuomaala, S. Uusimäki, & S. Saarikoski (toim.), *Seinäjoen ammattikorkeakoulu osaamisen, kilpailukyvyn ja hyvinvoinnin kasvattajana* (s. 105–121). (Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 36). Seinäjoen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021121460385>

Artikkeli on valmisteltu osana ESR-rahoitteista Teknologian avulla työ tuottavaksi (TATTI) –hanketta, ja haluamme kiittää hankkeen ja tämän artikkelin rahoittamisesta Länsi-Suomen ELY-keskusta.



PÄÄLLE PUETTAVAN KOKO-VARTALON LIIKKEENKAAPPAUS-LAITTEISTON JA ERGONOMIA-ANALYYSIOHJELMISTON VALINTA TUTKIMUSKÄYTTÖÖN

Tapio Hellman, insinööri, laboratorioinsinööri
SeAMK Tekniikka

Aleksi Frimodig, insinööri (AMK), asiantuntija, TKI
SeAMK Tekniikka

1 JOHDANTO

TATTI – Teknologian Avulla Työ Tuottavaksi -hankkeen päätavoitteena on ergonomian parantaminen alueen yrityksissä, joissa tehdään fyysisesti vaativia ja kuormittavia työtehtäviä. Ergonomia on tärkeää työhyvinvoinnin, työssä jaksamisen, työturvallisuuden ja työn tuottavuuden kannalta.

Hankkeen puitteissa vierailaan kumppanuusyrityksissä talentamassa työntekijöiden liikesarjoja teknologiaa hyödyntäen. Liikkeenkaappausjärjestelmä on kuitenkin kiinteästi asennettava, eikä sitä voi käyttää yrityksissä. Lisäksi kamerajärjestelmän asentaminen ei jossakin kohteissa olisi edes mahdollista.

Tässä artikkelissa selvitetään vaihtoehtoja päälle puettavan liikkeenkaappausjärjestelmän ja ergonomia-analyysiohjelmiston valintaan, lähtökohtana on olemassa olevien laitteistojen ja ohjelmistojen käyttö, mutta myös uusia hankintoja suunnitellaan.

Artikkeli perustuu TATTI-projektiryhmän kokemuksiin, ohjelmisto- ja laitteistotoimittajien tarjouksiin ja kirjeenvaihtoon, ohjelmistojen ja laitteiden käyttökokemuksiin sekä tieteellisiin tutkimuksiin ja artikkeleihin. Sitä voidaan hyödyntää suuntaa antavana ohjeena liikkeenkaappausjärjestelmää hankittaessa. (Hoffrén-Mikkola 2021.)

2 LIIKKEENKAAPPAUSMENETELMÄT

2.1 Mitä liikkeenkaappaus on?

Liikkeenkaappaus eli Motion Capture, lyhennettynä MoCap, tarkoittaa hahmon liikkeiden tallennusta, yleensä digitaaliseen muotoon tietokoneella jälkikäsiteltäväksi eri tarkoituksiin. Hahmo voi olla esimerkiksi ihminen tai eläin. (Kitagawa & Windsor 2008, 1.)

Koko vartalon liikkeenkaappausta hyödynnetään muun muassa animaatiossa, urheilu- ja ergonomiatutkimuksessa, robotiikassa, ja videopeleissä (Bortolini ym. 2018, 82; Menolotto ym. 2020, 2).

2.2 Menetelmät

Laitteistomenetelmiä kokovartalon liikkeenkaappauksen toteuttamiseen ovat muun muassa inertiaan perustuva, sähkömekaaninen, optinen ja sähkömagneettinen (Chèze 2014, 17–24), sekä näitä yhdistelevä hybridipaikannus. Sillä pyritään eliminoimaan eri menetelmien puutteita tai heikkouksia (Corrales, Candelas & Torres 2008, 2). Optinen liikkeenkaappaus jakautuu lisäksi kahteen ryhmään, markkeripohjaiseen ja markkerittomaan menetelmään (Ceseracciu, Cobelli & Sawacha 2014, 1). Optiset markkerit voivat lisäksi olla aktiivisia tai passiivisia.

Muita varteenotettavia menetelmiä ovat venymä- tai taipumasensoreihin perustuvat järjestelmät, joita käytetään pääasiassa sor-

mien liikkeenkaappaukseen. Taipumasensoreiden kiinnityksessä vaatteisiin tai kehoon tarvitaan kehitystä, sillä ottaen huomioon optisten laitteistojen hinnan ja IMU-laitteistojen ryömintäongelman, on erikoista, etteivät mitkään kaupalliset kokovartalon liikkeenkaappausjärjestelmät perustu taipumasensoreihin, vaikka ne halpuutensa ja käytettävyytensä takia soveltuisivat tehtävään hyvin (Borghetti, Sardini & Serpelloni 2014, 1–2). Tämä artikkeli keskittyy passiivisiin, optisiin markkeripohjaisiin järjestelmiin sekä inertiapohjaisiin laitteisiin, ja siinä sivutaan markkerittomia eli kuvapohjaisia menetelmiä.

2.2.1 Markkeripohjainen optinen paikannus

Liikkeenkaappausjärjestelmät perustuvat usein optisiin, heijastaviin, vartaloon kiinnitettyihin passiivisiin markkereihin ja kameroiden käyttöön. Vähintään kaksi, tyypillisesti noin 4–32 infrapunakameraa kuvaa kaapattavaa tilavuutta noin 30–2 000 näytettä sekunnissa. (Kitagawa & Windsor 2008, 180). Samalla hetkellä tietystä sijainnista tiettyyn kuvaussuuntaan otettujen kuvien perusteella tietokonejärjestelmä laskee trianguloimalla markkereiden sijainnit. Saadun datan pohjalta lasketaan hahmon luurangon liike. Hierarkian päänivel on lantio. (Kitagawa & Windsor 2008, 8–10.)

SeAMKin käytössä on OptiTrack Flex 3 -paikannuslaitteisto, johon kuuluu 12 infrapunakameraa, joiden kuvataajuus on 100 kuvaa sekunnissa, sekä Motive-ohjelmisto. Kameran on kiinnitetty tietokoneeseen kahdella usb-keskittimellä. Optisia, passiivisiin markkereihin perustuvia paikannusjärjestelmiä ovat myös muun muassa Advanced Realtime Tracking, BTS Bioengineering, Motion Analysis Corporation, Nokov, Qualisys, Synertial ja Vicon. Näiden järjestelmien hinta on 20 000–30 000 euroa.

Optisen, passiivisen markkeripohjaisen liikkeenkaappausjärjestelmän käyttöönottoon kuuluu yleensä kameroiden asennus,

kaapelointi ja kytkentä, liikkeenkaappaustilan järjestäminen toimivaksi, tietokoneohjelmiston asennus, kameroiden asetus kalibrointisauvalla, lattiataason asetus, liikkeenkaappauspuvun pukeminen ja hahmon initialisointi, yleensä T-poseerauksen avulla. Infrapunakamerat kannattaa asentaa kiinteästi tilan yläreunaan, jossa ne eivät haittaa kulkemista ja pysyvät hyvin paikoillaan, eivätkä liiku voimakkaiden äänien, värähtelyjen tai muun mahdollisen liikkeen takia. Ne kannattaa suunnata siten, etteivät niiden infrapunaledit näy toisilleen. Tilan tulisi olla aurin-gonvalolta suojattu, siellä ei tulisi olla heijastavia objekteja tai infrapunalähteitä. (Chèze 2014, 30–33.)

Optisen järjestelmän etuina ovat hyvä tarkkuus ja korkea näytteenottotaajuus. Se ei ole myöskään altis ryöminnälle tai magneettikentille kuten IMU-sensorit. Niitä voidaan käyttää pitkiä aikoja yhteen menoon, koska järjestelmässä ei ole ladattavia akkuja. Kohteena olevat henkilöt eivät tarvitse häiritseviä kaapelointeja (Kitagawa & Windsor 2008, 10).

Haittapuolia ovat kamerajärjestelmän ja ohjelmiston korkeat kustannukset, pakko käyttää liikkeenkaappauspukua sekä suhteellisen korkeat vaatimukset liikkeenkaappaustilalle. Markke-reiden jäädessä kameroilta näkymättömiin liikkeenkaappausdataa ei myöskään saada. Reaaliaikakäytössä ongelmaan ei ole korjausta, mutta tallennuksen eli ”oton” voi korjata jälkeenpäin ohjelmistoon kuuluvalla editorilla. Jälkikäsitteily saattaa olla hyvinkin työlästä. Järjestelmän pystytys ja purku vaativat myös paljon aikaa ja vaivaa verrattuna IMU-laitteistoon. (Kitagawa & Windsor 2008, 10.)

2.2.2 IMU-pohjainen liikkeenkaappaus

Viime aikoina inertiapohjaisten IMU-sensoreiden (Inertial Measurement Unit) käyttö liikkeenkaappauksessa on lisääntynyt. Itse sensori on sormenpään kokoinen MEMS-mikropiiri

(micro-electro-mechanical system), johon on integroitu useita mikroskooppisen pieniä antureita, kuten kiihtyvyyssanturi ja gyroskooppi sekä yleensä myös magnetometri ja joskus myös paineanturi. Kiihtyvyyssanturi mittaa 3D-sijainnin muutoksen nopeutta, gyroskooppi 3D-asentoa ja magnetometri 3D-magneettikentän voimakkuutta (Chèze 2014, 22.) Tämän sensorifuusion avulla laite pystyy mittaamaan tarkasti sen sijainnin ja orientaation muutokset kolmiulotteisessa avaruudessa. Sijainnin muutosten perusteella pystytään arvioimaan laitteen sijainti, mutta paikannusvirhe kumuloituu ajan myötä. Usein IMU-yksikkö onkin integroitu jonkin absoluuttisen paikannusjärjestelmän kanssa (Corrales ym. 2008, 2).

IMU-pohjaiset järjestelmät toimitetaan joko valmiisiin pukuihin kiinnitettyinä tai erillisinä, tarranauhoilla vartaloon kiinnitettävänä sensorikokonaisuuksina. MoCap-pukuja valmistavat muun muassa Nansense, Rokoko (SmartSuit Pro) ja VR Electronics (Teslasuit). Teslasuit on voimapalautepuku, jossa IMU-sensorit ovat puvun ominaisuus, eli se on suunniteltu virtuaalitodellisuuskäyttöön. Koska liikkeenkaappaus tapahtuu useissa eri yrityksissä, ruumiinrakenteeltaan erityyppisillä henkilöillä, nopealla aikataululla ja osin vaativissa olosuhteissa, hankkeessa ei voida käyttää pukuja. Hankkeessa keskityttiin tarranauhakiinnitteisiin järjestelmiin.

Erillisiä kiinnitettäviä IMU-sensorisarjoja tarjoavat muun muassa seuraavat valmistajat: Cometa Systems (WaveTrack), IMeasureU, Life Performance Research (LPMOCAP), Motion Workshop (Shadow), Noraxon (Ultium Motion), Noitom (Perception Neuron), STT-Systems (STT-IWS), Vicon (BlueTrident) ja XSens (MVN Analyze). Näiden sarjojen hinta on 5 000–25 000 euroa.

IMU-järjestelmän etuna on, että sillä ei ole katvealueita, eikä suoraa näköyhteyttä sensoreihin tarvita. Heikkouksia ovat herkkyyys magneettisille häiriöille ja sijaintitiedon ryömintä. Häiriöitä voivat

aiheuttaa esimerkiksi sähkökeskus, -moottori tai -generaattori, tietokone tai monitori, televisio, jääkaappi, kuulokemikrofoni, kaiutin, kestopagneetti jne. (Noitom 2021b, 8.) Useiden eri älypuhelinsovellusten avulla voidaan tutkia ja selvittää mittausalueen magneettisia kenttiä, sillä myös älypuhelimissa on sisäänrakennettu IMU-sensori. IMU-järjestelmien heikkoudeksi voidaan ehkä lukea myös se, että sensoreiden akut kestävät tyypillisesti parisen tuntia (Corrales ym. 2008, 2).

2.2.3 Markkeriton optinen liikkeenkaappaus

Kuvaperustaiseen eli markkerittomaan optiseen liikkeenkaappaukseen on useita menetelmiä. Ne poikkeavat toisistaan muun muassa käytettävien kameroiden lukumäärässä, kaapatun datan esitysmuodossa ja käytetyissä algoritmeissa. (Mündermann, Corazza & Andriacchi 2006, 3–4.) Eräässä niistä käytetään syvyyskameraa, jonka avulla laite luo reaaliajassa digitaalisen luurangon kaapattavasta henkilöstä. Syvyyskamerajärjestelmä voi käyttää niin sanottua strukturoitua valoa eli kohteen pinnalle projisoidaan valokuvio, esimerkiksi ristikko, jota kuvataan toisesta suunnasta, jolloin valokuvion vääristymä paljastaa pinnan muodot. Syvyyskameran toimintaperiaate voi olla myös kolmiomittaukseen perustuva stereokamera, valonsäteen kulkuuikaan perustuva, LiDAR (Light Detection and Ranging) eli laserskannaus. Esimerkkejä infrapuna- ja syvyyskamerapohjaisista ratkaisuista ovat Microsoft Kinect Xbox 360 (2010–2015) ja Microsoft Kinect One (2013–2017) sekä Intel RealSense -sarjan sensorit. Kinect Xbox One sisältää RGB-kameran värikuvan luontiin, syvyyskameran sekä mikrofonin äänen tunnistukseen (Microsoft 2014, 6). Sen käyttöön tarvitaan myös Kinect for Windows SDK 2.0 -ohjelmistokehityspaketti, joka prosessoi Kinect-sensorin lähettämän datan luurankomalleiksi. Laite kykenee tunnistamaan kuvavirrasta useita ihmisiä samanaikaisesti (Microsoft 2014, 6). Laitteen hinta on 150–250 euroa.

Saatavilla on myös tavanomaisiin kameroihin perustuvia järjestelmiä, joiden älykkyys on rakennettu koneoppimiseen perustuviin ohjelmistoihin. Näistä mainittakoon Captury, Simi ja Theia Markerless.

2.2.4 Hybridiliikkeenkaappaus

Edellä mainittuja mittausmenetelmiä on yhdistetty erilaisiksi hybridiratkaisuiksi, joista kokovartalon liikkeenkaappaukseen on saatavilla ainakin optisen ja inertiapohjaisen mittauksen fuusio. Joihinkin on integroitu esimerkiksi HTC Vive Tracker 3.0 -sensori, joka vaatii toimiakseen vähintään kaksi liikkeenkaappausaluetta seiniin tai kattoon kiinnitettävää SteamVR 2.0 -tukiasemaa eli ”majakkaa”. Hintaluokka on 350 €. Esimerkkejä tällaisista hybridijärjestelmistä ovat Viveä hyödyntävät Synertial G4 Mocap Suit ja Xsens MVN Animate 2020 sekä Xsensin IMU-laitteiston ja Qualisysin optisen järjestelmän fuusio. Eri järjestelmien liikkeenkaappausdatan yhteen sulattamisessa käytetään Kalman-suodatusta, joka pyrkii vähentämään kohinan ja muiden epätarkkuuksien vaikutusta mittaustuloksiin arvioilla, jotka perustuvat aiemmin mitattuihin tuloksiin (Chèze 2014, 22).

2.3 Reaaliaikaista kokovartalon liikkeenkaappausdataa lukevat ohjelmistot

Pelimoottoriohjelmistoilla voidaan rakentaa räätälöityjä sovelluksia ergonomiatutkimukseen, sillä lähestulkoon jokainen liikkeenkaappausjärjestelmä sisältää tuen esimerkiksi Unity- ja Unreal-pelimoottoreille. Reaaliaikaista liikkeenkaappausdataa voidaan lukea verkon yli myös 3D-mallinnus ja -animointiohjelmistoihin, kuten Blender, MotionBuilder ja 3ds Max. Niiden avulla voidaan mallintaa sisältöä pelimoottoreilla tapahtuvaan sovelluskehitykseen. Projektissa tarvetta räätälöityyn ohjelmistoon ei ollut, mutta tulevaisuudessa ergonomiahankkeissa mahdollisuus voidaan ottaa tarkasteluun. (Noitom 2021a.)

2.4 Kokovartalon liikkeenkaappausdatan tallennus ja siirto

Liikkeenkaappauksen tuloksia voidaan käyttää ohjelmistosta riippuen joko reaaliajassa siten, että ohjelmisto osoittaa työasentojen tai liikesarjojen oikeellisuuden välittömästi, tai offline -käytössä siten, että testattavien henkilöiden liikesarjat tallennetaan tietokoneelle jossakin tietyssä tiedostomuodossa. Yleisimpiä liikkeenkaappauksessa käytettyjä tallennusformaatteja ovat muun muassa BVH, C3D ja FBX. (Kitagawa & Windsor 2008, 181–183.)

BVH-formaatti (BioVision Hierarchy) koostuu kahdesta osasta, joista ensimmäinen osa kuvaa luurangon hierarkiaa ja alkuasentoa ja toinen osa liikettä. (Meredith & Maddock 2001, 4). Noitom Axis Studion reaaliaikainen tiedonsiirtomuoto on BVH, jota voidaan lukea esimerkiksi Autodesk 3ds Max- ja MotionBuilder-ohjelmistoihin.

C3D-formaatti on yleistynyt käytännön standardiksi ergonomia- ja urheilulääketieteessä. Se on käytössä muun muassa C-Motionin Visual3D:ssä, Innsportin MotionMonitorissa ja STT Systemsin 3DMA-ohjelmistossa. Visual3D:n tutustumisversiolla se testattiin ja todettiin toimivaksi. Myös Siemens PLM:n Jack-ohjelmistoon sitä voidaan lukea, mutta sillä voitiin tuoda ainoastaan OptiTrackin markkeridata, jota ei pystytty asettamaan Jackin hahmolle.

FBX-formaattia (Kaydara FilmBox) käytetään laajasti animaatio-elokuvissa ja tietokonepelien suunnittelussa, ja sen avulla voidaan itse hahmoanimaation lisäksi tallentaa luurangon sisällä kulkeva animaatiohahmo. Yleisimmät pelimoottoriohjelmistot Unity ja Unreal, sekä animaatio-ohjelmistot, kuten Blender ja Autodeskin 3ds Max ja MotionBuilder hyödyntävät sitä.

2.5 Ergonomiatutkimusohjelmistot

Jack-simulointiohjelmisto kehitettiin Pennsylvanian yliopistossa USA:ssa 1980-luvun puolivälissä ergonomian arviointityökaluksi ja virtuaali-ihmisen prototyypijärjestelmäksi. Sitä on käytetty muun muassa Yhdysvaltain laivastossa ja armeijassa sotilassimulointiin sekä ilmavoimissa huoltotehtävien simulointiin. Vuonna 1996 ohjelmisto yhtiöitettiin, ja Siemens PLM myy sitä nyt ergonomia- ja ihmessimulointityökalupaketina nimeltä Tecnomatix Jack. (Blanchonette 2010, 3.)

Jack tukee vain vanhempaa Kinect Xbox 360 -mallia, joka ei ole niin kehittynyt kuin Xbox One -malli. Jack-ohjelmistossa on lisäksi joitakin ohjelmistovirheitä, jotka joskus johtavat ohjelmiston kaatumiseen. Käyttöliittymä on vanhentunut, eikä ohjelmaan ole saatavissa juuri tukea. Siemens PLM suositteleeekin Tecnomatix PS Humanin käyttöä. (Raschke 2021.) Se sisältää Jackin ihmis-tietokannan, analyysityökalut ja muun toiminnallisuuden. Se on suunnattu teollisuuden, erityisesti kokoonpano- ja robotisoitujen tuotantolinjojen optimointiin.

C-Motion Visual3D, Innsport MotionMonitor ja STT-Systems 3DMA ovat urheilulääketieteeseen sekä ergonomiatutkimukseen tarkoitettuja sovelluksia. Kaikki kolme ohjelmistoa tukevat reaaliaikaista liikkeenkaappausta suoraan OptiTrack-järjestelmästä, joten ne valittiin tarkempaan vertailuun. Lisäksi käytössä oli Siemens PLM Jack sekä Siemens PLM Tecnomatix Process Simulate Human, joiden soveltuvuutta myös arvioitiin.

K2RULA ja Ergosentinel ovat VR3Labin kehittämiä ohjelmistoja, jotka hyödyntävät Microsoft Kinectin liikkeenkaappausta ergonomiamittauksiin. VR3Lab on vuonna 1999 perustettu Barin korkeakoulun tutkimusyksikkö, joka kehittää ja testaa työkaluja ja työtapoja suunnittelu- ja terveysalalle. (VR3LAB, [viitattu 26.8.2021].) K2RULA-ohjelma tarjoaa sekä valvontajärjestelmän

työasentojen aiheuttamien ergonomiariskien arviointiin että harjoittelualustan testattavalle henkilölle parempaan ergonomiaan. (VR3LAB, [viitattu 30.8.2021].)

Ergosentinel on saman organisaation tekemä, K2RULAN kehittyneempi versio. Sillä voidaan myös tehdä reaaliaikainen asennon arviointi. Se antaa varoituksia, jos kuvattavan henkilön asento on ergonomialtaan huono, mutta myös harjoittelualustan hyvän ergonomian saavuttamiseksi erilaisiin työtehtäviin. (Manghisi ym. 2020, 101.) Ergosentinel tekee RULA (Rapid Upper Limb Assessment) -ergonomia-analyysin XEF-tallenteen työasunnoista. Se tekee myös reaaliaikaisen RULA-analyysin Kinect-kuvavirrasta, jos sitä ei etukäteen tallenneta Kinect Studiossa.

Ergonomiatutkimusta on mahdollista ostaa myös pilvipalveluna (SaaS = Software as a Service). Esimerkiksi Xsens-liikkeenkaappausjärjestelmän, ViveLab Ergon tai Nawo Liven avulla voidaan luoda kattavia ergonomiaraportteja, videoita ja analyysejä liikesarjoista. (ViveLab 2021; Nawo 2021.) Hintaluokka pilvipalveluille on 500 euroa kuukaudessa tai 4 000 euroa vuodessa. Nawo Live toimii Xsensin lisäksi myös Perception Neuron -liikkeenkaappaus-järjestelmän kanssa.

3 TULOKSET

3.1 Laitteistot

Käytössä olevaa OptiTrack Flex 3 -järjestelmää tullaan käyttämään tutkimuksissa, mutta vain laboratorioympäristössä. Liikkeenkaappauslaboratorioon voidaan rakentaa työympäristöstä fyysinen kopio, jossa liikesarjoja voidaan tallentaa tietokoneelle analysointia varten.

Projektille hankittiin Noitom Perception Neuron -laitteisto sekä Axis Studio -ohjelmisto, jota voidaan kuljettua mukana ja pukea

nopeasti päälle. Sitä voidaan käyttää kumppaniyrityksissä syksyllä 2021 aloitetuissa mittauksissa. Saadut kokemukset ovat lupaavia.

Jos tiedonkeruuta tehdään ympäristössä, jossa on häiritseviä magneettikenttiä, voidaan käyttää apuna Microsoft Kinect-sensoria. Hankkeessa testattiin Kinect Xbox 360- ja uudempaa Kinect Xbox One -versiota. Kumpikin laite toimii tietokoneen kanssa usb-liitännän kautta Kinect Studion avulla. Liike tallentuu XEF-tiedostoon, jonka voi avata Ergosentinel-työkalulla analysointia varten. Kinect Studioissa voidaan ennen tallennusta valita käytettävät sensorit. Ohjelma tunnistaa ihmisen kuvavirrasta automaattisesti ja piirtää näytölle sen päälle kamerakuvaan luurangon.

3.2 Ohjelmistot

Liikkeenkaappausdatan analysointiin valittiin Siemens PLM:n Tecnomatix-tuotelinjaan kuuluva Process Simulate 16.1. Se sisältää Jack-ohjelmistosta periytyneen Human-kokonaisuuden, eli ihmistietokannan, vaadittavat RULA- ja OWAS-ergonomia-analyysityökalut sekä uusia lisäominaisuuksia, joita Jackissä ei ollut, kuten virtuaalitodellisuustuki. Koska Process Simulate-ohjelmistoon oli oppilaitoksella lisenssi, se otettiin käyttöön Jackin sijaan.

Hankkeessa testattiin ohjelman K2RULALite-ilmaisversiota. Siinä on mahdollisuus reaaliaikaiseen sekä offline-seurantaan eli XEF-tiedostomuodossa olevien tallenteiden tarkasteluun. K2RULA tekee reaaliaikaisesti RULA-analyysiä Kinectin kuvavirrasta. Analyysia voidaan tulkita kamerakuvassa näkyvästä luurankomallista, jossa ergonomian kannalta huolestuttavat raajat on merkitty punaisella värillä. Se varoittaa niistä myös äänimerkein. K2RULAssa pitää valita, kumpi kehon puoli halutaan analyysiin reaaliaikaista analyysia tehdessä. Kuvavirrasta voidaan myös

ottaa hetkellinen analyysi kuvakaappauksen perusteella. Aikaisempia tallenteita voidaan tarkastella avaamalla XEF-tiedosto ohjelmaan. Tallenne voidaan pysäyttää ja analysoida pysäytyskuva tai valita ajanjakso, josta tehdään analyysi.

3.3 Jatkokehitys

Mahdollisten tulevien ergonomiatutkimusprojektien yhteydessä on hyvä harkita seuraavia asioita:

1. Optisen paikannusjärjestelmän ohjelmistopäivitys.
2. Tutkimuslaboratorion muuttaminen omaksi tilakseen, joka on omistettu ergonomia-, lihasvoima-, askellus- ym. tutkimukselle, sillä liikkeenkaappaukselle se ei sovellu.
3. IMU-järjestelmän laajennus käsien ja sormien paikannukseen, minkä kustannus on noin 1 500 euroa.
4. Ergonomia- ja urheilulääketieteen tutkimukseen keskitetyn ohjelmiston, kuten Visual3D, hankinta.
5. Mahdollinen SaaS-palvelujen, kuten Vivelab Ergo tai Nawo Live, käyttö mahdollistaisi korkealaatuiset ergonomia-analyyysiraportit ja tutkittavien työympäristöjen helpomman mallintamisen.
6. Räätelöityjen ergonomia-analyyysiohjelmistojen suunnittelu pelimoottoriohjelmistoilla, kuten Unity ja Unreal.
7. Koska Microsoft Kinect -sensoreita ei enää valmisteta, halpaa ergonomiatutkimusta varten voi harkita Intel RealSense -syvyyskameroiden hankintaa.

4 POHDINTA

Tulevaisuudessa tekoälypohjaiset, markkerittomat liikkeenkaappausjärjestelmät tulevat mahdollisesti korvaamaan osan markkeripohjaisista ratkaisuista, mutta sensorifuusioon perustuvat laitteistot jäänevät elämään uuden tyyppisillä sensoreilla varustettuina. Lähiaikoina on nähtävissä lisää älypuhelimien kanssa toimivia urheiluun ja liikuntaan suunnattuja edullisia tuotteita, kuten esimerkiksi WearNotch.

Useat IMU-sensorivalmistajat myyvät myös rakennussarjoja, joista voi räätälöidä oman sovelluksen. IMU-mikropiirit itsessään maksavat vain muutamia euroja ja ohjelmistokehitys on ratkaisevassa asemassa järjestelmien kehityksessä, joten uusia toimijoita on alalle odotettavissa sitä mukaa kun ergonomiatutkimus ja urheilulääketiede vaativat lisää ominaisuuksia ja kilpailua. Kiinalaiset toimijat, kuten Noitom ja Nokov, tulevat vaikuttamaan markkinoihin ratkaisevasti.

Koska optinen laitteisto tarjoaa tällä hetkellä parhaan tuen IMU:lle ryöminän vaikutuksen minimoinnissa, voidaan olettaa, että tulevaisuudessa nähdään IMU-laitteita, joissa on sisäänrakennettu järjestelmä, jonka avulla erilliset IMU-sensorit voivat mitata sijaintinsa tarkasti ja luotettavasti. Järjestelmä voi perustua esimerkiksi IR-kameraan, laseriin, tutkaan, ultraääneen, tai UWB-, Bluetooth-, UHF RFID- tai Wi-Fi-pohjaiseen sisätilapaikannusratkaisuun. (Kunhoth ym. 2020, 1.)

Esimerkiksi virtuaalitodellisuudessa käytettävät VR-lasit toimivat nykyään niin sanotulla inside-out-paikannuksella, joka perustuu usean kameran tuottamaan kuvainformaatioon laitteen 3D-ympäristöstä. Teknologia on nimeltään SLAM eli Simultaneous Localization and Mapping. Sen avulla käyttäjän silmien tarkka sijainti ja katselusuunta saadaan riittävän tarkaksi, jotta laite toimii yhtä hyvin kuin ulkoisen paikannusjärjestelmän,

kuten SteamVR:n avulla (niin sanottu outside-in-paikannus). Ehkä tuleva IMU-sensoreiden sukupolvi perustuukin MEMS-sensorifuusioon, jonka yhtenä elementtinä on mikroskooppinen kamerajärjestelmä.

Myös koneoppiminen ja tekoäly tulevat näyttelymään merkittävää roolia liikkeenkaappauksessa, ja niihin perustuvia ohjelmistoja onkin jo tarjolla. Kamerakalustoksi niissä riittää usein jopa tavallinen web-kamera, eikä markkereita tai järjestelmän konfigurointia tarvita. Ne tulevat kuitenkin keskittymään viihdekäyttöön. Näistä esimerkkejä ovat kuukausilaskutusperusteiset DeepMotion ja RADiCAL. Koska ne toimivat vain yhdellä kameralla, liikkeenkaappauksen laatu ei voi olla samaa luokkaa, kuin monikamerajärjestelmällä, jossa kohdetta kuvataan useasta eri suunnasta.

Metria Innovation on kehittänyt Moiré-ilmiöön perustuvan markkeripaikannuksen nimeltä Moiré Phase Tracking (MPT). Jokainen markkeri antaa tarkat mittaustiedot sijainnille ja suunnalle. Jokaisella markkerilla on yksilöllinen tunnus, ja 256 markkeria voidaan tunnistaa ja seurata. MoCap-ohjelmisto muuttaa Moiré-kuvioiden liikkeen kvantifioitaviksi sijainti- ja suuntatiedoiksi, joita voidaan käyttää ergonomiohjelmissa.

Venymäsensoriteknologia saattaa olla tulevaisuudessa vartenotettava teknologia kokovartalon liikkeenkaappaukseen. Esimerkiksi Bend Labs valmistaa joustavia, raajoihin kiinnitettäviä yhden ja kahden akselin taipumaa mittaavia venymäsensoreita, mutta valmista kokovartalon sensorisarjaa ei vielä ole tarjolla.

Ergonomiatutkimuksen hankkiminen pilvipalveluna on eräs vartenotettava keino lyhytaikaisiin tutkimuksiin, mutta haittapuolena on se, että tarjolla olevat pilvipalvelut tukevat vain XSens-liikkeenkaappauslaitteistoa, jonka vuokraaminenkin on kallista, ja investointina erittäin kallis.

KIITOKSET

Artikkeli on valmisteltu osana Euroopan Sosiaalirahaston rahoittamaa TATTI-hanketta. Haluamme kiittää hankkeen ja artikkelin rahoittamisesta Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusta.

LÄHTEET

Blanchonette, P. 2010. Jack Human Modelling Tool: A review. [Verkkojulkaisu]. Victoria: Air Operations Division, Defence Science and Technology Organisation. [Viitattu 24.8.2021]. Saatavana: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA518132.pdf>

Borghetti, M., Sardini, E. & Serpelloni, M. 2014. Evaluation of bend sensors for limb motion monitoring. IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2014, 1 – 5. doi: 10.1109/MeMeA.2014.6860127

Bortolini, M., Gamberi, M., Pilati, F. & Regattieri, A. 2018. Automatic assessment of the ergonomic risk for manual manufacturing and assembly activities through optical motion capture. Procedia CIRP 72, 81 – 86. doi: 10.1016/j.procir.2018.03.198

Ceseracciu, E., Cobelli, C. & Sawacha, Z. 2014. Comparison of markerless and marker-based motion capture technologies through simultaneous data collection during gait: Proof of concept. PloS One Mar 4;9(3):e87640. doi: 10.1371/journal.pone.0087640

Chèze, L. 2014. Kinematic analysis of human movement. Hoboken, NJ: Wiley.

Corrales, J. A., Candelas, F. A., Torres F. 2008. Hybrid tracking of human operators using IMU/UWB data fusion by a Kalman filter. 3rd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), 193–200, doi: 10.1145/1349822.1349848

Hoffrén-Mikkola, M. 2021. Using technology to make work productive and safe. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 25.8.2021]. Saatavana: <https://www.interregeurope.eu/intencive/news/news-article/12410/using-technology-to-make-work-productive-and-safe/>

Kitagawa, M. & Windsor, B. 2008. MoCap for artists: Workflow and techniques for motion capture. Amsterdam: Elsevier.

Kunhoth, J., Karkar, A., Al-Maadeed, S. & Al-Ali, A. 2020. Indoor positioning and wayfinding systems: a survey. *Human-centric computing and information sciences* 10, 1–4. doi: 10.1186/s13673-020-00222-0

Manghisi, V. M., Uva, A. E., Fiorentino, M., Gattullo, M., Boccaccio, A. & Evangelista, A. 2020. Automatic ergonomic postural risk monitoring on the shopfloor: The ergosentinel tool. *Procedia manufacturing* 42, 97–103. doi: 10.1016/j.promfg.2020.02.091

Menolotto, M., Komaris, S. D., Tedesco, S. & O'Flynn, B. 2020. Motion capture technology in industrial applications: A systematic review. *Sensors* 20 (19), 5687. doi: 10.3390/s20195687

Meredith, M. & Maddock, S. 2001. Motion capture file formats explained. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 8.9.2021]. Saatavana: https://www.researchgate.net/publication/242308869_Motion_Capture_File_Formats_Explained

Microsoft Corporation. 2014. Human Interface Guidelines v2.0. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 30.8.2021]. Saatavana: <http://download.microsoft.com/download/6/7/6/676611b4-1982-47a4-a42e-4cf84e1095a8/kinecthig.2.0.pdf>

Mündermann, L., Corazza, S., Andriacchi, T. 2006. The evolution of methods for the capture of human movement leading to markerless motion capture for biomechanical applications. *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 3 (6). doi: 10.1186/1743-0003-3-6

Nawo. 2021. Ergo simulation software. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.9.2021]. Saatavana: <https://nawo-solution.com/ergonomic-analysis-solution/>

Noitom. 2021a. Plugins and SDK. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.8.2021]. Saatavana: <https://neuronmocap.com/downloads>

Noitom. 2021b. Axis studio user guide ver 1.3.10119.302. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 8.9.2021]. Saatavana: <https://neuronmocap.com/sites/default/files/Axis%20Studio%20User%20Guide-D7.pdf>

Raschke, U. 2021. Siemens PLM. Henkilökohtainen tiedonanto 14.4.2021.

Vivelab. 2021. Vivelab ergonomic software. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.8.2021]. Saatavana: <https://www.vivelab.cloud/>

VR3LAB. Ei päiväystä. About us. [Verkkosivu]. [Viitattu 26.8.2021]. Saatavana: <https://www.dimeg.poliba.it/vr3lab/index.php/en/about-us>

VR3LAB. Ei päiväystä. K2RULA: Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.8.2021]. Saatavana: <https://www.dimeg.poliba.it/vr3lab/index.php/en/research/137-real-time-rula-assessment-using-kinect-v2-sensor>