

Urban Mobile Robotics State of the art -raportti: Maarobotiikka kaupunki- ympäristössä

Juho Pasanen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Urban Mobile Robotics -hanke, 2026

Sisällys

1	Johdanto	1
2	State of the art	1
2.1	<i>Mobiilirobottien ja automaattisten ajoneuvojen eri tyypit</i>	<i>1</i>
2.1.1	AGV	2
2.1.2	AMR	2
2.1.3	UGV	3
2.1.4	IGV	3
2.1.5	AIV	4
2.1.6	SGV	4
2.1.7	LGV	4
2.2	<i>Eri robottityypit</i>	<i>5</i>
2.2.1	Pyörälliset robotit	5
2.2.2	Telalliset robotit	10
2.2.3	Raajalliset robotit	11
2.3	<i>Robottien käyttämät laitteet</i>	<i>15</i>
2.3.1	Ultraäänianturi	16
2.3.2	Infrapunasensori	16
2.3.3	2D-kamera	17
2.3.4	3D-kamera	18
2.3.5	2D- tai 3D-LiDAR	19
2.3.6	Taktilianturi	20
2.3.7	Paineanturi	21
2.3.8	Voima-anturi	21
2.3.9	Kiihtyvyyssanturi	22
2.3.10	Gyroskooppi	23
2.3.11	GPS	23
2.3.12	IMU-sensori	24
2.3.13	Tavalliset anturit	24
2.4	<i>Kaupallisia alustoja</i>	<i>25</i>
2.4.1	Leo Rover	25
2.4.2	Jackal	26
2.4.3	Unitree Go2	26
	Lähteet	28

Lyhenteet

AMR:	Autonomous Mobile Robot
AGV:	Automated Guided Vehicle
IGV:	Intelligence Guided Vehicle
UGV:	Unmanned Ground Vehicle
AIV:	Autonomous Intelligent Vehicle
SGV:	Self-Guided Vehicle
LGV:	Laser Guided Vehicle
IMU:	Inertial Measurement Unit
LiDAR:	Inertial Measurement Unit

1 Johdanto

Tämä raportti käsittelee maanpäällisen robotiikan State of the Art -selvitystä ja käyttökohteiden benchmarkkausta. Raportti on toteutettu osana Urban Mobile Robotics -hanketta (UMR), jonka päätavoitteena on luoda vahva robotiikan innovaatioalusta Helsingin seudulle. Hankkeen erityisenä painopisteenä on tukea pienten ja keskisuurten yritysten sekä startupien kasvua ja kansainvälistymistä.

Tässä raportissa tarkastellaan maanpäällisen robotiikan teknologioita ja esitetään tällä hetkellä käytössä olevien, eri tavoin ohjattavien maanpäällisten robottien tyypit ja saatavilla olevat alustat. Raportin tavoitteena on kartoittaa maanpäällisen robotiikan nykytilannetta ja tarkastella eri ratkaisujen eroja ja soveltuvuuksia.

UMR-hanke perustuu vahvaan yhteistyöhön yritysten, tutkimuslaitosten ja Helsingin kaupungin välillä. Tavoitteena on rakentaa elinvoimainen ekosysteemi, joka tukee robotiikan käytännön hyödyntämistä urbaanissa ympäristössä ja luo pohjaa uusille innovaatioille sekä kansainvälisille avauksille.

Urban Mobile Robotics -hankkeen toteuttavat Metropolia Ammattikorkeakoulu ja Forum Virium Helsinki. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama.

2 State of the art

2.1 Mobiilirobottien ja automaattisten ajoneuvojen eri tyypit

Automaattisesti liikkuvat ajoneuvot ja mobiilirobotit ovat yhä yleisempiä teollisuuden, logistiikan ja varastoinnin tehostamisen ratkaisuja. Niiden nimet ja toimintaperiaatteet voivat kuitenkin vaihdella huomattavasti. Tässä kappaleessa esitellään tärkeimmät mobiilirobottien ja ajoneuvojen tyypit sekä selvennetään niiden ominaispiirteet ja käyttökohteet.[1]

2.1.1 AGV

AGV tulee sanoista Automated Guided Vehicle, ja tarkoittaa suomeksi automaattisesti ohjattua ajoneuvoa. Näitä käytetään materiaalien, osien ja valmiiden tuotteiden kuljettamiseen tuotanto- ja varastoympäristöissä. Robotit liikkuvat ennalta määritettyjä, usein fyysisesti ympäristöön merkittyjä reittejä pitkin, joita ohjataan esimerkiksi QR-koodeilla, magneettinauhoilla, lattiaan teipatuilla linjoilla, johdoilla tai antureilla.

AGV:issä on vain rajallinen sisäinen älykkyys ja ne noudattavat yksinkertaisia ohjelmointisääntöjä, havaitsevat esteet mutta eivät kierrä niitä, vaan pysähtyvät odottamaan, kunnes reitti vapautuu. Niitä käytetään kuljettamaan yksittäisiä tuotteita, kuormalavoja ja tavaroita robotin päällä, mutta ne voidaan myös konfiguroida vetämään kärryistä koostuvia tuotejonoja, mikä tehostaa useiden tuotteiden siirtoa ja mahdollistaa pudotukset eri pisteisiin reitin varrella. Reittien suunnittelu ja asennus vaativat laajaa työtä, mikä on kallista ja voi häiritä tuotantoa, ja reittimuutokset aiheuttavat lisäkustannuksia ja keskeytyksiä. [2,3,4,5,6]

2.1.2 AMR

AMR tulee sanoista Autonomous Mobile Robot, ja tarkoittaa suomeksi autonomista mobiilirobottia. Robotti pystyy toimimaan itsenäisesti sekä navigoimaan itse muuttuvassa ympäristössä ilman kiinteitä polkuja tai reittejä. Autonomiset mobiilirobotit (AMR) ovat nykyaikainen mobiilirobottien alaryhmä, jotka erottuvat perinteisistä automatisoiduista ohjatuista ajoneuvoista (AGV) täydellisellä itsenäisyydellään. Toisin kuin AGV:t, jotka vaativat tarkkaa reittisuunnittelua ja usein erillistä infrastruktuuria, AMR-robotit toimivat täysin autonomisesti ilman ennalta määriteltyjä reittejä.

AMR-robotit hyödyntävät kehittynyttä laitteistoa ja ohjelmistoja, kuten kameroita, sensoreita ja laserskannereita, joiden avulla ne muodostavat karttoja ympäristöstään ja pystyvät navigoimaan itsenäisesti. Ne tunnistavat esteet

ympärillään ja osaavat kiertää ne turvallisesti, valiten aina parhaan mahdollisen reitin. Tämä älykäs navigointikyky mahdollistaa jatkuvan materiaalivirran automaation monissa erilaisissa tehtävissä.

Lisäksi AMR:t ovat skaalautuvia ja helppoja ottaa käyttöön, eivätkä ne vaadi erityisiä navigointiin liittyviä rakenteita. Tämä tekee niistä joustavan ja tehokkaan ratkaisun nykyaikaisiin teollisuusympäristöihin. Sensorijärjestelmien ansiosta ne pystyvät välttämään törmäykset ihmisiin ja esteisiin, liikkuen turvallisesti ja tehokkaasti annetuissa tiloissa. [2,3,4,5,7,8,9]

2.1.3 UGV

UGV tulee sanoista *Unmanned Ground Vehicle*, ja tarkoittaa suomeksi miehittämätöntä maalla liikkuvaa ajoneuvoa, jossa ei ole ihmistä kyydissä. Ajoneuvoa voidaan ohjata etänä, puoliautonomisesti tai täysin autonomisesti. UGV-termi kattaa koko skaalan puhtaasti etäohjatusta täysin autonomiseen toimintaan. UGV on yleisnimitys roboteille, jotka eivät tarvitse kuljettajaa, vaan joita ohjataan etänä, sensoreiden avulla tai esimerkiksi QR-koodeilla. Ajoneuvo voi vaatia ihmisen avustusta, ajoittaista valvontaa tai olla kokonaan ihmisen ajama etänä. UGV-järjestelmät voivat olla etäohjattuja, tai navigoida autonomisesti sensoreiden ja tekoälyn avulla. [10]

2.1.4 IGV

IGV tulee sanoista *Intelligence Guided Vehicle*, ja tarkoittaa suomeksi älyohjattua ajoneuvoa. IGV on edistyksellinen automaattinen ajoneuvo, joka eroaa perinteisistä AGV-järjestelmistä suuren joustavuutensa ansiosta. IGV navigoi ilman kiinteää infrastruktuuria hyödyntämällä kehittyneitä sensoreita, kameroita sekä kartoitustekniikkaa, kuten SLAMia (*Simultaneous Localization and Mapping*), minkä takia se mukautuu helposti nopeasti muuttuviin varasto- ja tuotantoympäristöihin. Nämä ajoneuvot pystyvät reaaliajassa tunnistamaan esteet, kartoittamaan ympäristönsä ja optimoimaan reittinsä tekoälyyn

perustuvien algoritmien avulla. IGV:iden liikkuminen on sekä turvallista että tehokasta.

IGV:t sopivat erityisen hyvin kohteisiin, joissa pohjaratkaisu muuttuu usein tai käsitellään erilaisia tuotteita vaihtelevilla liikennöintitarpeilla, kuten verkkokaupan logistiikassa ja muissa dynaamisissa toimintaympäristöissä. Niiden suurimmat edut ovat mukautuvuus tuotannon vaatimuksiin, parempi käyttö- ja henkilöturvallisuus sekä helppo skaalautuvuus ilman kalliita muutostöitä. IGV:t voidaan lisäksi varustaa erilaisilla työmoduuleilla, kuten nostimilla tai veto- ja rullalaitteilla, mikä mahdollistaa monipuolisen käytön yhdellä ajoneuvolla. Teknologian korkeampi hinta ja vaativa ylläpito voivat kuitenkin nostaa käyttöönoton kynnystä verrattuna perinteisiin ratkaisuihin. Kokonaisuutena IGV tarjoaa erittäin kilpailukykyisen ja tulevaisuuteen suuntautuvan vaihtoehdon joustavaan ja turvalliseen materiaalinkäsittelyyn muuttuvissa teollisuus- ja varasto-olosuhteissa. [2,5,6,11,12,13,14]

2.1.5 AIV

AIV tulee sanoista Autonomous Intelligent Vehicle, ja tarkoittaa suomeksi automatisoitua älykästä ajoneuvoa. AIV on olennaisesti synonyymi AMR:lle, jotkut valmistajat käyttävät tätä tuotteiden erottamisessa. [2,5]

2.1.6 SGV

SGV tulee sanoista Self-Guided Vehicle, ja tarkoittaa suomeksi itseohjautuvaa ajoneuvoa. SGV tarkoittaa samaa kuin AMR. SGV-termi on kuitenkin vanhempi, ja sitä näkee nykyään harvoin. [2,5]

2.1.7 LGV

LGV tulee sanoista Laser Guided Vehicle, ja tarkoittaa suomeksi laserohjattua ajoneuvoa. Nämä ovat edistyneitä AGV:itä, jotka käyttävät lasersensoreita ympäristöönsä sijoitettujen erityisten reittimerkkien havaitsemiseen ja

törmäysten välttämiseen. Vaikka LGV:t edellyttävät edelleen jonkinlaista ohjausta, ne toimivat autonomisemmin kuin perinteiset AGV-kärkyt.

Konenäkö ja laserpohjainen navigointi toivat seuraavan merkittävän edistysaskeleen, mistä juontaa juurensa myös nimitys laserohjattu ajoneuvo eli LGV. Tämän teknologian ansiosta robotti kartoittaa ympäristönsä ja mahdolliset kulkureitit jo ensimmäisellä ajokerralla luoden alueesta digitaalisen kartan. Kun kartta on käytössä, se ohjaa robotin liikkeitä: laite vertaa reaaliaikaisesti ympäristönsä tilaa digitaaliseen malliin ja osaa näin erottaa pysyvät esteet, kuten hyllyt, pilarit ja seinät tilapäisistä esteistä, kuten lattialle jääneistä lavoista. Laserskannereiden ansiosta AGV-robotit ovat muuttuneet riippumattomiksi fyysisistä ohjausjärjestelmistä, ja ne voivat liikkua vapaasti ilman esimerkiksi nauhoja tai kiskoja. [5]

2.2 Eri robottityypit

Robotteja on hyvin monenlaisia, ja niiden rakenteet sekä liikkumistavat vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Rakenteeseen vaikuttaa esimerkiksi se, millaisessa ympäristössä robotin pitää toimia, kuinka paljon sen täytyy kantaa kuormaa ja millaista liikettä tehtävä edellyttää. Yleisimpiä robottityyppejä liikkumisjärjestelmän perusteella ovat pyörillä liikkuvat robotit, telaketjuilla varustetut robotit sekä raajalliset robotit. Pyörälliset robotit soveltuvat parhaiten tasaisille ja kovalle pinnoille, kun taas telaroboteilla päästään paremmin epätasaisien ja upottavien alustojen ylitse. Raajalliset robotit, kuten moni- tai kaksijalkaiset, voivat liikkua haastavassakin maastossa ja jäljitellä esimerkiksi ihmisten tai muiden eläinten liikkumista. Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan tarkemmin kunkin robottityypin ominaisuuksia ja käyttökohteita.

2.2.1 Pyörälliset robotit

Pyörälliset robotit muodostavat erään yleisimmistä robottityypeistä liikkuvien alustojen suunnittelussa. Niiden suosio perustuu yksinkertaiseen rakenteeseen, kustannustehokkuuteen sekä monipuolisiin liikkumisominaisuuksiin. Pyörien

avulla robotti voi liikkua nopeasti ja kevyesti sileillä pinnoilla, ja niitä voidaan helposti ohjata eri tavoin riippuen pyörien lukumäärästä ja asettelusta. Pyörällisiä robotteja käytetään laajalti esimerkiksi teollisuusympäristöissä, varastoautomaation ratkaisuissa, siivousroboteissa sekä tutkimusalustoina opetuksessa ja kehitystyössä. Pyörien rakenne, määrä ja sijoittelu vaikuttavat suoraan robotin vakauteen, ohjattavuuteen sekä soveltuvuuteen erilaisiin käyttötarkoituksiin, minkä vuoksi pyörällisten robottien erottelu eri tyyppeihin on tärkeää. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään pyörällisten robottien eri perusrakenteita ja niiden ominaisuuksia.

2.2.1.1 Yksipyöräiset robotit

Yhden pyörän robotteja on erittäin vaikea pitää tasapainossa, koska ne koskettavat maata vain yhdestä pisteestä. Tämä tekee niistä huomattavasti haastavampia hallita verrattuna monipyöräisiin, staattisesti vakaisiin liikkumisratkaisuihin. Jotta monipyöräiset, ihmisten kanssa vuorovaikutukseen soveltuvat liikkuvat robotit pysyisivät vakaina, niissä tarvitaan matala painopiste, leveä tukipohja ja matala kiihtyvyyys. Nämä ratkaisut kuitenkin rajoittavat usein robotin suorituskykyä, esimerkiksi liikkumisnopeuden ja kokonaismittojen suhteen.

Siitä huolimatta on kehitetty kokeellisia yhden pyörän robotteja, joiden tasapainottamiseen käytetään esimerkiksi gyroskooppeja, reaktiopyöriä ja muita vastamomenttimekanismeja. Yksipyöräiset robotit ovat usein itsetasapainottuvia järjestelmiä, kuten kehittyneet yksipyöräiset polkupyörät tai erilaiset pallorobotit. Erityisesti pallomainen pyörä tarjoaa etuja tavalliseen pyörään nähden, sillä se mahdollistaa liikkumisen mihin tahansa suuntaan pallon pinnalla. Näiden robottien ohjaus perustuu monimutkaisiin ohjausjärjestelmiin ja pyörivien vauhtipyörien käyttöön, jotka vakauttavat ja kallistavat robottia, mahdollistaen ei-holonomisen, eli kaikkiin suuntiin ulottuvan liikkeen yhdellä pyörällä. [15,16]

2.2.1.2 Kaksipyöräiset robotit

Kaksipyöräiset robotit ovat vaikeampia tasapainottaa kuin monet muut robottityypit, koska niiden on pysyttävä liikkeessä säilyttääkseen tasapainonsa. Rakenteen painopiste pyritään pitämään mahdollisimman matalalla akselin alapuolella, mikä saavutetaan yleensä sijoittamalla esimerkiksi akut mahdollisimman alas runkoon. Kaksipyöräisten ajoneuvojen pyörät voivat sijaita vierekkäin, jolloin niitä kutsutaan rinnakkaispyöräisiksi, tai peräkkäin, jolloin toinen pyörä on toisen edessä.

Jotta kaksipyöräinen robotti pysyy pystyssä, sen täytyy liikkua siihen suuntaan, johon se on kaatumassa, ja näin palauttaa tasapaino. Tämän vuoksi robotin pohjan tulee pysyä koko ajan painopisteen alapuolella. Kaksipyöräinen robotti, jossa on vasen ja oikea pyörä, tarvitsee vähintään kaksi anturia. Näihin kuuluvat kallistusanturi kallistuskulman mittaamiseen sekä pyörien enkooderit, joiden avulla seurataan robotin alustan sijaintia. [16]

2.2.1.3 Kolmipyöräiset robotit

Kolmipyöräisiä robotteja on kahta päätyyppiä. Ensimmäisessä tyypissä on kaksi erillisellä moottorilla varustettua pyörää sekä yksi vapaasti pyörivä pyörä, joka auttaa pitämään rungon tasapainossa. Toisessa tyypissä kaksi pyörää liikkuu yhden moottorin voimalla, ja kolmatta pyörää ohjataan moottoroidulla ohjauksella.

Differentiaalisesti ohjattavan mallin tapauksessa robotin suuntaa voidaan muuttaa säätämällä erikseen kummankin moottoroidun pyörän suhteellista pyörimisnopeutta. Jos molemmat pyörät pyörivät samaan suuntaan ja samalla nopeudella, robotti kulkee suoraan eteenpäin. Jos pyörimisnopeudet tai pyörimissuunnat eroavat, robotti kääntyy ja sen liikeradan keskipiste voi sijaita missä tahansa kahden pyörän muodostaman suoran varrella.

Tällä rakenteella robotin painopisteen tulee sijaita pyörien muodostaman kuvitteellisen kolmion sisäpuolella, jotta laite pysyy vakaana. Jos vapaasti

pyörivän pyörän puolelle asennetaan liian raskas kuorma, robotti voi kaatua.
[16]

2.2.1.4 Nelipyöräiset robotit

Auton kaltainen ohjaus tarkoittaa, että robotti voi kääntyä samalla tavalla kuin tavallinen auto. Tämä ohjausmenetelmä on teknisesti vaativampi toteuttaa, ja se tekee myös robottien suunnistuksesta haastavampaa. Järjestelmän etuna aiempiin menetelmiin verrattuna on kuitenkin se, että robotissa tarvitaan vain yksi moottori liikkumista varten, sekä yksi servo ohjaamaan etupyöriä. Esimerkiksi differentiaali- tai tankkiohjauksessa tarvitaan kaksi erillistä moottoria tai hyvin monimutkainen vaihdelaatikko, sillä pyörien täytyy voida pyöriä eri nopeuksilla ja eri suuntiin.

Tankkimaisessa liikkeessä roboteissa käytetään kahta paria moottoroituja pyöriä, eli yhteensä neljää pyörää, joista kummankin puolen pyöräpari pyörii samaan suuntaan. Tämän järjestelmän haasteena on varmistaa, että kaikki pyörät pyörivät täsmälleen samalla nopeudella. Jos saman parin pyörät pyörivät eri nopeuksilla, hitaampi pyörä alkaa luistaa, mikä heikentää tehokkuutta. Jos taas molempien puolien pyöräparit eivät liiku samalla nopeudella, robotti ei pysty kulkemaan suoraan. Siksi hyvän suunnittelun yhteydessä kannattaa harkita myös auton kaltaista ohjausta.

Kahdella moottoroidulla ja kahdella vapaasti pyörivällä pyörällä varustettu robotti toimii samalla periaatteella kuin differentiaalisesti ohjattavat mallit, mutta kahden vapaasti pyörivän pyörän ansiosta vakaus paranee. Nelipyöräinen järjestelmä on vakaampi kuin kolmipyöräinen, sillä painopisteen on pysyttävä neljän pyörän muodostaman suorakulmion sisällä kolmion sijaan. Tämä rakenne tarjoaa myös enemmän käyttökelpoista tilaa robotin rakenteessa. Parhaan vakautuksen saavuttamiseksi painopiste kannattaa pitää mahdollisimman lähellä suorakulmion keskustaa, mikä on erityisen tärkeää jyrkissä käännoksissä tai epätasaisella pinnalla ajettaessa. [16]

2.2.1.5 Omnidirection

Toinen vaihtoehto pyörillä varustetuille roboteille on käyttää Omni-pyöriä, mikä helpottaa sellaisten robottien rakentamista, joissa kaikkia pyöriä ei ole kiinnitetty samaan akseliin. Omni-pyörä koostuu useista pienemmistä pyöristä, jotka on asennettu yhden suuren pyörän kehälle siten, että pienempien pyörien akselit ovat kohtisuorassa pääpyörän akseliin nähden. Tämä rakenne mahdollistaa liikkumisen kahteen suuntaan ja holonomisen liikkeen, eli robotti voi liikkua välittömästi mihin tahansa suuntaan.

Omni-pyörillä varustettu robotti voi liikkua missä tahansa kulmassa mihin tahansa suuntaan ilman, että sen täytyy kääntyä ensin oikeaan suuntaan. Osa Omni-pyöräratkaisuihin käyttää kolmionmuotoista alustaa, jossa kolme pyörää on sijoitettu 60 asteen kulmaan. Kolmen pyörän käyttö on edullisempaa kuin neljän pyörän, ja varmistaa että kaikki pyörät koskettavat maata, koska kolme pistettä määrittävät aina tason. Samalla kuitenkin vain yksi pyörä pyörii varsinaisesti kulkusuuntaan.

Omni-pyörien haittapuolena on niiden heikko hyötysuhde. Koska kaikki pyörät eivät pyöri kulkusuuntaan, syntyy ylimääräisiä kitkavoimia, jotka aiheuttavat energiahäviöitä. Lisäksi liikkeen laskeminen ja ohjaaminen on haasteellisempaa, koska liikkeen suunta ja kulma vaativat tarkempaa laskentaa. [16]

2.2.1.6 Enemmän kuin viisi rengasta

Viidellä tai useammalla pyörällä varustetut ajoneuvot soveltuvat erityisesti suurikokoisiin robotteihin, mutta tällainen ratkaisu ei useimmiten ole kovin käytännöllinen. Rakenteen monimutkaisuus kasvaa huomattavasti, kun käytössä on useita moottoroituja pyöriä, sillä jokaisen pyörän täytyy pyöriä tarkasti samalla nopeudella, jotta robotti liikkuu suoraan eteenpäin. Jos vasemman ja oikean puolen pyörien nopeudet poikkeavat toisistaan, robotti voi alkaa liikkua sivusuuntaan suoraan kulkemisen sijasta. Myös saman puolen pyörien väliset nopeuserot aiheuttavat hitaimman pyörän luistamista. [16]

2.2.1.7 Liikkuvat manipulaattorit

Liikkuvat manipulaattorit ovat robottijärjestelmiä, joissa yksi tai useampi robottivarsi on asennettu pyörillä varustetulle alustalle. Näin ollen robotti pystyy liikkumaan ympäristössään ja suorittamaan erilaisia esineiden käsittelytehtäviä, kuten nostamista, siirtämistä ja sijoittamista, ilman että käyttäjän tarvitsee itse koskea esineisiin. Manipulaattorivarren päähän voidaan liittää erilaisia päätytyökaluja sovelluksen mukaisesti, esimerkiksi tarttuvia, robottikäsiä, ruuvimeisseleitä tai edistyneitä näkö- ja skannausjärjestelmiä. Alun perin manipulaattorivarsia hyödynnettiin pääasiassa materiaalien käsittelyssä kohteissa, jotka olivat ihmisille vaikeapääsyisiä tai vaarallisia, kuten radioaktiivisissa ympäristöissä, korkeissa lämpötiloissa tai suurjännitealueilla. [17, 18, 19]

2.2.2 Telalliset robotit

Telaketjuja pyörien sijaan käyttävät robotit tarjoavat useita etuja erityisesti vaativissa maasto-olosuhteissa. Telojen ansiosta robotti saa paremman pidon ja vähentää luistamista epätasaisella maaperällä. Lisäksi telaketjut jakavat robotin painon laajemmalle alueelle kuin pyörät, jolloin maahan kohdistuva paine pienenee ja laite soveltuu paremmin pehmeille alustoille, kuten lumeen tai mutaan, uppoamatta helposti. Telaketjurobotit liikkuvat maastossa samalla tavalla kuin tankit, mikä auttaa ne selviämään esteistä ja epätasaisuuksista, jotka olisivat pyörille hankalia ylittää.

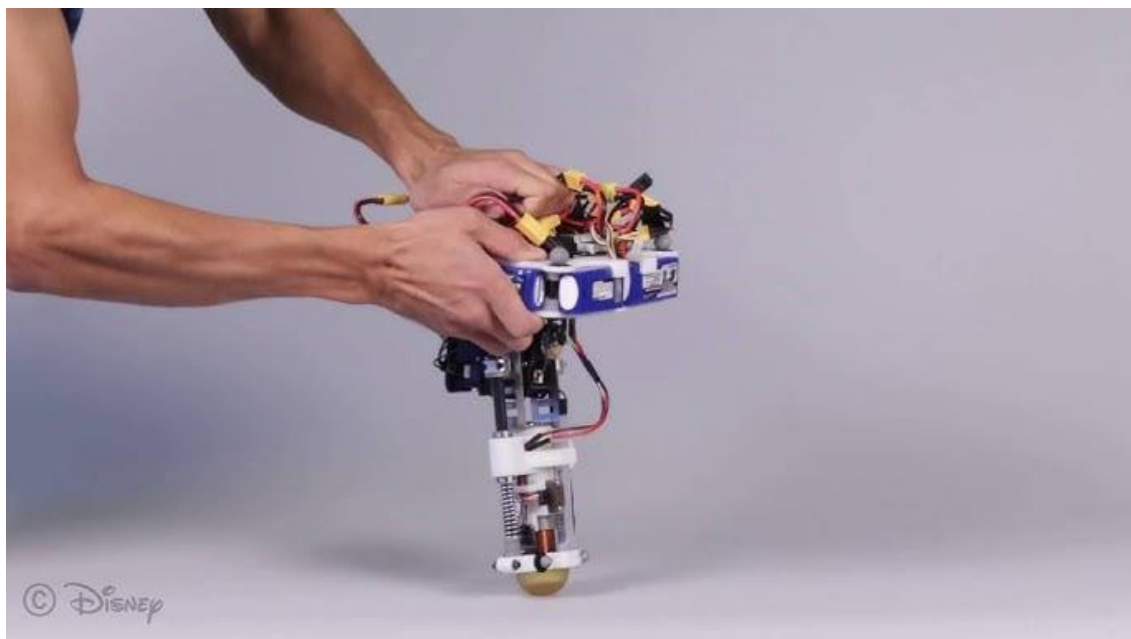
Suuren kosketuspinnan ansiosta telarobotit soveltuvat erityisen hyvin pehmeille, liukkaille ja upottaville alustoille sekä pystyvät kuljettamaan suurempia kuormia kuin pyörillä liikkuvat robotit. Siksi ne ovat tehokkaita esimerkiksi mudassa, lumessa tai hiekassa. Telaketjuilla liikkuminen on kuitenkin vähemmän tehokasta kovilla ja tasaisilla pinnoilla, kuten betonilla, jossa pyörillä varustetut robotit pärjäävät paremmin. Kokonaisuudessaan telaketjurobotit ovat erittäin toimivia ulkona haastavissa maastoissa, joissa pidolla ja maaperän kantavuudella on suuri merkitys.

2.2.3 Raajalliset robotit

Raajalliset robotit ovat koneita, jotka liikkuvat jaloilla tai muilla niveltyneillä raajoilla pyörien tai telojen sijaan. Ne voivat jäljitellä erilaisten eläinten tai ihmisten liikkumista, ja siksi niiden rakenneratkaisut ovat usein monimutkaisempia kuin pyörä- tai telaroboteilla. Raajallisia robotteja löytyy monesta eri kokoluokasta ja käyttökohteesta, ja ne jaetaan usein rakenteensa mukaan esimerkiksi yksi-, kaksi-, kolme-, nelijalkaisiin tai useampijalkaisiin malleihin.

2.2.3.1 Yksiraajaiset robotit

Yksijalkainen robotti eli monopedal robot on robotti, joka liikkuu yhdellä jalalla hyppimällä, pomppimalla ja tasapainottelemalla. Nämä laitteet hakevat inspiraatiota luonnosta, esimerkiksi lintujen ja pienten nisäkkäiden liikkeistä. Yksijalkaiset robotit hyödyntävät kehittyneitä kontrollijärjestelmiä, jotka säätelevät vartalon asentoa, voimaa ja iskunvaimennusta, jotta ne saavuttavat dynaamisen vakauden ja ketteryyden myös epätasaisessa maastossa. Toisin kuin kaksi- tai monijalkaiset robotit, yksijalkaiset mallit käyttävät pelkästään yhtä tukipistettä maassa kerrallaan. Niiden liikkuminen perustuu hyppimiseen ja pomppimiseen, mikä vaatii tehokkaita toimilaitteita sekä nopeaa ja tarkkaa tasapainonhallintaa. [20]



Kuva 1 Yksiraaajainen robotti [21]

2.2.3.2 Kaksiraaajaiset robotit

Kaksijalkainen robotti eli bipedaalinen robotti on robotti, joka jäljittelee ihmisen kävelyä ja liikkuu kahden jalan avulla. Tämän vuoksi se soveltuu erinomaisesti ihmisten suunnittelemiin ympäristöihin. Usein kaksijalkaiset robotit ovat ihmisen kaltaisia, eli humanoideja.

Kaksijalkaiset robotit on kehitetty erityisesti ihmisen kaltaista liikkumista varten, ja ne ovatkin tärkeä tutkimus- ja kehityskohde esimerkiksi robottien tasapainon ja liikkuvuuden haasteiden selvittämisessä. Kaikki humanoidit ovat kaksijalkaisia, mutta kaikki kaksijalkaiset robotit eivät ole humanoideja.

Keskeisimmät erot bipedaalisten ja humanoidirobottien välillä liittyvät niiden rakenteeseen ja käyttötarkoituksiin. Kaksijalkaisissa roboteissa korostuu tehokas liikkuminen ihmisten ympäristöissä, kun taas humanoidiroboteissa painopiste on ihmismäisessä ulkomuodossa, vuorovaikutuksessa ja kyvyssä toimia saumattomasti ihmisten parissa ja käyttää samoja välineitä kuin ihmiset. Humanoidirobotit mahdollistavat monipuoliset palvelu- ja vuorovaikutussovellukset, mutta ovat usein huomattavasti kalliimpia ja teknisesti

vaativampia kuin pelkät kaksijalkaiset tai pyörälliset robotit, jotka puolestaan ovat käytännöllisempiä ja kustannustehokkaampia moniin arkisiin tehtäviin. [22, 23]



Kuva 2 LimX Dynamicsin TRON1: monimuotoinen kaksijalkainen robotti, jossa vaihdettavat Point-Foot-, Sole- ja Wheeled-jalat. [24]

2.2.3.3 Humanoidirobotit

Humanoidirobotit ovat robotteja, jotka muistuttavat ihmisiä ulkoisesti ja toiminnallisesti. Yleensä humanoideilla on pää, vartalo, kaksi kättä ja kaksi jalkaa. Humanoidirobotti käyttää jalkoja liikkumiseen, käsiä tarttumiseen ja nostamiseen ja sillä on erilaisia sensoreita ympäristön havaitsemiseen. Robotti on mitoiltaan ja toiminnoiltaan ihmisen kaltainen, ja se pystyy työskentelemään samoissa tiloissa ja samoilla välineillä kuin ihmisetkin. Yritysten ei tarvitse muokata tuotantoympäristöä sopimaan robotille.



Kuva 3 Unitree G1 -humanoidirobotti [25]

Humanoidirobottien merkittävä kehitys perustuu tekoälyyn, joka mahdollistaa roboteille nopean oppimisen, päätöksenteon sekä kyvyn kommunikoida ihmisten kanssa. Näin robotit voivat suorittaa vaihtelevia tehtäviä, mikä tekee niistä monikäyttöisempiä kuin perinteiset automaattioratkaisut, jotka on suunniteltu vain yhteen tehtävään. Työelämässä humanoidirobotit voivat auttaa esimerkiksi silloin, kun työvoimaa ei ole riittävästi, vapauttaa ihmisiä raskaista tai vaarallisista työtehtävistä sekä lisätä tuottavuutta ja työhyvinvointia. [26, 27]

2.2.3.4 Kolmijalkaiset robotit

Kolmijalkainen eli tripedaalinen robotti liikkuu kolmen raajan avulla, mikä tarjoaa luonnollisen staattisen vakauden sekä usein energiatehokkaan ja dynaamisen kävelytavan. Yleensä yksi jalka heiluu eteenpäin, kun kaksi muuta raajaa muodostavat vakaan tukipinnan. Kolmijalkaiset robotit ovat harvinaisempia kuin nelijalkaiset tai kuusijalkaiset robotit, mutta niitä tutkitaan erityisesti ainutlaatuisiin sovelluksiin niiden ominaisuuksien ansiosta. [28]

2.2.3.5 Neliraajaiset robotit

Nelijalkainen robotti, eli quadpedaalinen robotti, on suunniteltu jäljittelemään nelijalkaisten eläinten liikkeitä, minkä ansiosta se kykenee liikkumaan ketterästi

haastavassa maastossa. Nelijalkainen kävelymalli on yksi luonnon yleisimmistä liikkumistavoista, ja roboteilla se mahdollistaa sekä monipuolisen liikkumisen että staattisen vakauden paikallaan ollessa. Erilaiset kävelytekniikat, kuten vuorottelu pareittain tai vastakkaisina pareina, edellyttävät kuitenkin kehittynyttä, dynaamista ohjausta vakauden säilyttämiseksi liikkeessä.

Nykyaikaiset nelijalkaiset robotit hyödyntävät edistyksellisiä sensoreita, tehokkaita toimilaitteita ja tekoälypohjaisia ohjausjärjestelmiä, jotka mahdollistavat tarkan ja tasapainoisen liikkumisen. Tämän ansiosta ne soveltuvat erinomaisesti tutkimus-, etsintä- ja pelastustehtäviin sekä logistiikan, tarkastusten, maatalouden ja puolustuksen tarpeisiin, erityisesti tilanteissa ja ympäristöissä, joissa pyörillä tai telaketjuilla varustetut laitteet eivät kykene toimimaan.

Nelijalkaiset robotit pystyvät liikkumaan sujuvasti epätasaisissa maastoissa, portaissa ja monenlaisilla alustoilla, mikä tekee niistä arvokkaita automaation kehityksessä ja uusien sovellutusten mahdollistajia. Olipa kyseessä etätarkastus, kuormien kuljetus tai vaarallisten ympäristöjen tutkiminen, quadpedaaliset robotit tarjoavat ainutlaatuisen suorituskyvyn, joustavuuden ja sopeutumiskyvyn vaativissa olosuhteissa. [23, 29]

2.3 Robottien käyttämät laitteet

Sensorit ovat keskeisessä roolissa mobiilirobotin toiminnassa, sillä niiden avulla robotti pystyy havainnoimaan ympäristöään ja tekemään tarvittavia päätöksiä liikkumisensa ohjaamiseksi. Erityyppiset sensorit, kuten ultraäänianturit, infrapunasensorit, kamera- ja tutkajärjestelmät, tarjoavat tietoa esimerkiksi etäisyyksistä, esteistä sekä robottia ympäröivästä topografiasta. Näiden sensorien avulla mobiilirobotti kykenee navigoimaan turvallisesti, välttämään törmäykset ja suorittamaan sille annettuja tehtäviä itsenäisesti. Sensoriteknologian jatkuva kehittyminen mahdollistaa entistä tarkemman

ympäristön havainnoinnin ja parantaa robottien suorituskkyä erilaisissa käyttöympäristöissä

2.3.1 Ultraäänianturi

Ultraäänianturi on monipuolinen ja tarkka mittalaite, joka hyödyntää ihmiskorvalle kuulumattomia korkeataajuisia ääniaaltoja ultraääniä erilaisten fyysisten ominaisuuksien, kuten etäisyyden, korkeuden ja syvyyden, mittaamiseen. Anturit toimivat lähettämällä ääniaaltoja ja analysoimalla niiden heijastumisen takaisin anturiin. Tämän perusteella laite pystyy tunnistamaan kohteita ja laskemaan niiden etäisyyden täysin kosketuksettomasti. Tämän teknologian ansiosta ultraäänianturit soveltuvat erinomaisesti etäisyyden mittaukseen ja liikkeen havaitsemiseen myös haastavissa olosuhteissa, kuten pölyisissä, kosteissa tai hämärissä ympäristöissä, ja niitä käytetään laajasti teollisuudessa, automaatioissa, robotiikassa sekä lääketieteessä. [30, 31, 32]



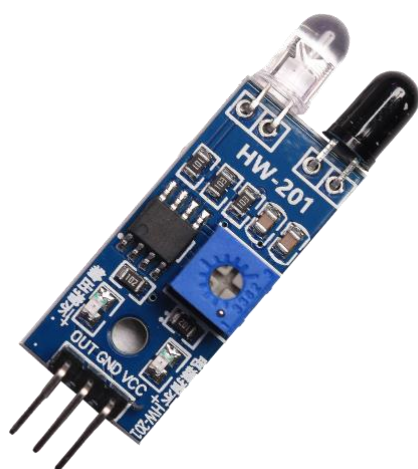
Kuva 4 HC-SR04-ultraäänisensori [33]

2.3.2 Infrapunasensori

Infrapuna-anturi eli IR-anturi on roboteissa käytetty tunnistin, joka havaitsee esineitä, etäisyyksiä ja liikettä lähettämällä ja/tai vastaanottamalla infrapunasäteilyä. Se mahdollistaa liikkumisen, esteiden väistämisen, sekä viivojen seuraamisen. Anturi hyödyntää IR-LEDiä lähettimenä ja fotodiodia

vastaanottimena tulkitakseen heijastunutta valoa tai kohteen lähettämää infrapunasäteilyä, mikä on erityisen tärkeää esimerkiksi esteiden välittämisessä tai viivanseurannassa.

IR-antureita on kahdenlaisia. Aktiiviset IR-anturit lähettävät infrapunasäteilyä ja mittaavat takaisin heijastuvan valon määrän, jolloin suurempi heijastus kertoo esineen olevan lähempänä ja pienempi etäämmällä. Passiiviset IR-anturit, kuten PIR-anturi, havaitsevat ainoastaan kohteiden, kuten ihmisten tai eläinten, oman lämpösäteilyn ilman omaa aktiivista lähetystä. [30, 31]



Kuva 5 Infrapuna-lähestymisanturimoduuli [34]

2.3.3 2D-kamera

2D-kamera on tavallinen, yhden objektiivin kamera, joka tuottaa kuvan kahdessa ulottuvuudessa, jotka ovat leveydessä ja korkeudessa. Kaikki kamerat, jotka eivät ole erityisesti 3D-kameroita, ovat kaksiulotteisia. Tyypillisesti 2D-kamerat ovat malleja, joissa on säädettämätön objektiivi, joka tarkoittaa terävästi vain tiettyyn etäisyyteen. Niissä on usein laajakulmaobjektiivit sekä pienet aukot, joten niitä käytetään pääasiassa tavallisessa päivänvalossa, eikä niistä ole hyötyä hämärässä, koska objektiivi ei kerää riittävästi valoa.

Usein 2D-kamerat ovat yksisilmäisiä peilikameroita, joissa on irrotettava objektiivi. Tällöin samaa objektiivia käytetään sekä katseluun että kuvien ottamiseen. 2D-kameroilla otetaan tavallisia kaksiulotteisia kuvia, ja niitä hyödynnetään esimerkiksi värien, muotojen ja viivakoodien tunnistamiseen. Vaikka 2D-kamerat ovat rakenteeltaan yksinkertaisia, ne tarjoavat olennaista visuaalista tietoa moniin robotiikkasovelluksiin, kuten valvontalennokeille ja valmistusroboteille. [30, 31, 35]

2.3.4 3D-kamera

Perinteiset 2D-kamerat tuottavat vain tasokuvia ilman geometrista tietoa, eivätkä pysty havaitsemaan syvyyttä tai tarkkoja yksityiskohtia kohteen muodosta. Kolmiulotteiset (3D) digitaalikamerat tai stereokamerat ovat ratkaisseet syvyyden arvioinnin ongelman yhdistämällä kehittynyttä laitteistoa ja ohjelmistoa. 3D-kamerat mahdollistavat syvyyden havaitsemisen kuvissa kolmessa ulottuvuudessa: leveydessä, korkeudessa ja syvyydessä. Ne hyödyntävät useita linsejä tallentaakseen useita näkökulmia samanaikaisesti, ja tuottavat näistä kuvasarjoista realistisia 3D-malleja, joilla on laaja käyttöalue.

3D-kuvantamisen peruseriaate on stereoskopia. Erityyppisissä 3D-kameroissa sisältö tallentuu eri tavoin: stereokamera taltioi videon lisäksi pikselikohtaista syvyys- tai eroavaisuusinformaatiota, kun taas monikamerakamera tallentaa useita kuvia eri kulmista samanaikaisesti. Näistä kuvapareista muodostetaan eroavaisuuskarttoja, joiden perusteella kohteen kolmiulotteinen rakenne voidaan arvioida.

3D-kamerat tuottavat kolmiulotteista dataa, jonka avulla esimerkiksi robotit pystyvät havaitsemaan syvyyden sekä tunnistamaan kohteiden koon, muodon ja etäisyyden. Tyypillisiä 3D-näköteknologioita ovat muun muassa stereonäkö ja ToF-kamerat, joita käytetään laajasti autonomisessa navigoinnissa ja robottikäsissä esineiden käsittelyssä. [30, 31]



kuva 6 Stereolabs ZED 2i -stereokamera [36]

2.3.5 2D- tai 3D-LiDAR

2D-LiDAR (Light Detection and Ranging) on aktiivinen optinen anturi, jota käytetään robotin ympärillä olevien pintojen skannaamiseen ja tunnistamiseen. Anturi lähettää yhden lasersäteen vaakatasossa (X- ja Y-akselilla) ympäristön skannaamiseksi. Anturi mittaa heijastuneen lasersäteen kulkuajan ja kulman, minkä avulla se laskee kohteen etäisyyden ja vaakasuuntakulman sekä tuottaa reaaliaikaista sijaintitietoa havaituista kohteista. [37,38]



Kuva 7 Slamtecin 2D-LiDAR RPLIDAR A2M7 [39]

2D- ja 3D-LiDAR perustuvat samaan perusperiaatteeseen: ne mittaavat etäisyyksiä lähettämällä lasersäteitä ja analysoimalla heijastunutta valoa. 2D-LiDAR lähettää yhden lasersäteen, joka pyörii yhdessä tasossa, kun taas 3D-LiDAR käyttää useita lasersäteitä eri kulmissa. Tämä mahdollistaa ympäristön kolmiulotteisen havainnoinnin X-, Y- ja Z-akseleilla. [30, 31, 40]



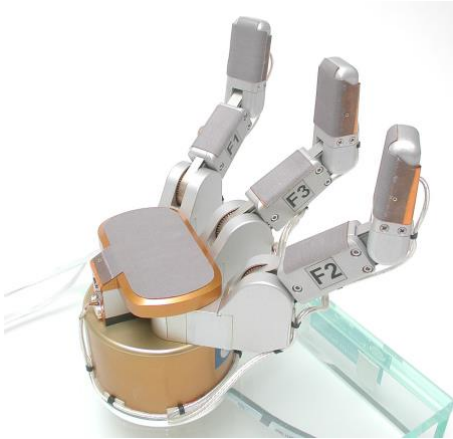
Kuva 8 RoboSense RS-Bpearl on lyhyen kantaman 3D-LiDAR-laite, joka on suunniteltu havaitsemaan ajoneuvojen kuolleita kulmia [41]

2.3.6 Taktiilianturi

Taktilinen anturiteknologia jäljittelee ihmisen ihon biologista tuntoaistia, mahdollistaen keinotekoisien tuntoaistien liittämisen erilaisiin laitteisiin ja tuotteisiin. Taktilisia antureita hyödynnetään erityisesti robotiikassa, autoteollisuudessa sekä kosketusnäyttöissä, mutta niitä löytyy yhä useammin myös kuluttajatuotteista. Antureita integroidaan muun muassa kirurgisiin laitteisiin, mekaanisiin työkaluihin, roboteihin, käsikäyttöisiin laitteisiin sekä autojen renkaisiin ja jarruihin esimerkiksi turvallisuuden ja laadunvalvonnan parantamiseksi.

Taktiliset anturit perustuvat resistiiviseen ja kapasitiiviseen mittaukseen, ja niiden avulla voidaan tunnistaa kosketusta ja voimia. Näin ne pystyvät arvioimaan muun muassa painetta, tekstuuria, spatiaalista resoluutiota sekä muita kohteen ominaisuuksia. Taktiliteknologia mahdollistaa sen, että robotti

kykenee tuntemaan painetta ja erottamaan erilaisia pintoja, mikä tekee niistä olennaisia robottikäsien ja tarttujien toiminnassa. Tämän ansiosta robotti voi säädellä otteensa voimakkuutta ja parantaa esineiden käsittelyn tarkkuutta erityisesti vaativissa sovelluksissa. [30, 31, 42]



Kuva 9 BarrettHand, jossa on integroidut PPS-kosketusanturijärjestelmät [43]

2.3.7 Paineanturi

Paineanturit tunnistavat paineen muutoksia ja sijaitsevat useimmiten robottien tarttujaosissa. Näiden antureiden avulla robotti pystyy seuraamaan, kuinka paljon voimaa se käyttää esineen pitämisessä otteessaan. Paineantureilta saatavan tiedon perusteella robotti voi sovittaa otteen voimakkuuttaan tarkasti tilanteen mukaan: liian kova puristus voi vahingoittaa hauraita esineitä, kun taas liian heikko ote saattaa johtaa esineen putoamiseen. Siksi paineanturit tekevät robotin tartuntaliikkeistä sekä turvallisia että tehokkaita mahdollistamalla esineiden käsittelyn luotettavasti ja niitä vahingoittamatta. Näiden ominaisuuksiensa vuoksi paineanturit ovat tärkeitä erityisesti tehtävissä, joissa käsitellään erilaisia ja herkkiä materiaaleja tai esineitä. [30, 31]

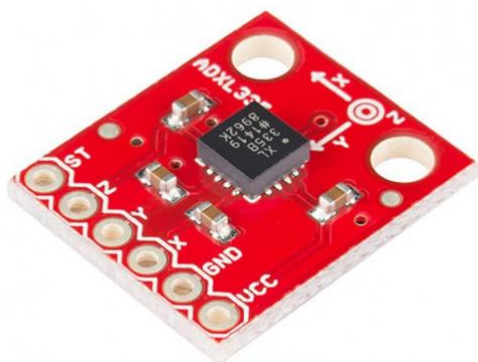
2.3.8 Voima-anturi

Voima-anturit mittaavat sekä kohteeseen kohdistuvan voiman suuruuden että suunnan. Tämä tieto on ratkaiseva erilaisten robottisovellusten kannalta. Anturit

integroidaan usein robottien käsivarsiin, esimerkiksi robottikäteen tai tarttujaan. Näin robotti pystyy säätämään käyttämäänsä painetta tarkasti eri työvaiheissa, mikä mahdollistaa esimerkiksi herkkien esineiden käsittelyn niitä vahingoittamatta tai optimaalisen voiman käytön vaativissa kokoonpanotehtävissä. Voima-antureiden ansiosta robotti pystyy toimimaan turvallisesti, tehokkaasti ja tarkasti erilaisissa tehtävissä, joissa voimansäätelyllä on tärkeää. [30, 31]

2.3.9 Kiihtyvyysanturi

Kiihtyvyysanturi mittaa robotin kiihtyvyyttä ja siihen vaikuttavia voimia, kuten painovoimaa, liikettä ja tärinää. Anturin avulla pystytään havaitsemaan nopeuden, kallistuksen ja suunnan muutokset sekä tunnistamaan mahdolliset iskut tai äkilliset pysähdykset, mikä on olennaista navigoinnin, tasapainon ja turvallisuuden kannalta. Kiihtyvyysanturi mittaa sekä staattista kiihtyvyyttä ja dynaamista kiihtyvyyttä ja muuntaa nämä fyysiset voimat sähköisiksi signaaleiksi, joiden perusteella robotti voi päätellä oman fyysisen tilansa. Sitä käytetään esimerkiksi tasapainottavissa ja mobiileissa roboteissa sekä liikeohjatuissa sovelluksissa eleiden tunnistamiseen, askelten laskemiseen ja liikepohjaiseen navigointiin. [30, 31]



Kuva 10 Kiihtyvyysanturi [44]

2.3.10 Gyroskooppi

Gyroskooppi mittaa robotin kulmanopeutta tai pyörimisnopeutta sen akselin ympäri. Anturi pystyy havaitsemaan kallistumisen, kääntymisen ja suunnan muutokset, joka on välttämätöntä tasapainon, vakauden ja tarkan navigoinnin kannalta. Gyroskooppia käytetään esimerkiksi drooneissa, humanoidiroboteissa ja mobiilirobooteissa, joissa tasapaino ja asennon hallinta on kriittistä. Kun gyroskooppi havaitsee muutoksia robotin asennossa, ohjausjärjestelmä voi reagoida säätämällä moottoreita tai toimilaitteita, mikä mahdollistaa esimerkiksi itsetasapainottavan robotin tai itseohjautuvan ajoneuvon toiminnan, vaikka gyroskooppi mittaakin ensisijaisesti suunnan muutoksia ja vaatii muiden antureiden tukea absoluuttisen paikannuksen saavuttamiseksi. [30, 31]



Kuva 11 Gyroskooppi [45]

2.3.11 GPS

Robotit hyödyntävät GPS-järjestelmää (Global Positioning System) ulkona liikkueissaan. GPS:n avulla ne voivat määrittää oman maantieteellisen sijaintinsa, kuten leveys- ja pituusasteen sekä korkeuden, ja suunnitella reittinsä satelliittisignaalien perusteella. Robotin GPS-vastaanotin laskee sijainnin mittaamalla, kuinka kauan signaali useilta satelliiteilta kulkee vastaanottiin. Näitä sijaintitietoja voidaan yhdistää muiden sensorien antamaan dataan, mikä lisää paikannuksen tarkkuutta erityisesti ympäristöissä, joissa GPS-signaali on heikko tai katkonainen. [46, 47]

2.3.12 IMU-sensori

IMU-anturi (Inertial Measurement Unit), suomeksi inertiamittausyksikkö, on elektroninen laite, joka mittaa kohteen liiketilaa ja asentoa hyödyntäen integroituja kiihtyvyysantureita, gyroskooppeja ja usein myös magnetometrejä. Näiden anturien avulla IMU havaitsee kohteen kiihtyvyyden, kulmanopeuden sekä mahdollisesti magneettikentän. Yhdistämällä eri antureiden mittaustiedot laite tuottaa tarkkaa tietoa suunnan, nopeuden ja sijainnin seurantaan, minkä ansiosta IMU-anturi on olennainen laite esimerkiksi navigoinnissa, vakautuksessa ja liikkeen tunnistamisessa robotiikassa, ajoneuvoissa sekä mobiililaitteissa. [48]



Kuva 12 Pieni IMU-sensori roboteille ja drooneille [49]

2.3.13 Tavalliset anturit

Käytössä on myös muita antureita, jotka ovat yleisiä muuallakin ja monelle tuttuja. Esimerkkejä tällaisista antureista ovat lämpötila-anturi, joka mittaa lämpötilaa, sekä kosteusanturi, jonka avulla mitataan ilman kosteuspitoisuutta tai suhteellista kosteutta. Kaasuanturi tunnistaa erilaisia kaasuja ja niiden pitoisuuksia ympäristössä. Värianturi puolestaan havaitsee ja erottaa värejä. Valoanturi mittaa valon voimakkuutta tai ympäristön kirkkautta. Äänianturi

havainnoi ääniaaltoja tai värinää, ja kosketusanturi tunnistaa fyysisen kosketuksen. Nämä anturit ovat hyödyllisiä monissa erilaisissa sovelluksissa. [30,31]

2.4 Kaupallisia alustoja

Kaupalliset robottialustat tarjoavat valmiita ja monipuolisia ratkaisuja tutkimuksen, opetuksen ja tuotekehityksen tarpeisiin. Ne sisältävät usein integroidut sensorit, tehokkaat ohjaustietokoneet sekä avoimet ohjelmointirajapinnat, jotka mahdollistavat järjestelmän helpon laajentamisen ja muokkaamisen erilaisiin käyttötarkoituksiin. Näiden alustojen etuna on nopea käyttöönotto ja luotettavuus, minkä ansiosta käyttäjät voivat keskittyä sovellusten ja ratkaisujen kehittämiseen ilman tarvetta suunnitella ja rakentaa koko robottijärjestelmää alusta alkaen. Kaupalliset alustat tukevat usein moderneja ohjelmistoalustoja sekä laajaa lisälaitetarjontaa, mikä tekee niistä joustavia ja monikäyttöisiä tutkimus- ja kehitystyön välineitä.

2.4.1 Leo Rover

Leo Rover on puolalaisen Fictionlab-yrityksen kehittämä nelipyöräinen mobiilirobotti, joka toimii avoimen lähdekoodin alustalla. Tämä robotti on suunniteltu erityisesti tutkijoille, opiskelijoille ja harrastajille, jotka haluavat kehittää ja testata erilaisia robotiikkaratkaisuja sekä sisätiloissa että vaativissa ulko-olosuhteissa. Leo Roverin ohjelmisto ja laitteisto ovat helposti muokattavissa, mikä mahdollistaa monipuolisten lisälaitteiden, kuten kameroiden ja sensorien, asentamisen. [50]



Kuva 13 Leo Rover on Fictionlabin kehittämä modulaarinen ja ROS-yhteensopiva UGV [50]

2.4.2 Jackal

Jackal on kanadalaisen Clearpath-yrityksen kehittämä pieni ja nopea kenttärobotiikan tutkimusalusta. Siinä on sisäänrakennettu tietokone, GPS ja IMU, jotka on täysin integroitu ROS-järjestelmään, mikä mahdollistaa valmiit autonomiset toiminnot. Jackal on plug-and-play-yhteensopiva laajan valikoiman robottitarvikkeita, kuten sensorien ja kameroiden, kanssa. [51]



Kuva 14 Jackal on Clearpathin pieni, ketterä ja aloittelijaystävällinen kenttärobotiikan tutkimusalusta. [51]

2.4.3 Unitree Go2

Unitree Go2 on kiinalaisen Unitree Robotics -yrityksen kehittämä nelijalkainen robottialusta, joka on suunniteltu niin tutkimus- ja opetuskäyttöön kuin

harrastajillekin. Unitree Go2 -sarjan nelijalkaiset robottikoirat tarjoavat nopean, vakaan ja älykkään jalkakävelyn kompaktissa, tutkimuksissa hyväksi todetussa alustassa. Jokaisessa Go2-mallissa on sama ketterä rakenne, sujuva liikkeenhallinta sekä sisäänrakennettu LiDAR-pohjainen havainnointi, jonka ansiosta robotti pystyy välttämään esteet ja liikkumaan luotettavasti sekä sisä- että ulkotiloissa. [52]



Kuva 15 Unitree Go2 [52]

Lähteet

- [1] Leopoldo Armesto, *Classification of Mobile Robots | Mobile Robotics*, (19. huhtikuuta 2025). Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=I9CxRSFYiU>
- [2] Tinssen, "AGV, AIV, AMR, SGV, LGV - what are these? | VersaBox". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://versabox.eu/blog/agv-aiv-amr-sgv-lgv-what-are-these/>
- [3] "AGV- ja AMR -ratkaisut monipuolisesti", Wilog. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://wilog.fi/tuotteet/agv-ja-amr-ratkaisut/>
- [4] M. I. Robots, "AMR vs AGV: Key Differences Explained". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://mobile-industrial-robots.com/blog/agv-vs-amr-whats-the-difference>
- [5] Louise, "AGV, AIV, AMR, SGV, LGV – What Are These?", The European Business Review. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.europeanbusinessreview.com/agv-aiv-amr-sgv-lgv-what-are-these/>
- [6] "What are the differences between the intelligent devices RGV, AGV, and IGV used in automated three-dimensional warehouses?" Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.borunte.net/info/what-are-the-differences-between-rgv-agv-igv-86132412.html>
- [7] J. L. O. Hautamäki, "Developing and implementing an AMR demonstration process: From setup to execution". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/881362>
- [8] Tinssen, "What is an AMR Robot? | VersaBox". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://versabox.eu/blog/what-is-an-amr-robot/>
- [9] "Mobile Robots | ABB", ABB Group. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.abb.com/global/en/areas/robotics/products/mobile-robots>

- [10] M. Hopkins, "Warehouse Automation: UGVs, AGVs and AMRs - BoxLogic". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.box-logic.co.uk/warehouse-automation-ugvs-agvs-and-amrs/>
- [11] Tritex, "What's the Difference Between AGV, IGV, and RGV? (2026 Guide)", ebike battery manufacturer. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://tritekbattery.com/whats-the-difference-between-agv-igv-and-rgv/>
- [12] "What are RGV, AGV, and IGV? - Knowledge - Zhejiang Tongzhu Technology Co., Ltd". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.tzbotautomation.com/info/what-are-rgv-agv-and-igv-55771251.html>
- [13] J. Huhtanen, "Sisälogistiikan kehittäminen: Automaattitrukit (AVG ja IGV)", Ziirto. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://ziirto.com/blogi/sisalogistiikan-kehittaminen-automaattitrukit-avg-ja-igv/>
- [14] "What's the difference between AGV, IGV and RGV?-Wisdom Wheel_AGV Drive wheel_AGV Mecanum Wheel". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.zhlun.com/News_details/97715.html
- [15] "SINGLE WHEEL Robots", Robotpark ACADEMY. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.robotpark.com/academy/all-types-of-robots/wheeled-robots/single-wheel-ball-robots/>
- [16] "Robotics/Types of Robots/Wheeled - Wikibooks, open books for an open world". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: https://en.wikibooks.org/wiki/Robotics/Types_of_Robots/Wheeled
- [17] "Complete guide to manipulator robots: benefits and applications | Robotnik®". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://robotnik.eu/complete-guide-to-manipulator-robots-benefits-and-applications/>
- [18] "Omron Mobile Manipulator Solution". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://industrial.omron.fi/fi/solutions/product-solutions/omron-mobile-manipulator-solution>
- [19] "Mobile Manipulator - an overview | ScienceDirect Topics". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/mobile-manipulator>

- [20] "RAMIEL: A Parallel-Wire Driven Monopodal Robot for High and Continuous Jumping". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://tenrobo18.github.io/ramiel-iros2022/>
- [21] DisneyResearchHub, *Untethered One-Legged Hopping in 3D Using Linear Elastic Actuator in Parallel (LEAP)*, (6. lokakuuta 2016). Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa Video]. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=M0ZXmGRCuts>
- [22] "bipedal vs humanoid Archives", InDro Robotics. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://indrorobotics.ca/category/bipedal-vs-humanoid/>
- [23] "Robotics/Types of Robots/Walkers - Wikibooks, open books for an open world". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: https://en.wikibooks.org/wiki/Robotics/Types_of_Robots/Walkers
- [24] S. Simmie, "bipedal vs humanoid Archives", InDro Robotics. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://indrorobotics.ca/category/bipedal-vs-humanoid/>
- [25] "Humanoid robot G1_Humanoid Robot Functions_Humanoid Robot Price | Unitree Robotics". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.unitree.com/g1>
- [26] "sebotics.com/fi/humanoidirobotit/". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://sebotics.com/fi/humanoidirobotit/>
- [27] "Humanoidirobotit tulevat töihin. Oletko valmis?", Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/humanoidirobotit-tulevat-toihin-oletko-valmis/>
- [28] "Notes on three legged robots – Zoran Srdić Janežič". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://zsj.si/notes-on-three-legged-robots/>
- [29] "Quadruped Robots - Advanced Four-Legged Robots for Search, Rescue, Logistics & More | Europa Satellite". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.europasatellite.com/Quadruped-Robots.htm>

- [30] "20 Types of Sensors in Robots - PROVEN Robotics". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://provenrobotics.ai/types-of-sensors-in-robots/>
- [31] Techietory, "Sensors in Robotics: Exploring Types, Advanced Technologies and Real-World Applications", Techietory.com. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://techietory.com/robotics/sensors-in-robotics-types-and-applications/>
- [32] "Ultraäänianturit", Movetec. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://movetec.fi/tuote/ultraaanianturit/>
- [33] "HC-SR04-ultraäänisensori 11,99", Verkkokauppa.com. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/304715/HC-SR04-ultraaanisensori>
- [34] "Infrared Proximity Sensor Module - techiesms". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://techiesms.com/product/infrared-proximity-sensor-module/?srsltid=AfmBOorxbkDhp-ESW1EGDEyhS0etbeq5vXGv7bl-1vjJhw57yigGESxv>
- [35] "The main types of sensors in Robotics & Self-Driving Cars (and how much you should know about each)", ADVANCED ARTICLES FOR CUTTING-EDGE ROBOTICS & AV ENGINEERS. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.thinkautonomous.ai/blog/types-of-sensors/>
- [36] "ZED 2 - AI Stereo Camera | Stereolabs". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.stereolabs.com/en-fi/products/zed-2>
- [37] "2D LiDAR | Leishen Intelligent System". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.lslidar.com/products/2d-lidar/>
- [38] "2D LiDAR", FutureLearn. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.futurelearn.com/info/blog>
- [39] "RPLIDAR A2M7 - 16 Meters, 16KHz, 360°, 2D LIDAR Sensor Scanner - Obstacle Avoidance and Navigation of AGV UAV". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.youyeetoo.com/products/rplidar->

a2m7?srsId=AfmBOooix9lqWhFy2vXtAxjfc398cTJLmu1j_X3o_B2IIAXugny6uqtN

[40] S. Bailey, "2D vs 3D LiDAR: Key Differences & Applications", morpheusTEK. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://morpheustek.com/differences-between-2d-and-3d-lidar/>

[41] "RS-Bpearl | ROS Components". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.roscomponents.com/product/rs-bpearl/>

[42] "Tactile Sensing: Definition, Examples & Sensors". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.tacterion.com/wiki/tactile-sensing>

[43] "Tactile Sensor in Robotics Applications", PPS. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://pressureprofile.com/tactile-sensor-in-robotics>

[44] A. C. Cloud, "Kiihtyvyyssanturit - Partco.fi". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://partco.fi/kategoria/komponentit/sensorit/kiihtyvyyssanturit>

[45] T. Agarwal, "Gyroscope Sensor- Working, Types & Applications", EIProCus - Electronic Projects for Engineering Students. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.elprocus.com/gyroscope-sensor/>

[46] N. a V. for Y. G. A. C. is a managed vector database built on M. perfect for building G. applications T. Free, "How do robots use GPS for outdoor navigation?" Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://milvus.io/ai-quick-reference/how-do-robots-use-gps-for-outdoor-navigation>

[47] T. Pihlström, "Langaton inertiamittausyksikkö", *Wireless Inertial Measurement Unit*, 2014, Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/22266>

[48] "Inertial Measurement Unit (IMU) – An Introduction", Advanced Navigation. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.advancednavigation.com/tech-articles/inertial-measurement-unit-imu-an-introduction/>

- [49] "Small IMU Sensor for Robotics/Drone, RS232/RS485/TTL/CAN", ATO.com. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.ato.com/small-imu-sensor>
- [50] "Fictionlab - Welcome to the world of Robotics". Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://fictionlab.pl/>
- [51] "Clearpath Robotics: Mobile Robots for Research & Development", Clearpath Robotics. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://clearpathrobotics.com/>
- [52] "UnitreeRobotics-More than Wisdom, Be with You", UnitreeRobotics. Viitattu: 30. maaliskuuta 2026. [Verkossa]. Saatavissa: <https://shop.unitree.com/>

