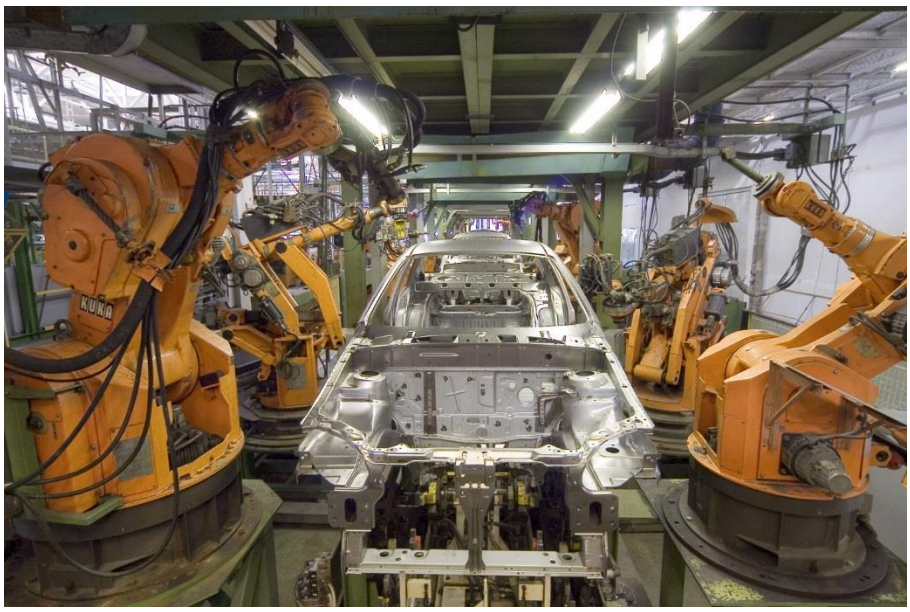
Matti Vuori, 1.6.2016

Ihmisenkaltaisten robottien testauksesta

Sisällysluettelo:

1. Johdanto

Koko maailma tuntuu olevan jälleen robottihuumassa. Ensimäistä kertaa roboteista kohistiin vuosikymmeniä sitten, kun niitä alettiin soveltaa valmistavassa teollisuudessa mm. kokoonpanotöissä, hitsauksessa ja maalauksessa.



Kuva 1. Teollisuusrobotteja autotehtaassa (Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_robots, By Mixabest - Own work, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9820288)

Nyt odotetaan robottien uutta tulemista, mutta ei vain tehtaissa, vaan kaikkialla muuallakin: fyysiset robotit kirurgien apuna, vanhusten ja vammaisten tukena, ohjelmistorobotit automatisoimassa tietotyötä. Jälkimmäisiä ei perinteisesti ole pidetty robotteina. Robotin määritelmään on kuulunut fyysisyys ja ennen kaikkea käden olemassaolo, mutta hype saa termit tarttumaan joka paikkaan.

Taulukossa 1 on robotteja jäsennetty sen mukaan, miten ne ovat yhteistoiminnassa ihmisten kanssa.

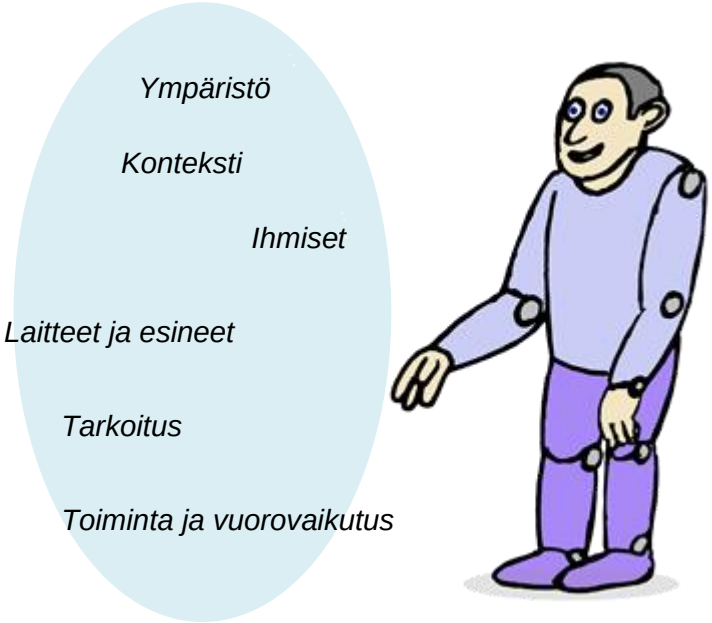
Taulukko 1. Robottien tyyppejä.

	Vain ohjelmistopohjainen	Fyysinen
Yhteistoiminnallinen robotti	Ohjelmistoagentti Päätöksenteon tukijärjestelmä Virtuaalinen työpari	Ihmisenkaltainen robotti Teollisuusrobotti Vanhusten ja vammaisten apulainen
Itsenäisesti toimiva robotti	Tekoälyjärjestelmä prosessissa, datan käsittelyssä	Eristetty teollisuusrobotti Ihmistä välttelevä apurobotti Robottiajoneuvo

Ihmisen erottaminen robotista on joskus tärkeää siksi, että fyysinen robotti voi olla vaarallinen. Siksi teollisuusrobotit ovat perinteisesti suljetuissa häkeissä tai niiden ympärillä on tunnistimisia, joilla huomataan ihmisen mahdollinen tuleminen vaara-alueelle. Robottiautotkin tunnistavat ihmiset näkökentässään ja pysähtyvät tarpeen mukaan.

Älykkyys vaihtelee jatkossakin laajasti. Jotkut robotit ovat yksinkertaisia manipulaattoreita, jotka kenties reagoivat johonkin anturin tuottamaan herätteeseen ja joillain on päättelykykyä ja kykyä oppia.

Ihmisenkaltaisten robottien odotetaan tulevaisuudessa olevan tavallinen näky työpaikoilla, laitoksissa ja kotitalouksissa. Ne edustavat uudenlaista kehittynyttä, älykästä automaatiota. Viedäksemme testauksen tiedettä ja taitoja eteenpäin on nyt hyvä aika arvioida haasteita sellaisten tuotteiden testauksessa ja rakentaa valmiutta testata jopa näistä roboteista vaativimpia tyyppejä. Ja samalla tunnistaa asioita, joita tutkimusyhteisön pitäisi alkaa selvittää.



Kuva 2. Ihmisenkaltainen robotti.

2. Ihmisenkaltaisten robottien piirteitä

2.1 Monenlaisia tyyppejä

Tietenkin robotteja tulee olemaan monia erilaisia tyyppejä ja konfiguraatioita, joilla on hyvin erilaisia piirteitä:

- Jotkut ovat tarkoitettuja olemaan yksinkertaisia fyysisen työn apulaisia ja kykenevä tekemään yksinkertaisia tehtäviä – kuten nostoapulainen ikäihmisille, tai imuroijarobotti.
- Jotkut ovat suuntautuneet viestintä- ja muistiavuksi käyttäjälle.
- Joidenkin idea on tarjota henkilökohtaista seuraa ja iloa
- Koko saattaa vaihdella (kääpiökokoinen on vielä Ihmisen kaltainen).

- Jotkut ovat selvästi turvallisuuskriittisempiä enemmän kuin toiset.
- Autonomia vaihtelee – yksinkertaisten komentojen suoritus vs. tehtävien tekeminen itsenäisesti.
- Kyky oppia vaihtelee. Käyttäjä tai valmistaja tai joku muu ohjelmoi jotkut, mutta jotkut voivat oppia uusia asioita itse.
- Jne…

2.2 Keskeisiä piirteitä

"Pahimman tapauksen" – tai "parhaan tapauksen" – arvioimisen vuoksi tarkastelemme kehittyneimpiä robotteja. Niiden piirteitä on koottu seuraavaan taulukkoon.

Taulukko 2. Ihmisen kaltaisen robotin piirteitä ja niiden vaikutuksia.

Piirre	Vaikutus
On uusi asia	Ihmisillä on erilaisia odotus niistä ja tulee olemaan yllätyksiä.
On ihmisenkaltainen	Saattaa saada ihmisiä odottamaan ihmismäisen ymmärryksen epärealistista tasoa. Tuottaa perusteetonta luottamusta. Tämä tekee elämän miellyttävämmäksi mutta saattaa aiheuttaa ongelmia uuden teknologian kanssa. Kun robotit esiteltiin teollisuudelle, ensimmäinen opastus oli: älkää inhimillistäkö niitä, muistakaa, että ne ovat koneita.
On fyysinen, ja liikkuva	Niillä on läsnäoloa, saattaa aiheuttaa riskejä liikkumalla ja estämällä ihmisten liikkumisen.
Voi nostaa, siirtää asioita	Saattaa aiheuttaa riskialttiuksia toimimalla vääriin esineiden kanssa, pudottamalla niitä tai viemällä ne väärään paikkaan.
Sillä on kehittynyt aistijärjestelmä	Voi tunnistaa asioita paremmin kuin ihminen ja voi kommunikoida monin tavoin
On älykäs	Älykkyys on suuri apu mutta voi olla vaarallista.
On persoonallinen	Huolimatta yllä olevista varoituksista selvästi robotilla voi olla persoonallisuus, ja joka aina merkitsee joitakin omituisuuksia.
On oppiva	Oppii elämänsä aikana omasta toiminnastaan, käyttäjistään, ympäristöstään.
On ohjelmistojärjestelmä	Robotin käyttäytyminen perustuu ohjelmistoon. Ohjelmisto tekee ne sopivaksi tehtävään ja kontekstiin ja erottaa eri robotin toisistaan.
On verkottunut paikallisesti ja maailman kanssa	Robotti voi "tietää kaiken".

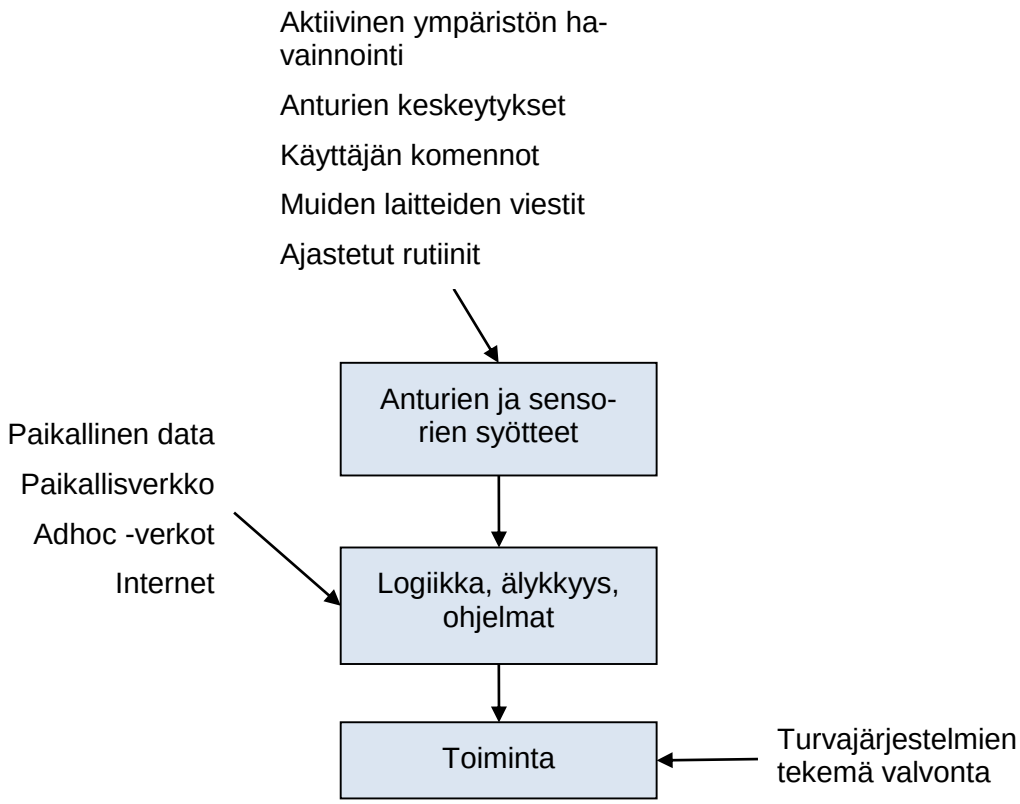
Piirre	Vaikutus
On ”tietovaarallinen”	Robotti voi myös paljastaa kaiken. Ja vaikka käydä avaamassa ulko-oven fyysisen lukon.
On teknisesti monimuotoinen ja monimutkainen	Ovat vaikeita kehittää ja testata.

2.3 Toiminnan ohjaus

Aistijärjestelmä on mielenkiintoinen. Tällaisella robotilla on monia sensoreita, joiden avulla se saa tietoa käyttäytymisen suunnitteluun ja ohjaamiseen:

- Ääni/ääni.
- Näkö (liikkeentunnistus, hahmontunnistus)
- Lisätty todellisuus (virtuaalisena anturina). Potentiaalisesti infrapuna- tai ultraviolettivaloa käyttävät vihjeet ja opasteet, jotka ovat näkymätön ihmisille (kun robotit yleistyvät, ympäristö on voitu suunnitella tukemaan niitä).
- Paikannus, sijainti.
- Välimatkamittari.
- Nopeus, kiihtyvyys.
- Asento, kierto.
- Läheisyys.
- Kosketus.
- Voima, paine.
- Hajuaisti.
- Lähialueen datasensorit.
- Ja monia muita…

Kaikki toimenpiteet, joita se tekee, perustuvat moniin lähteisiin ja mekanismeihin:



Kuva 3. Hyvin yksinkertaistettu prosessi robotin ryhtymisestä toimenpiteeseen.

Toinen prosessimalli voisi olla taulukon 3 mukainen (perustuen Antti Jääskeläisen luonnokseen).

Taulukko 3. Robotin toiminnan yksinkertainen malli.

Syötteet		Menetelmät		Mahdollisuudet
Sisäinen data, sisäiset mallit	→		→	Robotin maailman alkuperäinen malli
Anturitieto	→	Logiikka	→	Maailman päivitetty malli
Potentiaaliset toimenpiteet tilanteessa	→	Säännöt, vahtien tarkistus	→	Mahdolliset toimenpiteet tiedetään
Hyöty- / arvofunktiot			→	Ennustettu arvo, joka saadaan mahdollisista toimenpiteistä; toimenpiteisiin liitetty
		Logiikka (heuristiikat etc.)	→	Toiminnon valinta – mikä on "paras"
		Suoritus	→	Toiminto

Käytössä tulee olemaan muita lähestymistapoja ja teknologioita ja arkkitehtuureja, joissa toteutukset vaihtelevat. Tarkalla toimintalogiikan tyypillä ei ole tässä yhteydessä merkitystä. Olennaista on se, että kokonaisuus on monimutkainen. Sieltä löytyy antureita ja sensoreita, viestintäkomponentteja, puheen-, hahmojen ja liikkeentunnistusta, ihmisen eleiden ja ilmeiden tunnistusta, erilaisia päättelykoneita, tilakoneita, hermoverkkoja ja ties mitä. Kompleksisuus hallitaan testauksessa testaajan asenteella, menetelmillä ja järjellä.

3. Haasteita testauksen kannalta

3.1 Yleisiä haasteita

Robotilla on monenlaisia laatutekijöitä testauksen kannalta:

- Se on laite, jonka toiminnan oikeellisuus ja luotettavuus on testattava.
- Se on myös turvallisuuskriittinen laite ja sellaisten testaus edellyttää omanlaisiaan toimia.
- Älykkyyden testaus on aivan uusi haaste.
- Robotti toimii monitoimijakontekstissa ja kokonaisuuden testaus on haastavaa.
- Robotti on kiinni tietoverkoissa ja siksi tietoturvallisuuden testaus on tärkeää. Oppiakseen robotti kerää koko ajan intiimiä tietoa käyttäjistä ja käyttöympäristöstä.

3.2 Ihmisenkaltaisuus

Testaajat ovat ihmisiä, ja sellaisina he ovat taipuvaisia samoihin psykologisiin ilmiöihin kuin robottien käyttäjät. He saattavat suhtautua Ihmisenkaltaisiin robotteihin ihmetyksellä, kunnioituksella ja huolenpidolla. Mutta tämä kaikki on hyvän testauksen vihollinen. Hyvän testauksen pitäisi tähdätä ohjelmiston rikkomiseen (joskaan ei fyysisen robotin rikkomiseen…) ja se selvästi edellyttää, että emme välitä sen hyvinvoinnista. Mitä enemmän Ihmisenkaltainen robotti on testauksessa pulassa, sitä parempi! Joten meidän tarvitsee kiinnittää huomiota testaajien asenteisiin.

3.3 Uusi konsepti, uusi teknologiapaketti

Toinen ilmiö on, että ihmiset ekstrapoloivat testauksensa lähestymistavan historiastaan ja edellisistä projekteista siten, että lopputulos on "juuri riittävä" – jos kukaan ei valita lähestymistavan riittämättömyydestä, sen täytyy olla ok. Mutta kun testin alla oleva järjestelmä ottaa ison hyppäyksen haasteissa – uusi konsepti, uusi taso monimutkaisuutta, kokonaissysteemin vuorovaikutusten uudet tyypit, paljon uutta teknologiaa, kooste erilaisia kehityskulttuureja – koko testausta pitäisi arvioida uudelleen. Olisi virhe ajatella robotteja vain yhtenä uutena ohjelmoitavana laitteena, ja automaation uutena tyyppinä tai hieman entistä vakavampana leluna.

Kaikki tämä vaatii normaalia parempaa testausosaamista, mielellään mukana on useita testaajia, joilla on toisiaan täydentävää osaamista. Esimerkiksi käyttökokemuksen testausosaamista – ei vain käytettävyyden testausosaamista – ja ymmärrys automaatiojärjestelmistä ja turvallisuuskriittisistä järjestelmistä ovat erityisen välttämättömiä testauksen ja kehityksen ydintiimissä. Tietoturvallisuusanalyysi- ja -testaustaidot voidaan usein "ulkoistaa". Laitteistoon liittyvät testauskyvykkyydet riippuvat laitteistokehityksen ja hankintojen luonteesta. Tällaisessa kontekstissa on tärkeä metakyvykkyys ymmärtäminen, minkälaisia kyvykkyyksiä tarvitaan kehityksessä ja testauksessa, ja kyky reflektoida omaa kyvykkyyttä sitä ymmärrystä vasten.

Yksi testauksen tavoitteista on oppia asioista, joita kehitetään. Tällaisessa asetelmassa oppiminen on erityisen tärkeä. Niinpä hyvä testaus ei voi olla "suoritus", vaan yritys ymmärtää uusia asioita, saadakseen oivaltamisia, joiden perusteella voi toimia. Mm. tutkiva testaus on tärkeässä roolissa oppimisessa. Ennen virheiden etsimistä on tärkeää kokeellisesti selvittää, miten systeemi käyttäytyy, saada siitä ”tolkkua” (sensemaking).

3.4 Käyttäjäkokemus

Varsinkin kaikilla uusilla konsepteilla on käyttäjäkokemus keskeinen. Käytettävyys on yksi sen osa, mutta robottijärjestelmällä tulee vastaan monia muita asioita:

- Miten hyvin käyttäjät kokevat robotin sopivan heidän toiminnalliseen kontekstiinsa ja kulttuuriinsa?
- Vaatiiko robotti tarpeetonta valvontaa? Häiritseekö sen läsnäolo?
- Pelottaako se vaikkapa lapsia tai kotieläimiä?
- Jne…

Tällaisia asioita pitää ensin analysoida ja sitten testata sopivilla koehenkilöillä ja sopivissa todellisuutta vastaavissa ja todellisissa olosuhteissa. Tässä on pitkälti kyse konseptitason analysoinnista ja testauksesta, missä pitää erottaa suunnittelun päälinjat pienistä detaljeista.

3.5 Epädeterministinen monitoimijaympäristö

Koko ympäristö, jossa robotit toimivat, on myös mielenkiintoinen. Asiat tapahtuvat samanaikaisesti, epädeterministisellä tavalla. Koko järjestelmä on käytännöllisesti katsoen tuntematon, ja muuttuu usein, koska sen vuorovaikutukseen tuodaan dynaamisesti uusia laitteita, ihmisiä ja robotteja ja samoin niitä poistuu aina silloin tällöin ilman varoitusta. Kaikki osanottajat kommunikoivat monilla erilaisilla tavoilla ja niillä saattaa olla eri rooleja eri toiminnoissa (käynnistäminen, osallistuminen aktiivisesti, tarkkailu jne…). Myös jotkut toimintajärjestelmän elementit saattavat olla vihamielisiä ja niiden luotettavuus on tuntematon. Tämä tilanne vaatii "vainoharhaisia" turvallisuus- ja luotettavuusstrategioita järjestelmien suunnittelussa ja testauksessa.

Robotti toimii monitoimijakontekstissa, jossa on robotin lisäksi ihmisiä ja muita vaihtelevan älykkäitä laitteita. Ideaalisesti tämä kokonaisuus toimii yhdessä sujuvassa harmoniassa. Niinpä sen kokonaisuutta pitää testata, eikä vain systeemin elementtejä yksinään.

On olennaista miettiä kokonaissysteemin skenaarioita – miten eri toimijat toimivat, miten muut reagoivat niiden toimintaan, miten robotti hallitsee erilaiset kokonaisuuden poikkeamat. Tämän tueksi on tärkeää tehdä erilaisia esim. poikkeamatarkasteluja ja luotettavuusanalyysejä. Testauksen lähtökohta on älykäs skenaarioiden manuaalinen tutkiva testaus. Testiautomaatio edellyttäisi kokonaisjärjestelmän mallia, jonka avulla voidaan kokonaisuutta ”pommittaa” erilaisilla vuorovaikutuksilla – ja mielellään siten, että mukana on myös fyysisen vuorovaikutuksen taso. Sellaisten aikaansaaminen edellyttää vielä tutkimusta ja menetelmä- ja työkalukehitystä.

Yksinkertaisemmassa muodossa ja käsitteistössä tämä on yhdessätoimivuus- ja yhteensopivuustestausta.

3.6 Turvallisuuskriittisyys

Jos ja kun robotin toiminta aiheuttaa vaaraa, on siihen suhtauduttava turvallisuuskriittisenä laitteena. Silloin on suunnittelun ja testauksen lähtökohtana ”turvallisuuselinkaari”, joka lähtee vaarojen ja mahdollisten ongelmien tunnistamisesta, jatkuu hyvänä suunnitteluna ja päätyy osien testaamisen kautta (matalan tason toteutukset, ohjelmistojärjestelmä, käyttöliittymät) kokonaisjärjestelmän validointiin.

Olennaista on erottaa toisistaan ainakin loogisella tasolla robotin toiminnallinen järjestelmä ja turvajärjestelmät. Robotin toiminnallisen järjestelmän on hyvä olla luonnostaan turvallinen – sietää häiriöitä, hallitsee ongelmat turvallisesti jne… Mutta koska siihen ei kuitenkaan pidä luottaa, on turvajärjestelmän oltava olemassa ja erityisen luotettava. Jos esimerkiksi on vaarana, että ihminen voi jäädä robotin otteeseen, on turvajärjestelmän pysäytettävä robotti luotettavasti ennen kuin niin tapahtuu, ja jos tapahtuu, tilanne on voitava purkaa ilman lisävahinkoja.

Turvallisuusstandardit, kuten SFS-EN-61508-sarja antavat hyviä ohjeita turvallisuuden suunnitteluun ja testaukseen. Perusideoita ovat:

- Lähtökohtana riskien tunnistaminen ja niiden suuruus vaikuttavat kehittämisen vaatimuksiin (mm. testauksen vaatimuksiin).
- Systeemille tehdään luotettavuusanalyysejä (mm. vika- ja vaikutusanalyysi), jolla paljastetaan mahdollisia teknisiä ongelmia. Toteutus varautuu niihin ja ne testataan. Mitä esimerkiksi tapahtuu, jos jokin sensori vikaantuu, verkkoyhteys katkeaa tai akku loppuu?
- Teknisen alustan pitää olla hyvin robusti ja sitä testataan kattavasti erilaisilla tavoilla. Vikoja ei juuri sallita.
- Kokonaisuuden turvallisuus validoidaan kattavilla testeillä.
- Validoivan testauksen pitää olla sopivasti riippumatonta kehittämistiimistä.

Koska turvallisuuskriittistä toiminnallisuutta koskevat prosessi vaatimukset ovat korkeat, pitää huolella miettiä, mikä kaikki sisältyy siihen ja mikä on ”vapaampaa”.

Oppivalla turvallisuuskriittisellä systeemillä on kaksi mielenkiintoista ongelmaa. Laitteet ovat vaarallisimmillaan poikkeus- ja häiriötilanteissa. Sellaiset tilanteet pitää testatakin kunnolla. Käyttäytyminen sellaisissa voidaan perinteiseen tapaan ohjelmoida, mutta entä jo käyttäytyminen syntyy opettamalla osaksi tehtaalla ja osaksi käyttökontekstissa? Jaksetaanko poikkeustilanteiden opettamiseen panostaa? Edes normaalien työnkulkujen opettamiseen ei ole riittävästi aikaa. Niinpä turvajärjestelmän merkitys korostuu, toisin sanoen pitää olla luotettava itsenäinen järjestelmä, joka tunnistaa vaikkapa vaaratilanteen ja keskeyttää robotin turvallisesti. Pelkästään siihen luottaminen ei ole hyvä turvallisuusstragetia.

Toisekseen, tietty konfiguraatio validoidaan perinteisesti testaamalla, mutta mikä merkitys on tietyn oppimistason validointitesteillä, kun robotin oppiminen muuttaa käyttäytymistä? Oppiminen tuottaa selvästi erilaisen robotin vähän oppimisen asteesta riippuen. Jos oppiminen liittyy vaikkapa uusien hyllylle nostettavien esineiden ja niiden paikkojen tunnistamiseen, tilanne ei ole kovin hankala, mutta sitä se on, jos robotti oppii aivan uusia käyttäytymismalleja.

Luonnollisesti järjestelmän muotoilua pitää arvioida suhteessa suunnittelustandardeihin, ml. ISO/TS 15066.

Yksi osa tuoteturvallisuutta on mahdollinen väärinkäyttö. Sen mahdollisuuksia pitää tunnistaa analysoimalla ja ideoimalla ja miettimällä, miten väärinkäyttöä voidaan estää suunnitteluratkaisuilla. Robotin älykkyys antaa monia mahdollisuuksia väärinkäyttöön, mutta myös sen estämiseen. Varsinkin erilaiset estot ovat kokeellisen testauksen kohteita.

3.7 Tietoturvallisuus

Viestinnässä robottien, muiden toimijoiden ja tietovarastojen välillä on erilaisia verkkoja, mm.:

- Robotin sisäinen / lähialueen verkko, joka liittää sen elementit.
- Adhoc-verkot laitteiden ja ihmisissä olevien laitteiden välillä (kuten älykäs vaatetus, älypuhelimet jne.).
- Lähiverkko.
- Internet.
- Kaikki erityisverkot erikoistarkoituksille.

Verkkojen luominen ja kytkeminen ja tietoturvallisuus ovat testauksen kannalta oleellisia piirteitä. Sinänsä tilanne ei robottien suhteen ole mitenkään erilainen kuin millä tahansa esineiden Internet- tai teollisuuden Internet –järjestelmällä.

Tietoturvallisuuden arviointi ja testaus ei sinänsä eroa juurikaan muiden ”mobiilien” järjestelmien vastaavasta. Älykäs robotti on kuitenkin aktiivinen ja informaatiointensiivinen ja voi älykkyytensä vuoksi tehdä kaikkea ”mielenkiintoista”. Niinpä sen yhteydessä painottuvatkin sille annetut oikeudet ja niiden noudattaminen. Voiko sen esimerkiksi kieltää näkemästä ja kuulemasta tiettyjä asioita? Sellaiset mekanismit pitää tarkastaa ja testata huolella. Tietoturvallisuus linkittyy vahvasti myös fyysiseen turvallisuuteen. On täysin relevanttia ajatella skenaariota, jossa rikollinen ohjelmoi kohteen robotin avaamaan ulko-oven tai vääntämään lieden päälle tulipalon toivossa.

Robotteja kehitetään myös teknisessä kulttuurissa, jossa datan keruuta pidetään tärkeänä ja pyrkimys sensori- ja käyttäjädatan keräämiseen valmistajan palvelimelle lisää mahdollisia riskejä. Vastavoimana tällaisille valmistajien pyrkimyksille voi olla laitteen konfigurointimahdollisuuksia ja niiden testaus onkin tärkeää. Siinä ei saa unohtaa käytettävyyttä, sillä mikään ei ole niin vaarallinen kuin konfigurointilomake, jota käyttäjä ei ymmärrä tai ymmärtää sen väärin.

Tavanomaisessa testauksessa OWASP Mobile Project on hyödyllistä tutustuttavaa

https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Mobile_Security_Project

3.8 Olosuhdetestaus

Kun robotteja tuodaan hallittujen tehdasolosuhteiden sijaan vaikkapa koteihin, on tärkeää testata niiden toimivuutta vaikkapa niiden eri aistien kannalta haastavissa olosuhteissa: heikko valaistus, vastavalo, melu, erilaiset lattiaratkaisut jne… Ja tietysti kaikkien niiden vaihtelu. Esimerkiksi hahmontunnistus on ongelmallinen, jos se ei toimi luotettavasti hämärässä, vaan tuottaa vääriä tulkintoja tai taustamelu haittaa äänikomentoja.

3.9 Tahallinen väärinkäyttö

Jokaista laitetta, jossa on älyä ja kykyä toimia, tullaan välittömästi käyttämään tarkoituksiin, joihin sitä ei ole suunniteltu. Tällaiset on suunnittelun lähtökohdaksi yritettävä tunnistaa, suunnitteluratkaisuin estää ja sitten testata, että estot toimivat luotettavasti.

3.10 Älykkyyden testaaminen

Älykäs ja oppiva systeemi vaatii omanlaistaan testausta. Ensimmäinen haaste on selvittää tutkivalla testauksella se logiikka, jolla systeemin äly toimii. Tätä pitää tietysti tehdä ensimmäisenä kaikenlaisille järjestelmille. Jotta äly paljastuu, on hyvä olla mahdollisimman avoimia testiskenaarioita, jotta älyllä on liikkumavaraa. Älykästä järjestelmää ei saa kunnioittaa, vaan se pitää laittaa koville, ongelmiin ja umpikujiin. Tarvitaan lähes psykologin ajattelua.

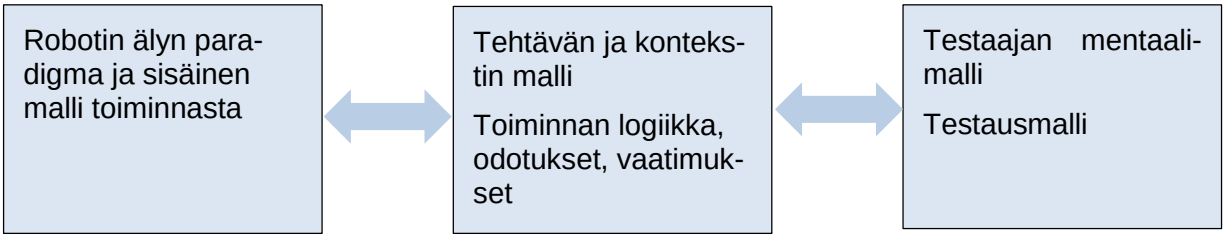
Ennen kaikkea: älyä pitää epäillä. Sen vinoumat ja rajat pitää selvittää.

Todennäköisimmin robottien äly on pitkälti sääntöpohjaista ja säännöille on olosuhteita, syötteitä ja olioita vaihtelemalla mahdollista selvittää, miten ne toimivat ja milloin ne toimivat. Perinteiset testaustekniikat, kuten päätöspuut, ekvivalenttiositus, raja-arvoanalyysi yms. ovat tärkeitä tässäkin kontekstissa.

Mutta tietenkin älykkyydellä on aina jatkumo, jolle kukin robotti asettuu ja testaustapa pitää sovittaa sen mukaan.

Kuva 4. Robottien älykkyyden jatkumo.

Olennaista: Testaajan ei järjestelmätasolla tarvitse tietää älykkyyden mekanismeja. Testauksen kohteena ei olekaan ”robotti” tai ”äly”, vaan käyttäytyminen suhteessa tarpeisiin, vaatimuksiin, mahdollisiin vaaroihin ja käyttäjäkokemukseen. Olennaista ei millään tasolla ole tuntea robotin sisäistä logiikkaa, vaan löytää hyviä testimalleja, jotka kuvaavat odotuksia toiminnalle testauksen näkökulmasta.



Kuva 5. Testaajan näkökulma toiminnan tasolla kumpuaa tehtävän mallinnuksesta.

Osa älyä voi olla oppimiskyky. Testauksella pitää selvittää, että senkin mekanismit toimivat. Että robotti:

- Oppii oikeita asioita.
- Oppii ne oikein.
- Ei opi vaarallisia asioita.
- Varmistaa oppimisensa käyttäjältä tarpeen mukaan.
- Omasta älystään huolimatta tottelee käyttäjää.

Viime aikoina on ollut esillä robottien ja tekoälyn etiikka. Sen pitäisi näkyä esimerkiksi robotin suhteessa ihmiseen: voidaanko se esimerkiksi opettaa vahingoittamaan ihmistä? Ja milloin? Mitä kaikkea robotti saa tehdä pelastaakseen ihmisen? Tällaisenkin käyttäytymisen testaus tulee jossain vaiheessa vastaan. Tietynlaista sääntöpohjaista tehtävään sidottua käyttäytymistä ei vielä voida pitää etiikkana.

3.11 Testausta eri tasoilla

Testauksen abstraktiotasoja on perinteisesti jäsennetty mahdollisimman matalasta korkeampiin tasoihin. Ohjelmistojen osalta on tyypillinen jäsennys yksikkö-integrointi-järjestelmä-hyväksymistestaus-jako. Mutta dynaamisessa järjestelmässä, jossa robotti on yksi toimija, abstraktiotasoja on monia muitakin:

- Sensorit ja toimilaitteet – logiikka – käyttäytyminen.
- Yksi laite – laiteparit – laiteparvi.
- Tarkkuus, voima – nopeus, sujuvuus – kyvykkyys skenaarioissa ja käyttötapauksissa.
- Asian eristetty yksinkertainen testaus – yksinkertainen tilanne yhdistettynä muihin elementteihin tai toimijoihin – monimutkainen vuorovaikutustilanne.
- Paikallinen toiminta – paikallinen alue / konteksti / verkko – globaali tilanne.
- Ohjelmisto – ohjelmiston ja raudan yhteistoiminta (ml. käyttöliittymä) – kokonaistuote.
- Jne…

Hallitussa testauksessa kannattaa miettiä tällaisia testauksen jäsennyksiä tilannekohtaisesti. Mille kaikille tasoille pitää keskittyä, riippuu aina tuotekehitystilanteesta. Kuitenkin, robotin käyttäytyminen on ainoa taso, joka tuottaa lisäarvoa käyttäjälle ja asiakkaalle. Fokusoituminen siihen auttaa näkemään, mikä teknologiassa on testauksen kannalta oleellista. Muuten teknologiapino voi olla pelottava.

<table>
<tr><td>Actuator</td><td>Actuator</td><td>Actuator</td><td>Safety controls</td><td>Safety controls</td></tr>
<tr><td colspan="3">Limbural-muscular subsystem</td><td colspan="2">Safety devices</td></tr>
<tr><td>Application</td><td>Application</td><td>Application</td><td colspan="2">Monitors</td></tr>
<tr><td colspan="3">Intelligence layer</td><td colspan="2">Safety intelligence</td></tr>
<tr><td colspan="3">Operating system</td><td colspan="2">Safety system OS</td></tr>
<tr><td colspan="2">Drivers</td><td>Network stack</td><td>Drivers</td><td>Network stack</td></tr>
<tr><td>Sensors</td><td>Sensors</td><td>Adapters</td><td>Sensors</td><td>Adapters</td></tr>
</table>

Kuva 6. Teknologiapino/arkkitehtuuri ei juuri ohjaa testausta (kuva ei ole eksakti, vaan vain kuvaileva).

3.12 Osaamishaasteita

Testauksessa yhdistyy monenlaisia testausalueita ja -haasteita, jotka ovat eri osaamisalueilla tavanomaisia, mutta harvoin yhdessä kokonaisuudessa.

Taulukko 4. Testausalueita ja vastaavia osaamisalueita.

Testausalue	Osaamisalue
Fyysinen toiminta, toimilaitteet ja sensorit Turvallisuus	Teollisuusautomaatio
Tuotekonseptit Kulttuurinen sopivuus Käyttötavat Käyttöliittymät Käyttäjäkokemus	Teollinen muotoilu Käyttökokemussuunnittelu
Ohjelmistotekniikka Datan käsittely Tietoverkot	Tietotekniikka
Tietoturvallisuus	Tietoturvallisuus

Testausalue	Osaamisalue
Äly	Tekoäly

Taulukko visualisoi sitä, että kehittämisessä tarvitaan ihmisiä, joilla on erilaista kokemusta erilaisten kehittämiskontekstien haasteista.

4. Robottijärjestelmän elementtien testityyppejä

Seuraavassa taulukossa hahmotellaan yhteenvedonomaisesti olennaisimpia testaustyyppejä järjestelmäelementtejä varten (luettelo ei sisällä kaikkea). Huomatkaa, että tällaisessa esityksessä järjestelmäelementit eivät ole itsenäisiä – esimerkiksi ohjausjärjestelmää ei voida erottaa aistijärjestelmästä ja "älykkyysjärjestelmästä". Huomatkaa myös, että nyt on teemoina järjestelmän ohjelmistot ja käyttäytyminen eivätkä niinkään robotin fysiikan testaus.

Taulukko 5. Robottijärjestelmän elementtien testaus

Elementit ja testaus (olennaisimat tyypit)	Erikoishaasteet
Kokonaisjärjestelmä (robotti toiminnassa, ympäristössä, yhteistyössä, osana järjestelmiä).	
Konseptin testaus (analyysi, simulointi, mallit).	Validointi, että robottikonsepti on paras kontekstiin ja tavoitteisiin Validointi, että robotti sopii kulttuurisesti sinne, missä sitä käytettäisiin
Toiminnallinen testaus.	Automatisoitua testausta varten: Ympäristösimulointi, ohjelmallisesti luodut käyttäjäeleet, äänikomennot… Mallipohjaiselle testaukselle: Ympäristön mallintaminen (elementit ja käyttäytyminen) – mukaan lukien laitteet ja ihmiset. Käyttötapaus/tarinat sekä ihmisille että robotille. Tutkiva testaus tärkeä monimutkaisuuden johdosta. Käyttölogiikan testaus simuloidussa ympäristössä vs. fyysisen robotin testaaminen todellisess ympäristössä. Vaihtuva ympäristösysteemi. Tarvitkaa vainoharhaista lähestymistapaa siihen, miten muut järjestelmäelementit käyttäytyvät.
Fyysisen turvallisuuden testaus.	Tarvitkaa perinpohjaista riski/turvallisuusanalyysiä perustaa varten. Testauksen vaatimukset turvallisuusstandardeista – suositaan kehittyneitä tekniikkoita kuten mallipohjainen testaus. Fyysinen turvallisuus liittyy myös tietoturvallisuuteen – vaarallinen kaukosäätö…
Tietoturvallisuuden testaus.	Matalan tason luottamus mihin tahansa järjestelmän elementtiin / elementissä.
(Regulatiivinen) validointitestaus.	Epäselvyys vaatimuksista ja niiden tulkinnasta epäselvyys; mitä standardeja pitäisi soveltaa.
Suorituskykytestaus.	–
Yhteensopivuustestaus, yhdessätoimivuuden testaus.	Eri teknologioiden ja variaatioiden testaus yhteistoiminnallisessa ympäristössä.
Käyttäjäkokemuksen testaus.	Tarvitsee arvioida ihmisen & robotin välistä kokonaissuhdetta – onko se sellainen kuin suunniteltiin?

Elementit ja testaus (olennaisimat tyypit)	Erikoishaasteet
Lokalisoinnin testaus.	Koko käyttäytyminen, kontrollieleiden merkitys, käyttäytymissäännöt – kulttuurisen sopivuuden kulttuurinen testaus (ei missään nimessä vain käännöksien tarkastus).
Päivityksen testaus.	Testataan ohjelmiston tai laitteiston päivittämistä.
Hallintajärjestelmä	
Toiminnallinen testaus.	Liikkeiden testaus käytännöllisissä tiloissa.
Luotettavuuden testaus.	Luotettavuusanalyysi perustana.
Älyjärjestelmät	
Logiikan testaus, päätökset.	Kaikki poikkeamat, ei-determinismi, kontekstidata.
Sensorijärjestelmät (aistijärjestelmä)	
Toiminnallinen testaus.	(Riippuu anturista). Muunnelmat syötteistä – eleet, ääni, ilmapiiri… Normaali testisuunnittelu ja fuzzaus.
Luotettavuustestaus – viallinen anturi jne…	–
Turvallisuusjärjestelmä	
Toiminnallisen turvallisuuden testaus.	Turvallisuusstandardien vaatimukset (kuten SFS-EN 61508 sarja) – voivat olla hyvin vaativat! Tarvitaan turvallisuus/luotettavuusanalyysi testausperustaa varten.
Viestintäjärjestelmä (tekninenl)	
Toiminnallinen testaus.	–
Luotettavuustestaus.	–
Suorituskykytestaus.	Mukaan lukien kuormitustestaus.
Tietoturvallisuustestaus.	–
Käyttöliittymä (ihmiselle)	
Käytettävyystestaus, analyysi.	Vuorovaikutuksen uudet tavat voivat olla vaikeita validoida.
Inhimillisten virheiden analyysi ja testaus.	Täytyy testata inhimillisiä erehdyksiä perusteellisesti (ääni, elekomennot).
Tottelevaisuuden testaus.	Kuka määrää, kun monet ihmiset ovat läsnä (tai televisio on päällä).
Toiminnallinen testaus.	Tutkiva testaus on kriittinen – tarve olla melkein "psykologinen" lähestymistapa.
Käyttöliittymä (ohjelmointi ja konfigurointi)	
(Kuten käyttöliittymä).	–
Turvallisuuden testaus.	Kuka saa ohjelmoida / konfiguroida? Pohtikaa kaukosäätöä.

5. Yhteenveto

Roboteilla on joitakin mielenkiintoisia piirteitä, jotka voivat olla testausta ajatellen vaativia. Useimmat tuotteet ovat yksinkertaisia, koska ne perustuvat useimmiten olemassa olevaan kontekstiin. Uudentyyppiset robottisovellukset sen sijaan ovat hyvin uniikkeja ja siksi niiden tuotekehitys kaipaa kykyä tarkastella konsepteja korkealla abstraktiotasolla. Varsinkin älykkäät robotit korostavat yleisempää tarvetta arvioida konsepteja ja käyttäjäkokemusta, sillä siitä kumpuaa kuitenkin usein tuotteen menestys, eikä nokkelista toiminnoista. Niinpä robottien testauksenkin pitää panostaa enemmän niiden piirteille houkuttelevina ja ihmisten maailmaan istuvina tuotteina kuin teknisten komponenttien kokoelmina.

Ihmisen ja robotin vuorovaikutuksen osalta on tarvetta testaustutkimukseen, menetelmäkehitykseen ja kenties myös jonkinasteiseen säätelyyn kuten tällaiseen kontekstiin räätälöityihin turvallisuusstandardeihin.

Markkinoilla tulee olemaan monenlaisia robotteja ja kehittyneimmät niistä ovat ongelmallisimpia, koska ne yhdistävät kehittynyttä, monimutkaista tuoteteknologiaa kehittyneeseen, monimutkaiseen vuorovaikutukseen ihmisten ja ympäristöjen kanssa, mikä synnyttää monenlaisia mahdollisia riskejä ja ongelmia. Sellaiset robotit ja kokonaisjärjestelmät ovat vaikeimpia testata kunnolla, mutta toivottavasti niiden laatu saa riittävät huolenpitoa, mitä ne ja niiden käyttäjät ansaitsevat.

Fyysisyys on onneksi tekijä, joka orientoi miettimään esimerkiksi muotoilun merkitystä.

Kokonaisuudessaan ihmisenkaltaisten robottien testaus on haastavaa, koska siinä on läsnä ”vertikaalisesti” poikkeuksellisen laaja skaala testaustasoja ja monia kriittisiä laatutekijöitä ja testauksen alueita.

6. Kymmenen nyrkkisääntöä

1. Robotin älyä ja ihmismäisiä piirteitä ei saa kunnioittaa testauksessa. Robotti pitää laittaa koville ja sen ohjelmisto ”rikkoa”. (Fyysistä robottia ei kannata kovin rikkoa kovin usein.)
2. Robottijärjestelmä on monimutkainen, mutta testaajan logiikka pitää testauksen ymmärrettävänä ja riittävän yksinkertaisena.
3. Testaustilanteesta riippuen voidaan löytää erilaisia testaustasoja, joiden soveltaminen pitää testauksen hallittuna ja auttaa luomaan robustin alustan robotin älylle.
4. Tutkiva testaus voi edellyttää lähes psykologin otetta selvittäessään robotin käyttäytymistä.
5. On ymmärrettävä robotin turvallisuustaso ja sovitettava testaus tasoa vastaaviin vaatimuksiin.
6. Turvallisuus- ja luotettavuusanalyysit ovat tärkeitä, koska uusia konsepteja ei aina ymmärretä. Tahallisen väärinkäytön mahdollisuudet on tunnistettava ja niiden estomekanismit testattava.
7. Konseptin arviointi – miten se sopii toimintaympäristöönsä – ja käyttökokemuksen testaus ovat elintärkeitä.
8. Tietoturvallisuutta ei saa unohtaa robottituotteissakaan.
9. Ihmisenkaltaisissa roboteissa on poikkeuksellisen paljon testaushaasteita ja niiden ratkomiseen tarvitaan monipuolista osaamista ja erilaisia osaajia.
10. Jokaiseen robottituotekehitystilanteeseen pitää suhtautua ajatuksella, että ensin pitää unohtaa tekniikan detaljit ja selvittää mistä asiassa on kyse kokonaisuuden kannalta.

7. Lähteitä

7.1 Standardeja

Turvallisuuskriittisten järjestelmien ja varsinkin robotin turvajärjestelmän testaus edellyttää hyvää testausta. Standardeja kannattaa käyttää apuna:

- SFS-EN-61508-1. 2. versio, 2011. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 1: Yleiset vaatimukset. 117 s.
- SFS-EN-61508-3. 2. versio, 2011. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 3: Vaatimukset ohjelmistolle. 201 s.

Yhteistoiminnallisten robottijärjestelmien suunnitteluun on uusi standardi – tai tarkkaan ottane ”tekninen ohje” (technical specification):

- ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. 33 s.

7.2 Yleistä

Wikipedia. History of robots. https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_robots