

Tekoälyn hyödyntäminen yhteistyörobottien sensoreissa

TURUN YLIOPISTO
Tietotekniikan laitos
TkK-tutkielma
Tietotekniikka
Huhtikuu 2025
Leo Varjonen

TURUN YLIOPISTO
Tietotekniikan laitos

LEO VARJONEN: Tekoälyn hyödyntäminen yhteistyörobottien sensoreissa

TkK-tutkielma, 22 s.
Tietotekniikka
Huhtikuu 2025

Tekoälyn rooli teollisuudessa kasvaa jatkuvasti, ja erityisesti yhteistyörobottien (cobottien) sensoriteknikan kehittäminen on todella tärkeää. Sen kehittäminen tekee yhteistyöstä ihmisten kanssa mahdollisimman sujuvaa ja turvallista. Tässä tutkielmassa tarkastellaan tekoälyn hyödyntämistä yhteistyörobottien sensoriteknikassa ja sen vaikutuksia robotin kykyyn havaita ympäristöään ja toimia sen tiedon perusteella. Sensoreiden avulla kerätty data mahdollistaa robottien ympäristön havainnoinnin ja turvallisen sekä tehokkaan toiminnan. Tekoälyalgoritmit, kuten koneoppiminen ja neuroverkot, voivat analysoida sensoreista tulevaa dataa reaaliajassa ja parantaa robottien dynaamisuutta ja turvallisuutta monimutkaisissa ja vaihtuvissa työympäristöissä. Lopuksi analysoidaan tekoälypohjaisten ratkaisujen tulevaisuudennäkymiä ja haasteita yhteistyörobottien kehityksessä, ja sitä kuinka kannattavaa tekoälyä on hyödyntää robotiikan sensoreissa.

Tulevaisuudessa tekoälypohjaiset sensoriratkaisut tarjoavat suuria mahdollisuuksia, mutta se ei tarkoita sitä, että tekoälyn hyödyntäminen olisi aina kannattavaa. Datan laatu ja määrä ovat ratkaisevia sekä tekoälyn päätösten luotettavuus on varmistettava.

Asiasanat: tekoäly, yhteistyörobotit, sensorit, robotiikka

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yhteistyörobotit	3
2.1	Yhteistyörobottien tarkoitus	4
2.2	Tekoälyn hyödyntäminen yhteistyöroboteissa	6
3	Sensorit	10
3.1	Sensoryypit	10
3.2	Sensoridatan käsittely	12
3.3	Sensoridatan käsittelyn historiaa	13
3.4	Sensoridatan fuusio	14
4	Tekoäly	17
4.1	Tekoälyn hyödyntämismahdollisuudet yhteistyöroboteissa	17
4.2	Missä kaikissa sensoreissa tekoäly on tarpeellinen?	18
4.3	Tekoälytyyppien hyödyntäminen	19
5	Yhteenveto	20
5.1	Lopputulokset	20
5.2	Pohdinta	21
	Lähdeluettelo	23

1 Johdanto

Yhteistyörobottien (engl. cobot/collaborative robot) merkitys teollisuudessa on kasvanut merkittävästi, ja niiden kehittäminen älykkäämmiksi on tärkeää tehokkaan ja turvallisen työympäristön luomiseksi robottien läheisyydessä. Tämän takia yhteistyörobotit, jotka mahdollistavat ihmisten työskentelyn turvallisesti ja tehokkaasti robottien läheisyydessä, ovat alkaneet nousemaan suosioon. Teollisuusympäristöt muuttuvat jatkuvasti, ja yhteistyörobottien on kyettävä mukautumaan dynaamisiin olosuhteisiin. Sensoritekniikan kehitys mahdollistaa yhteistyörobottien ympäristön havainnoinnin, ja tekoäly voi analysoida tätä dataa reaaliaikaisesti, mikä parantaa päätöksentekoa ja reagointikykyä. Tekoäly pystyy myös oppimaan ja kehittymään, mikä tekee työympäristöstä vielä turvallisempaa sekä tehokkaampaa.

Yhteistyörobottien sensorit, kuten voima- ja momenttitunnistimet, kamerat ja LIDAR-sensorit, keräävät valtavasti tietoa, jota voi hyödyntää yhteistyörobotin toiminnassa. Perinteiset ohjelmointimenetelmät eivät aina kykene hyödyntämään tätä dataa tehokkaasti, mutta tekoäly mahdollistaa monimutkaisempien analyysien suorittamisen. Koneoppiminen ja syväoppiminen voivat parantaa konenäköjärjestelmien tarkkuutta ja ennakoida työympäristön muutoksia, jolloin robotit voivat toimia turvallisemmin ja joustavammin.

Tässä kirjallisuustutkielmassa käytettiin lähteiden etsimiseen Volteria, IEEE:tä sekä Google Scholaria, joista löytyi hakulauseketta `("AI"OR "Artificial Intelligence"OR "koneoppiminen"OR "deep learning") AND ("cobots"OR "cobot"OR`

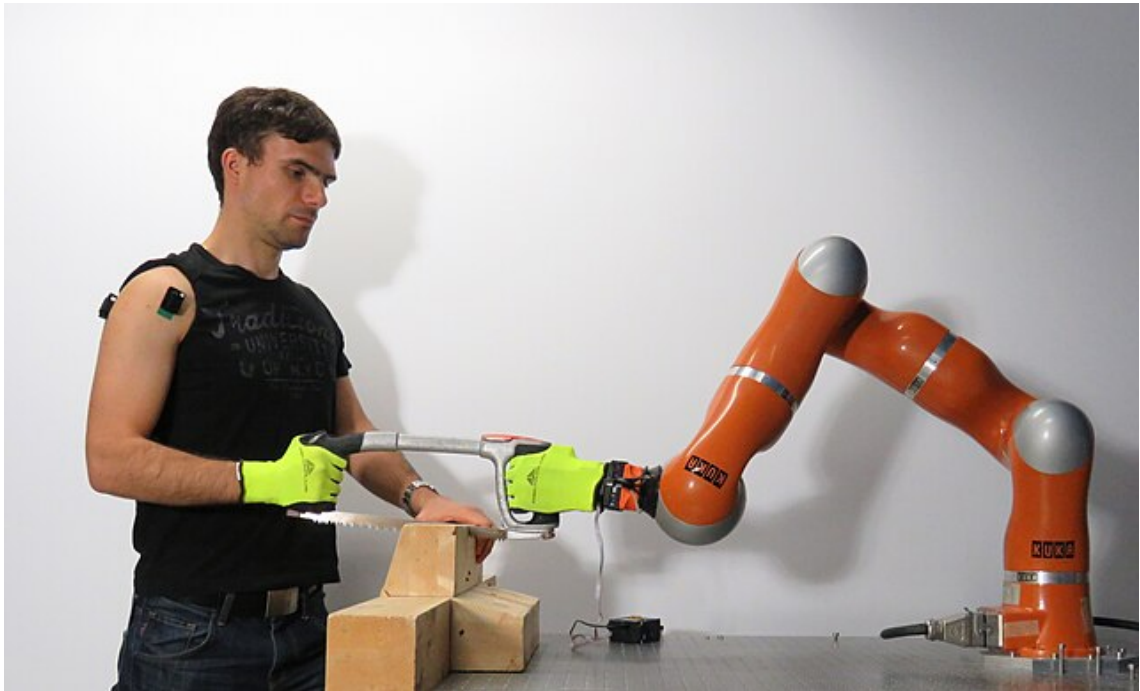
"collaborative robots"OR "robotit"OR "robotiikka") AND ("sensors"OR "sensor technology"OR "sensorit"OR "robottien anturit"OR "anturit") AND ("AI applications"OR "AI integration"OR "tekoälyjärjestelmät") AND ("data analysis"OR "sensor data processing"OR "sensor fusion"OR "datan käsittely")"hyödyntämällä satoja artikkeleita. Näistä artikkeleista suurin osa karsittiin pois otsikkojen perusteella, sekä vielä jäljelle jäävistä suurin osa pois tiivistelmän perusteella. Tämän jälkeen lumipallomenetelmää hyödyntämällä lähteiksi jäi 13 lähdettä. Tutkimuskysymyksiksi valitsimme seuraavat:

1. Miten tekoälyn hyödyntäminen parantaa yhteistyörobottien sensorien tarkkuutta ja päätöksentekokykyä?
2. Miten tekoälypohjaiset sensoriratkaisut vaikuttavat yhteistyörobottien turvallisuuteen ja ihmisen kanssa työskentelyyn?

Turvallisuus on keskeinen tekijä yhteistyöroboteissa. Tekoäly voi auttaa robottia tunnistamaan ihmisten liikkeitä ja erottamaan ne työkaluista, mikä vähentää vahinkoriskiä. Algoritmit voivat myös optimoida robottien liikeratoja ja nopeuksia minimoiden törmäysvaarat. Joustavuus lisääntyy tekoälyn avulla, sillä robotit voivat mukautua uusiin työtehtäviin ilman uudelleenohjelmointia, mikä tekee niistä hyödyllisiä vaihtelevissa tuotantoympäristöissä. Tämä tutkielma tarkastelee tekoälyn hyödyntämistä yhteistyörobottien sensoreissa, sen vaikutuksia päätöksentekoon ja toimintakykyyn sekä tulevaisuuden mahdollisuuksia ja haasteita.

2 Yhteistyörobotit

Yhteistyörobotit (cobotit) ovat moderneja robotteja, jotka on suunniteltu toimimaan turvallisesti ja sujuvasti yhdessä ihmisten kanssa samassa työtilassa. Toisin kuin perinteiset teollisuusrobotit, jotka yleensä eristetään turva-aitojen taakse, yhteistyörobotit on varustettu edistyneillä sensoreilla ja turvallisuusominaisuuksilla, jotka mahdollistavat vuorovaikutuksen ihmisten kanssa ilman fyysistä erottelua [1]. Yhteistyörobotin ja ihmisen välinen vuorovaikutus voi olla hyvin monimutkaista, tai yksinkertaisesti työn jakamista ihmisen ja yhteistyörobotin kesken (ks. kuva 2.1). Nämä turvallisuusominaisuudet voivat vaihdella robotin nopeutta säätelevistä laseriverkoista kamerateknologioihin, joilla tunnistetaan ihmisen sijainti ja väistetään optisen datan perusteella. Esimerkiksi Moor ym. [2] esittelevät yhteistyörobottipohjaisen laadunvalvontajärjestelmän, joka hyödyntää erilaisia kiinnittimiä ja kone näköä tuotteiden tarkastuksessa. Näiden robottien rooli teollisuudessa on yhä keskeisempi, sillä ne tarjoavat monipuolisia ratkaisuja työn tuottavuuden ja tehokkuuden parantamiseen. Yhteistyörobottien kehitys on ollut osa laajempaa automaation ja robotiikan edistystä, jolla pyritään tekemään teollisesta tuotannosta mahdollisimman dynaamista. Esimerkkinä tästä dynaamisuuden kehittymisestä ovat modulaariset autotehtaat, jotka valmistavat yksilöllistettyjä autoja asiakkaan tekemän tilauksen perusteella.

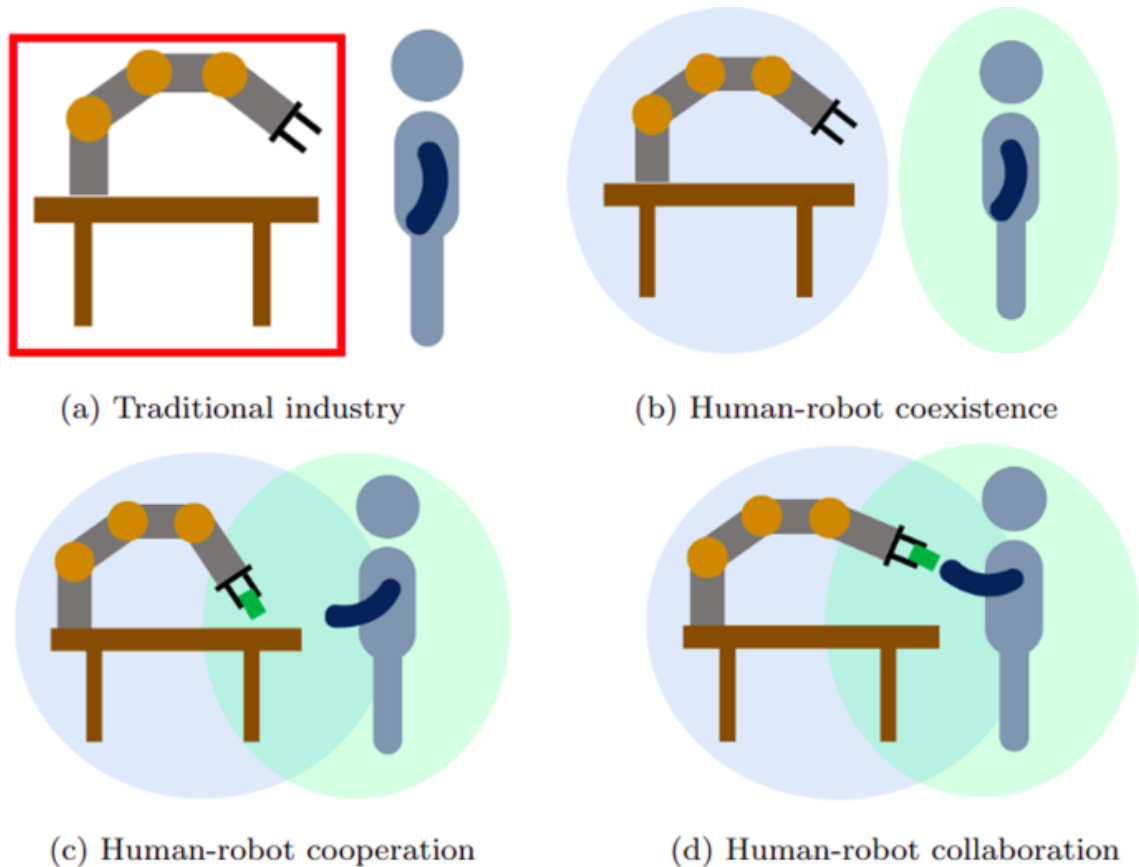


Kuva 2.1: Ihmisen ja yhteistyörobotin välinen vuorovaikutus voi olla saman asian tekemistä. Lähde: Wikimedia commons. Lisenssi: Creative Commons (CC BY-SA 4.0)

2.1 Yhteistyörobottien tarkoitus

Yhteistyörobottien ensisijainen tarkoitus on tehostaa työntekoa mahdollistamalla sujuva yhteistyö ihmisten ja robottien välillä. Ne on suunniteltu toimimaan rinnakkain ihmisten kanssa, suorittaen toistuvia, fyysisesti vaativia tai tarkkuutta edellyttäviä tehtäviä, mikä keventää työntekijöiden kuormitusta ja vähentää inhimillisten virheiden riskiä [3]. Tämä mahdollistaa työn tehokkuuden ja laadun parantamisen, yhteistyörobottien hoitaessa rutiinitehtäviä. Tällöin ihmiset voivat keskittyä enemmän luovuuteen, päätöksentekoon sekä muihin inhimillisiä ominaisuuksia vaativiin tehtäviin. Esimerkiksi teollisuudessa yhteistyörobotit voivat suorittaa tarkkuutta vaativia tehtäviä, kuten materiaalinkäsittelyä ja laadunvalvontaa [2]. Yhteistyörobottien ja

ihmisten välinen vuorovaikutus eroaa robottien ja ihmisten vuorovaikutuksesta niin, että ihmiset voivat työskennellä yhteistyörobottien läheisyydessä tai niiden kanssa, kun taas robotit pitää eristää esimerkiksi aidoilla turvallisuus syistä (ks. kuva 2.2).



Kuva 2.2: Ihmisen ja robotin väliset vuorovaikutus suhteet voivat olla eri tasoisia robotin kyvyistä riippuen. Lähde: Springer. Lisenssi: Creative commons (CC BY 4.0)

Yhteistyörobottien käyttöönotto eri aloilla perustuu niiden kykyyn mukautua joustavasti erilaisiin työympäristöihin. Valmistusteollisuudessa ne parantavat tuotavuutta ja mahdollistavat työntekijöiden keskittymisen vaativampiin tehtäviin [4]. Terveystieteissä yhteistyörobotit voivat auttaa esimerkiksi potilaiden siirtämisessä ja tarkkuutta vaativissa kirurgisissa toimenpiteissä [5]. Tekoälyavusteiset rat-

kaisut, kuten koneoppiminen ja sensorifuusio, lisäävät robottien kykyä ymmärtää ympäristöään ja tehdä päätöksiä reaaliajassa, mikä tekee niistä entistä turvallisempia ja tehokkaampia [6].

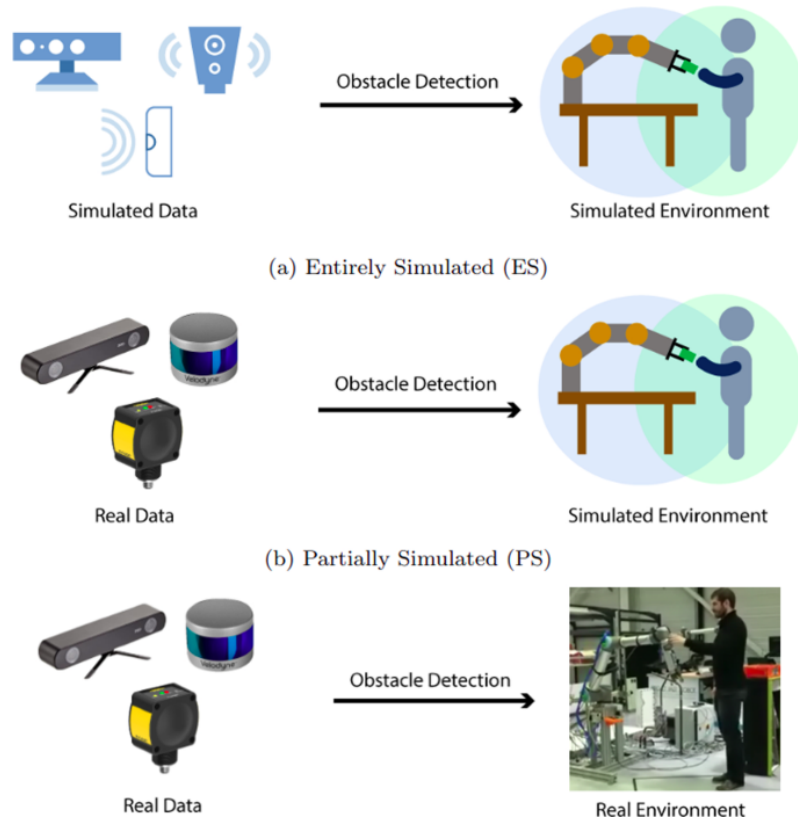
Turvallisuus on keskeinen tekijä ihmisen ja yhteistyörobotin välisessä yhteistyössä, ja siihen liittyy jatkuvaa kehitystä. Turvatoimet eli esimerkiksi voiman ja nopeuden rajoittamisen sekä törmäysten tunnistamisen säätäminen perustuu moderneihin ISO-standardeihin. [1]. Yhteistyörobottien turvallisuuden varmistamiseksi käytetään myös ulkoisia antureita ihmisen läsnäolon ja liikkeiden havaitsemiseen [7]. Lisäksi neurotieteeseen perustuvat hyperskannausmenetelmät voivat tarjota lisätietoa ihmisen ja robotin välisestä yhteistyöstä ja parantaa robottien kykyä mukautua ihmisen käyttäytymiseen [8].

2.2 Tekoälyn hyödyntäminen yhteistyöroboteissa

Tekoäly on keskeinen tekijä yhteistyörobottien toiminnassa, erityisesti niiden sensoritekniikan ja päätöksenteon parantamisessa. Sensorien avulla kerätty valtava datamäärä analysoidaan tekoälyalgoritmeilla, kuten koneoppimisella ja neuroverkoilla, mikä parantaa yhteistyörobottien kykyä reagoida ympäristön muutoksiin reaaliajassa [9]. Tämä tekee yhteistyöroboteista entistä joustavampia ja turvallisempia monimutkaisissa työympäristöissä, joissa ne joutuvat jatkuvasti mukautumaan uusiin olosuhteisiin ja ihmisten liikkeisiin. Esimerkiksi tekoälyllä ohjatut yhteistyörobotit voivat käyttää konenäköjärjestelmiä esineiden ja ihmisten tarkkaan tunnistamiseen, mikä lisää niiden käyttökelpoisuutta erilaisissa teollisissa sovelluksissa [2]. Toisaalta, tekoälyn hyödyntäminen suurilla datamäärillä voi olla laitteistolle erittäin raskasta, mikä rajoittaa sen käyttömahdollisuuksia tietyissä tilanteissa.

Tekoäly mahdollistaa myös yhteistyörobottien tarkemman ympäristön havainnoinnin ja päätöksenteon, sillä tekoälyalgoritmit pystyvät käsittelemään ja oppimaan kerätystä sensoridatasta. Oppiminen tapahtuu usein ensin täysin simuloituna, josta

edetään vaiheittain oikean datan käyttämiseen (ks. kuva 2.3). Esimerkiksi konenäköön perustuvat järjestelmät pystyvät tunnistamaan esineitä ja liikkeitä, minkä ansiosta yhteistyörobotit voivat suorittaa monimutkaisempia tehtäviä, kuten esineiden lajittelua tai kokoonpanoa [1]. Lisäksi tekoälyä hyödynnetään yhteistyörobottien enakoivassa huollossa, jossa analysoidaan yhteistyörobotin suorituskyvystä kerättyä dataa ja havaitaan mahdolliset huoltotarpeet ennen varsinaisten vikojen syntymistä [9]. Tekoälyn avulla yhteistyörobotit eivät ole pelkästään tavallisia teollisuusrobotteja, vaan ne voivat myös oppia ja optimoida suorituskykyään ajan myötä, mikä tekee niistä entistä arvokkaampia työkaluja tulevaisuuden teollisuudessa [4].



Kuva 2.3: Yhteistyörobotin opetus tekoälyn avulla tapahtuu vaiheissa. Ensin opetetaan täysin simuloidussa ympäristössä. Sen jälkeen simuloidaan oikealla datalla saatuja lopputuloksia. Lopuksi testataan oikealla datalla fyysisellä koneistolla. Yhteistyörobotin opetus tehdään vaiheittain turvallisuus syistä. Lähde: Springer. Licenssi: Creative commons (CC BY 4.0)

Yhteistyörobottien turvallisuuden ja tehokkuuden parantamiseksi tekoälyä käytetään myös ihmisen ja yhteistyörobotin välisen vuorovaikutuksen optimoimiseen. Esimerkiksi hyperskannaus ja neurotieteelliset menetelmät voivat tarjota lisätietoa ihmisten ajatteluprosesseista ja reaktioista, mikä auttaa yhteistyörobottien mukautumista ihmisten työskentelytapoihin [8]. Lisäksi sensorifuusioteknologiat, kuten yhdistetyt konenäkö- ja voima-anturisovellukset, auttavat yhteistyörobotteja tunnistamaan ympäristönsä tarkemmin ja reagoimaan nopeasti mahdollisiin muutoksiin [7]. Näiden edistysaskeleiden ansiosta tekoälypohjaiset yhteistyörobotit voivat

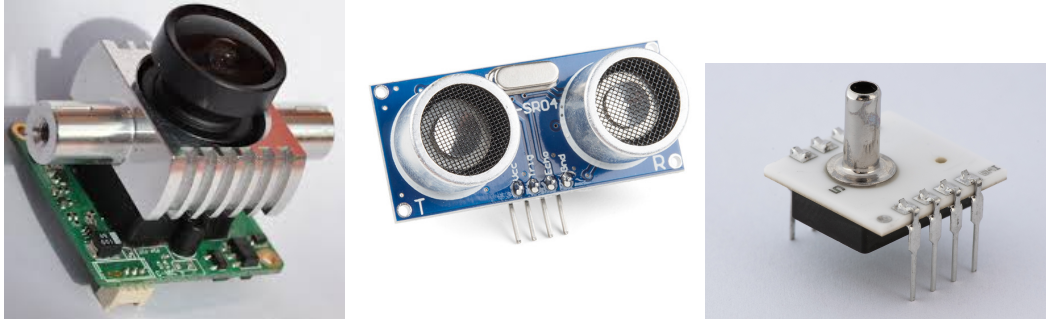
toimia entistä luotettavammin ja turvallisemmin erilaisissa työympäristöissä, mikä edistää niiden laajempaa käyttöönottoa eri teollisuudenaloilla.

3 Sensorit

Sensorit ovat kriittinen osa yhteistyörobottien toimintaa, sillä ne mahdollistavat ympäristön havainnoinnin ja robottien turvallisen vuorovaikutuksen ihmisten kanssa. Sensoritekniikka kehittyy jatkuvasti, ja sitä käytetään keräämään suuria määriä dataa robotin ympäristöstä, mitä ilman robotti ei pystyisi tekemään yhtä turvallisia ja varmoja päätöksiä erilaisissa tilanteissa. Yhteistyöroboteissa sensoreita käytetään mm. havaitsemaan ihmisen liikkeitä, esineiden sijainti ja ympäristön muutokset, jotka vaikuttavat robotin toimintaan. Tekoälyn avulla sensoridatan analysointi ja käsittely voidaan tehdä tehokkaammin, tarkemmin ja tekoälystä riippuen ajan myötä paremmin [3]. Lisäksi modernit sensorit voivat hyödyntää integroitua tekoälyominaisuuksia, jotka mahdollistavat esimerkiksi paremman havaintotarkkuuden ja reaaliaikaisen päätöksenteon erityisesti teollisissa sovelluksissa [5].

3.1 Sensorityypit

Yhteistyöroboteissa käytetään monenlaisia sensoreita riippuen siitä, millaista dataa halutaan kerätä. Yleisimpiä sensorityyppejä ovat RGB-kamerat, syvyyskamerat, kosketusanturit, voima-anturit sekä etäisyysanturit (ks. kuva 3.1). Kosketus- ja voimasensorit auttavat havaitsemaan robotin ja ympäristön välisiä fyysisiä kontakteja, mikä on erityisen tärkeää turvallisuuden kannalta [1].



Kuva 3.1: Esimerkkinä optinen anturi, etäisyysanturi, sekä paineanturi. Lähteet: Optinen sensori, etäisyys sensori ja paine sensori. Lisenssit: Optinen sensori (CC BY-SA 3.0), paine sensori (CC BY-SA 3.0) ja etäisyys sensori (CC BY 2.0).

Robotti voi esimerkiksi lasia käsitellessään rikkoa sen todella helposti, Jos näitä sensoreita ei hyödynnetä. Konenäkö- ja etäisyysanturit puolestaan mahdollistavat robottien tarkan liikkeenohjauksen ja ympäristön visuaalisen havainnoinnin. Tämä on tärkeää monimutkaisissa työympäristöissä, joissa robottien on tehtävä reaaliaikaisia päätöksiä. Etäisyysanturit ja konenäkö myös ehkäisevät törmäysriskiä, koska kone pystyy tunnistamaan menevänsä liian lähelle jotain estettä muiden sensorien viestiessä vapaasta reitistä. Lisäksi RGB-kamerat ja syvyyskamerat voivat hyödyntää syväoppimismalleja esineiden ja ihmisten tarkempaan tunnistamiseen, mikä lisää sensorien hyödynnettävyyttä entisestään [4].

Toisena esimerkkinä lämpöanturit ovat nousseet esiin yhteistyörobottien soveluksissa erityisesti terveydenhuollon ja elintarviketeollisuuden aloilla. Lämpöantureiden avulla robotit voivat valvoa tuotteiden lämpötilaa ja säilyttää hygienian korkeatasoisissa tuotantoympäristöissä [5]. Tämä soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa lämpötilan valvonta on kriittistä laadunvarmistukselle.

3.2 Sensoridatan käsittely

Sensoridatan käsittely on monivaiheinen prosessi, jossa kerätty raakadata jalostetaan hyödylliseksi informaatioksi, joka ohjaa yhteistyörobottien toimintaa. Tekoäly ja koneoppimismallit mahdollistavat datan analysoinnin reaaliajassa, mikä parantaa yhteistyörobotin kykyä mukautua nopeasti muuttuviin olosuhteisiin [9]. Tämä voi toisaalta olla todella laskennallisesti raskasta laitteistolle, jos datamäärät ovat suuria tai algoritmit monimutkaisia. Jokainen sensoreiden alueella liikkuva tavara tai ihminen lisää suuren määrän dataa, jota pitää pystyä käsittelemään turvallisuuden takaamiseksi (ks. kuva 3.2).



Kuva 3.2: Sensoridatan käsittelystä tulee huomattavasti monimutkaisempaa, kun sensoreiden alueelle lisätään enemmän ihmisiä. Lähde: Springer. Lisenssi: Springer Nature Nro. 5986090336003

Esimerkiksi konenäköön perustuvissa yhteistyörobottisovelluksissa sensoridata analysoidaan neuroverkkopohjaisilla malleilla, jotka tunnistavat esineitä ja ihmisten liikkeitä. Tämä reaaliaikainen data-analyysi mahdollistaa yhteistyörobottien tarkemman päätöksenteon ja reagoinnin mahdollisiin turvallisuusuhkiin tai työympäristön muutoksiin. Lisäksi Moor ym. [2] tuovat esiin, kuinka yhteistyörobotit voivat hyödyntää tekoälypohjaisia algoritmeja sensoridatan optimointiin laadunvalvontajärjestelmissä, mikä vähentää inhimillisiä virheitä ja parantaa tehokkuutta.

Sensorifuusio on keskeinen osa sensoridatan käsittelyä, sillä se yhdistää useista

eri lähteistä tulevan datan yhdeksi kokonaisuudeksi, mikä parantaa havainnointitarkkuutta ja vähentää yksittäisten sensorien aiheuttamia virheitä [7]. Esimerkiksi voima-anturit ja konenäköjärjestelmät voivat yhdessä tarjota tarkemman kuvan yhteistyörobottien ympäristöstä ja parantaa niiden kykyä tunnistaa sekä ennakoida mahdollisia esteitä [8]. Sensorifuusion avulla yhteistyörobotit voivat mukautua erilaisiin työympäristöihin, mikä on erityisen tärkeää yhteistyöroboteille, joiden on toimittava turvallisesti ihmisten rinnalla. Ciminaghi ym. [8] esittävät myös, kuinka neurotieteeseen perustuva hyperskannaus voi tarjota uutta näkökulmaa ihmisten ja yhteistyörobottien väliseen yhteistyöhön sensoridatan käsittelyn avulla.

Edistyneissä tekoälypohjaisissa järjestelmissä sensoridatan käsittelyyn voidaan sisällyttää ennakoivaa analytiikkaa, joka mahdollistaa yhteistyörobottien proaktiivisen toiminnan. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että yhteistyörobotit voivat oppia tunnistamaan tiettyjä työympäristössä toistuvia malleja ja mukautumaan niihin etukäteen [1]. Ennakoiva analytiikka voi myös parantaa yhteistyörobottien turvallisuutta, sillä järjestelmät voivat havaita poikkeavuuksia, kuten odottamattomia liikkeitä tai mahdollisia törmäyksiä. Ennakoivan analytiikan avulla voidaan reagoida poikkeavuuksiin ennen kuin ne johtavat onnettomuuksiin [10]. Yhdistämällä sensorifuusion, koneoppimisen ja ennakoivan analytiikan yhteistyörobotit voivat saavuttaa korkean autonomian ja mukautuvuuden tason, mikä tekee niistä entistä tehokkaampia ja turvallisempia tulevaisuuden työympäristöissä.

3.3 Sensoridatan käsittelyn historiaa

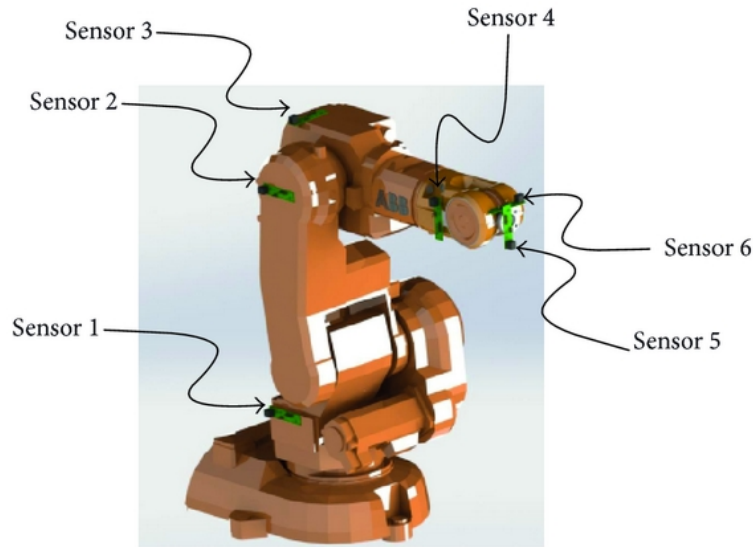
Sensoridatan käsittelyn historia on tiiviisti yhteydessä robotiikan ja tekoälyn kehitykseen. Aluksi sensoridata käsiteltiin pääasiassa perinteisten algoritmien avulla, jotka analysoivat yksinkertaisia signaaleja. Yksinkertainen signaali tarkoittaa esimerkiksi numeerista yksittäistä arvoa, jonka voi saada esimerkiksi lämpömittarista. Tässä tekniikassa on tyypillistä, että analysoidaan yksittäisten sensoreiden havait-

semaa dataa, ja useiden sensorien dataa ei yhdistelty. Kuitenkin robottien monimutkaistuessa ja tekoälyn kehittyessä sensoridatan käsittelyyn alettiin soveltaa koneoppimismenetelmiä, jotka mahdollistivat monimutkaisempien ja epälineaaristen mallien hyödyntämisen [3]. Edistyksen mukana ollaan myös alettu hyödyntämään useampia eri sensoreita samaan aikaan, jotta saataisiin tarkempi ja luotettavampi analyysi ympäristöstä. Analyysin kehitys on mahdollistanut robottien paremman kyvyn ymmärtää ympäristöään ja reagoida siihen. Tämä on ollut keskeistä yhteistyörobottien, erityisesti teollisuuden sovelluksissa käytettävien cobottien kehityksessä.

Lisäksi on havaittu, että sensoridatan yhdistäminen ennakoivaan analytiikkaan parantaa robottien toimintavarmuutta ja vähentää ylläpidon kustannuksia. Ennakoivan analytiikan avulla robotit pystyvät havaitsemaan mahdollisia ongelmia ennen niiden ilmenemistä, mikä minimoi tuotantokatkot [5]. Tämä on erityisen tärkeää moderneissa teollisuusympäristöissä, joissa tehokkuus ja jatkuvuus ovat kriittisiä tekijöitä. Sensoridatan käsittelyn etenemisessä suuren loikan toi sensoridatan fuusioteknologia, joka tarkoittaa kahden eri sensorin datan yhdistämistä ja tutkimista samanaikaisesti.

3.4 Sensoridatan fuusio

Sensoridatan fuusio on olennainen osa ihmisen ja yhteistyörobotin yhteistyötä, sillä se yhdistää monenlaisten sensorien tuottaman tiedon yhdeksi analysoitavaksi kokonaisuudeksi. Sensorit sijoitetaan yhteistyörobotteihin usein niin, että niiden saamasta datasta ja sen fuusiosta saa mahdollisimman paljon hyödyllistä dataa laitteesta sekä sen ympäristöstä (ks. kuva 3.3).



Kuva 3.3: Sensoreita on usein monia ja niitä ollaan aseteltu eri puolille robottia sensorin tarkoituksen perusteella. Lähde: Wikimedia Commons. Lisenssi: Creative Commons (CC BY 4.0).

Sensoridatan fuusio tarkoittaa vähintään kahden datan yhdistämistä niin, että kumpaakin dataa hyödynnetään päätöksenteossa. Esimerkiksi konenäköjärjestelmien yhdistäminen liikesensoreihin parantaa yhteistyörobottien kykyä navigoida ja ennakoida ihmisten liikkeitä, mikä lisää turvallisuutta erityisesti työympäristöissä [11]. Monisensorinen data mahdollistaa myös ympäristön tarkemman havainnoinnin ja analyysin esimerkiksi etävalvonnassa ja laadunvalvonnassa [11]. Näiden ominaisuuksien ansiosta yhteistyörobottien toiminta on turvallisempaa ja tehokkaampaa [5].

Tekoäly ja koneoppiminen ovat ratkaisevassa asemassa sensoridatan fuusiossa, sillä ne mahdollistavat reaaliaikaisen analyysin ja oppimisen monimutkaisista ilmiöistä [6]. Tällaiset järjestelmät voivat tunnistaa käyttäjän tarpeet ja ennustaa vaarallisia tilanteita monimutkaisemmistakin tilanteista, koska sensoridatan fuusioteknologiaa hyödyntäen pystytään tarkastelemaan tilannetta useammasta näkökulmas-

ta [11]. Tämä joustavuus on erityisen tärkeää dynaamisissa teollisuusympäristöissä, joissa tuotantolinjat ja tehtävät vaihtelevat ja vaativat täten monimutkaisempaa päätöksentekoa sensoreita hyödyntävältä laitteelta [8].

Sensoridatan fuusio vahvistaa myös ihmisen ja yhteistyörobotin välistä vuorovaikutusta. Kun yhteistyörobotti pystyy yhdistämään tietoa eleistä, äänestä ja mahdollisesti kasvoniilmeistä, se voi mukautua ihmisten toimintoihin nopeasti ja luonnollisesti [2]. Tämä tekee yhteistyöstä intuitiivisempaa sekä vähentää vaaratilanteita ja vääriä tulkintoja. Näitä järjestelmiä hyödynnetään jo muun muassa ennakoivassa huollossa ja laadunvalvonnassa, joissa yhteistyörobottien ja ihmisten saumaton yhteistyö on keskeistä. Ongelmien havaitseminen ennen aiheutunutta haittaa erityisen on tärkeää vaara-alttiilla aloilla. [10].

4 Tekoäly

Tekoäly on keskeinen osa nykyaikaisia yhteistyörobotteja, sillä sen avulla robotit pystyvät analysoimaan valtavia määriä sensoridataa ja tekemään itsenäisiä päätöksiä monimutkaisissa ja muuttuvissa tilanteissa. Yhteistyörobottien kyky tunnistaa ja mukautua erilaisiin ympäristön muutoksiin reaaliajassa on pitkälti tekoälyn ansiota, mikä parantaa niiden joustavuutta ja turvallisuutta [3]. Lisäksi tekoälyn avulla voidaan kehittää yhteistyörobotteja, jotka hyödyntävät hyperskannaustekniikoita ihmisten tunteiden ja intentioiden tulkitsemiseksi, mikä parantaa ihmisen ja robotin välistä yhteistyötä entisestään [8].

4.1 Tekoälyn hyödyntämismahdollisuudet yhteistyöroboteissa

Tekoälyn hyödyntäminen yhteistyöroboteissa on monipuolinen prosessi, jossa tulee huomioida useita eri tekijöitä, kuten sensorityypit, data-analyysin tarpeet sekä työympäristön erityisvaatimukset [3]. Tekoälyä kannattaa hyödyntää erityisesti niissä toiminnoissa, joissa tarvitaan ympäristön jatkuvaa analysointia ja mukautumista reaaliaikaisiin muutoksiin [2].

Erityisen tehokasta tekoälyn hyödyntäminen on konenäön ja syväoppimisen yhteydessä, sillä ne mahdollistavat robotin kyvyn tunnistaa ja luokitella esineitä sekä arvioida ihmisten liikkeitä [5]. Tämä on erityisen hyödyllistä työympäristöissä,

joissa robotin on sopeuduttava ihmisten kanssa työskentelyyn ilman fyysisiä turva-aitoja [7]. Lisäksi tekoäly voi ennakoida mahdollisia törmäyksiä ja tehdä päätöksiä niiden välttämiseksi [2].

Tekoälypohjaiset algoritmit voivat myös parantaa yhteistyörobottien energiatehokkuutta [12]. Esimerkiksi syväoppimismallit voivat optimoida robotin liikeratoja, mikä vähentää turhaa energiankulutusta ja pidentää laitteen käyttöikää [9]. Lisäksi tekoälyä voidaan hyödyntää sensoridatan yhdistelyssä ja fuusiossa, mikä mahdollistaa tarkemman päätöksenteon monimutkaisissa tilanteissa [11].

Tekoälyn avulla voidaan myös parantaa robottien ennakoivaa huoltoa [13]. Analysoimalla sensoridataa tekoäly voi tunnistaa alkavia teknisiä ongelmia ja ennustaa laitteiston huoltotarpeita ennen kuin ne johtavat vikatilanteisiin [10]. Tämä vähentää huoltokustannuksia ja pidentää laitteiden käyttöikää.

4.2 Missä kaikissa sensoreissa tekoäly on tarpeellinen?

Tekoäly on tarpeellinen erityisesti sellaisen sensoridatan käsittelyssä, joka tuottavat suuren määrän monimutkaista dataa, kuten konenäkö- ja voimasensoreissa. Konenäköä käytävissä yhteistyörobottisovelluksissa tekoäly auttaa yhteistyörobotia tunnistamaan ja paikantamaan esineitä sekä arvioimaan etäisyyksiä tarkasti. Voima- ja kosketussensoreissa tekoäly voi analysoida vuorovaikutuksia yhteistyörobotin ja ympäristön välillä, mikä on erityisen tärkeää turvallisuuden kannalta [9]. Näiden sensorien avulla yhteistyörobotit pystyvät myös seuraamaan ihmisten liikkeitä ja mukauttamaan omia liikkeitään sen mukaan, mikä vähentää tapaturmien riskiä. Lisäksi tekoäly voi parantaa yhteistyörobottien kykyä tulkita ulkoisia signaaleja, kuten ääntä ja lämpötilaa, mikä on hyödyllistä esimerkiksi äärimmäisissä ympäristöissä toimiville yhteistyöroboteille [13]. Toisaalta yksinkertaisemmissa sensoreissa

tekoälyä ei kannata alkaa hyödyntämään, koska se on laitteistolle raskasta ja sen kouluttaminen ja implementoiminen vie paljon resursseja. Esimerkiksi lämpösenso-reissa tai etäisyysensoreissa yksinkertaisemmat lineaariset algoritmit ovat paljon tehokkaampia ja riittäviä, sillä näistä sensoreista tuleva data on suoraviivaista ja helposti analysoitavaa.

4.3 Tekoälytyyppien hyödyntäminen

Tekoälyn hyödyntäminen yhteistyöroboteissa on monipuolinen prosessi, jossa tulee huomioida useita eri tekijöitä, kuten sensorityypit, data-analyysin tarpeet sekä työympäristön erityisvaatimukset [3]. Tekoälyä kannattaa hyödyntää erityisesti niissä toiminnoissa, joissa tarvitaan ympäristön jatkuvaa analysointia ja mukautumista reaaliaikaisiin muutoksiin [2].

Eri tyyppisistä tekoälyratkaisuista koneoppiminen ja syväoppimismallit soveltuvat parhaiten yhteistyörobottien sensoridatan käsittelyyn. Koneoppimismallit voivat ennakoida ja mukautua toistuviin tilanteisiin oppimalla aiemmasta datasta, kun taas syväoppiminen mahdollistaa monimutkaisten kuvioden ja yhteyksien tunnistamisen suurista datamääristä [3]. Lisäksi tekoälypohjaisten digitaalisten kaksosten käyttö yhteistyöroboteissa voisi parantaa robottien toimintaa mallintamalla ja optimoimalla niiden käyttäytymistä ennen varsinaista toimintaa [9].

Lisäksi tekoälyn hyödyntäminen ihmisen ja robotin välisessä yhteistoiminnassa voisi parantaa työympäristöjen turvallisuutta ja tehokkuutta, esimerkiksi tunnistamalla ihmisten tunteita ja mukauttamalla robotin toimintaa niiden perusteella [8]. Toisin sanoen, kaikille tekoälyratkaisuille löytyy varmasti paikkansa, ja minkälaista tekoälyä kannattaa hyödyntää riippuu paljon tarkoituksesta ja resursseista.

5 Yhteenveto

5.1 Lopputulokset

Tekoälyn rooli yhteistyörobottien sensoriteknikassa on merkittävä, sillä se mahdollistaa robottien entistä kehittyneemmän havainnoinnin, mukautuvuuden ja turvallisuuden. Sensoriteknologian kehittyminen on tehnyt mahdolliseksi monimutkaisempien sekä älykkäämpien algoritmien käyttöä, jolloin robotit voivat itsenäisesti analysoida ja reagoida toimintaympäristönsä muutoksiin. Koneoppimisen ja neuroverkkojen ansiosta sensoridataa voidaan käsitellä reaaliajassa, mikä tekee robottien toiminnasta tehokkaampaa ja turvallisempaa.

Aluksi esitimme kaksi tutkimuskysymystä, joihin vastaamme seuraavaksi lyhyesti. Kysymys 1: Miten tekoälyn hyödyntäminen parantaa yhteistyörobottien sensorien tarkkuutta ja päätöksentekokykyä? Tekoälyn hyödyntäminen parantaa yhteistyörobottien sensorien tarkkuutta ja päätöksentekokykyä muun muassa koneoppimisen ja sensorifuusion avulla. Tekoäly pystyy yhdistämään ja analysoimaan eri sensoreiden tuottamaa dataa reaaliajassa, mikä mahdollistaa tarkemmat ja nopeammat päätökset sekä paremman mukautuvuuden työympäristöön. Kysymys 2: Miten tekoälypohjaiset sensoriratkaisut vaikuttavat yhteistyörobottien turvallisuuteen ja ihmisen kanssa työskentelyyn? Tekoälypohjaiset sensoriratkaisut lisäävät yhteistyörobottien turvallisuutta ja parantavat ihmisen kanssa työskentelyä ennakoimalla liikkeitä, tunnistamalla vaaratilanteita ja optimoimalla robottien reaktioita. Tämä vähentää tör-

mäysten ja virheellisten toimintojen riskiä, mikä tekee roboteista luotettavampia ja tehokkaampia yhteistyökumppaneita teollisessa työympäristössä.

Tämä tutkimus osoittaa, että tekoälypohjaiset sensoriratkaisut parantavat yhteistyörobottien suorituskykyä erityisesti dynaamisissa ja monimutkaisissa työympäristöissä. Yhteistyörobotit voivat integroida eri sensorien tuottamaa dataa, yhdistellä niitä analyysia varten ja siten kehittää reagointikykyään. Esimerkiksi konenäköä ja syväoppimismalleja hyödyntävät sensoridatan hyödyntämistekniikat voivat parantaa robottien kykyä tunnistaa esineitä ja ihmisten liikkeitä, mikä lisää turvallisuutta ja tehokkuutta.

Tulevaisuuden kannalta tekoälyn ja sensoriteknologian yhdistäminen tulee avaamaan uusia mahdollisuuksia robotiikalle, esimerkiksi ennakoivan analytiikan avulla tapahtuvan kunnossapidon ja robottien jatkuvan optimoinnin muodossa. Tekoälyllä varustetut yhteistyörobotit voivat oppia kokemuksistaan ja mukauttaa toimintaansa optimaalisemmaksi ajan myötä. Tämä tekee niistä entistä arvokkaampia työkaluja monille eri aloille, kuten teollisuuteen, terveydenhuoltoon sekä logistiikkaan.

5.2 Pohdinta

Tekoälyn integroiminen yhteistyörobottien sensorijärjestelmiin on osoittautunut tehokkaaksi ratkaisuksi monilla toimialoilla tuoden samalla haasteita ja kehityskohteita. Yksi keskeisistä haasteista on tekoälyalgoritmien laskennallinen kuormitus, joka voi vaatia merkittävästi laskentatehoa ja siten lisätä laitteistokustannuksia. Optimoidulla algoritmeilla ja käyttämällä kevyempiä laskentamalleja voidaan kuitenkin parantaa niiden soveltuvuutta myös vähempi resurssisissa ympäristöissä.

Lisäksi tekoälyn ja sensoriteknologian kehittyessä nousee esiin kysymyksiä tietoturvesta ja eettisestä vastuusta. Yhteistyörobottien tulisi pystyä toimimaan turvallisesti ja ennakoitavasti ilman, että ne vaarantavat ihmisten hyvinvointia tai yksityisyyttä.

Tulevaisuudessa yhteistyörobottien kehitys voi johtaa entistä autonomisempiin ja monipuolisempiin sovelluksiin. Esimerkiksi tekoälyä hyödyntävät robotit voisivat toimia entistä paremmin ihmisten rinnalla vaativissa ja muuttuvissa tehtävissä, kuten terveydenhuollossa, missä ne voisivat tunnistaa potilaiden tarpeita ja reagoida niihin asianmukaisesti. Samoin tuotantolinjoilla yhteistyörobotit voisivat itseopiskelun ja jatkuvan analyysin avulla optimoida omaa toimintaansa ilman, että niitä tarvitsee ohjelmoida uudelleen.

Tekoälyn hyödyntämisestä yhteistyörobottien sensoreissa ja yhteistyöroboteissa pystyy myös helposti keksimään jatkotutkimuksia. Jatkotutkimuksessa voitaisiin syventyä tekoälymallien suorituskyvyn mittaamiseen käytännön työympäristöissä. Lisäksi olisi hyödyllistä tutkia, miten kehittyneet tekoälypohjaiset sensorifuusiotekniikat voivat edelleen parantaa robottien sopeutumiskykyä ja vuorovaikutusta ihmisten kanssa. Myös tekoälyn eettiset ja tietoturvaan liittyvät näkökulmat yhteistyöroboteissa ansaitsisivat lisähuomiota tulevissa tutkimuksissa.

Lopulta tekoälyn ja sensoriteknologian yhdistäminen yhteistyöroboteissa tarjoaa valtavia mahdollisuuksia, mutta sen hyödyntäminen vaatii edelleen tutkimusta, teknologista kehitystä ja yhteiskunnallista keskustelua. Teknologian jatkuva kehitys ja tekoälyn parempi ymmärrys tulevat määrittämään, kuinka pitkälle yhteistyörobottiikka voi kehittyä ja millaisen roolin se lopulta ottaa osana työn tulevaisuutta.

Lähdeluettelo

- [1] M. Alenjareghi, "Safe human-robot collaboration: a systematic review of risk assessment methods with AI integration and standardization considerations", 2023. DOI: 10.1007/s00170-024-13948-3.
- [2] M. Moor, M. Sarkans, T. Kangru, T. Otto ja J. Riives, "AI Functionalities in Cobot-Based Manufacturing for Performance Improvement in Quality Control Application", *Journal of Machine Engineering*, vol. 24, nro 2, s. 44–55, 2024. DOI: 10.36897/jme/189169.
- [3] Z. Huang, Y. Shen, J. Li, M. Fey ja C. Brecher, "A Survey on AI-Driven Digital Twins in Industry 4.0: Smart Manufacturing and Advanced Robotics", *Sensors*, vol. 21, nro 19, 2021, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s21196340.
- [4] J. Jeyabalan, E. Berna, P. Samuel ja V. Vijejan, "Cobots in Smart Manufacturing and Production for Industry 5.0", teoksessa *Digital Twins in Industrial Production and Smart Manufacturing*, Wiley, 2024. DOI: 10.1002/9781394195336.ch9.
- [5] R. Raj ja A. Kos, "Study of Human–Robot Interactions for Assistive Robots Using Machine Learning and Sensor Fusion Technologies", *Electronics*, vol. 13, nro 16, s. 3285, 2024. DOI: 10.3390/electronics13163285.
- [6] K. D. Singh ja P. Singh, "Fog Cloud Computing and IoT Integration for AI-enabled Autonomous Systems in Robotics", *EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics*, vol. 3, 2024. DOI: 10.4108/airo.3617.

-
- [7] Z. Saleem, F. Gustafsson, E. Furey, M. McAfee ja S. Huq, "A Review of External Sensors for Human Detection in a Human-Robot Collaborative Environment", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2024. DOI: 10.1007/s10845-024-02341-2.
- [8] F. Ciminaghi, L. Angioletti, K. Rovelli ja M. Balconi, "Collaborative Intelligence and Hyperscanning: Exploring AI Application to Human-Robot Collaboration Through a Neuroscientific Approach", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 15027, s. 334–341, 2024. DOI: 10.1007/978-3-031-71707-9_27.
- [9] A. Singh, A. Jadhav ja P. Singh, "AI Applications in Production", 2024.
- [10] A. Mishra, R. K. Singh, P. Kumar ja R. Kumar, "Working toward Solving Safety Issues in Human–Robot Collaboration: A Case Study for Recognising Collisions Using Machine Learning Algorithms", *Electronics*, vol. 13, nro 4, s. 731, 2024. DOI: 10.3390/electronics13040731.
- [11] J. Dong, D. Zhuang, Y. Huang ja J. Fu, "Advances in Multi-Sensor Data Fusion: Algorithms and Applications", *Sensors*, vol. 9, nro 10, s. 7771–7784, 2009, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s91007771. url: <https://www.mdpi.com/1424-8220/9/10/7771>.
- [12] D. D. Rao, B. V. Dhandayuthapani, C. Subbalakshmi, M. P. Singh, P. K. Shukla ja S. V. Pandit, "An Efficient Analysis of the Fusion of Statistical-Centred Clustering and Machine Learning for WSN Energy Efficiency", *Fusion: Practice and Applications*, vol. 15, nro 2, s. 187–195, 2024. DOI: 10.54216/FPA.150217.
- [13] G. Samblani, D. Pallavi ja P. Bhatt, "Case Studies on Next-Generation AI in Intelligent Manufacturing", teoksessa *Next-Generation AI in Intelligent Manufacturing*, CRC Press, 2024. DOI: 10.1201/9781032630748-11.