

SISSEJUHATUS ROBOTITEHNIKASSE

Prof. Tõnu Lehtla
Loengud Tallinna Tehnikaülikoolis 2008

Robotite olemus, liigitus ja üldehitus.

Robotite eelajalugu - humanoid (Automaton)

Inimese või loomaga sarnased automaadid mis jäljendasid elusolendi liigutusi

Kolmpõhjust, miks kasutada roboteid:

1. Keskkond, milles inimene ei saa töötada (ohtlik)
2. Töö on nüri, monotoonne
3. Inimese füüsilised võimed pole vajalikul tasemel

Robotite liigitus

- **Tööstusrobotid** (praktiliselt kõik liikumise juhtimiseks (*motion control*) mõeldud masinad, mida kasutatakse tootmise automatiseerimiseks (*industry automation*)
- **Sõjandusrobotid** (iseliikuvad soomukid, tiibraketid, piloodita luurelennukid)
- **Uurimisrobotid** (autonoomsed või kaugjuhtimisega kosmose ja süvamere uurimismasinad)
- **Olmerobotid** (automaatsed tolmuimejad, muruniidukid jms.)
- **Meditsiinirobotid** (operatsioonidel kasutatavad, taastusravil olevate inimeste jälgimiseks (robot-õed) või liikumispuuetega inimeste liikumiskontrolli taastamiseks kasutatavad robotid) ja bioloogiliselt inspireeritud robotid (bioonikal põhinevad robotid)
- **Mängurobotid** (LEGO robotid, kõik automaatliikurid, mida inimese fantaasia suudab välja mõelda ja realiseerida)
- **Ulmerobotid** (kõik automaatliikurid, mida inimese fantaasia suudab välja mõelda kuid ei suuda täna realiseerida; nt. Hollywoodi filmitegelased, Frankenstein'i koletis jt. Nende jaoks on kasutusel mõiste *Science fiction robot*)

Robotialane teadus-arendustöö

Mehaanika-ala

Manipulaatorite ehituse täiustamine:

- kerged ja tugevad materjalid,
- manipulaatorite kinemaatika optimeerimine (suletud kinemaatilised ahelad, rööp- ja jadakinemaatikaga manipulaatorid, lõtkude kõrvaldamine)
- mehhanismide jäikuse tagamine
- painduvate lülidega manipulaatorid,
- ülekandemehhanismid (manipulaatormehhanismid liikumise ülekandeks läbi liikuvate lülide, jäikuse ja massi dilemma, kiilrihmülekaned, lainereduktorid, liikumiste lahtisidestamine)

Haaratsite ehituse täiustamine:

- haaratsi sobitamine haaratava esemega või tööoperatsiooniga
- piisava haardejõu ja järeleandvuse tagamine eriti detailide mitmesuguse istuga koostetööde puhul
- esemete tsentreerimine
- andurite integreerimine

Robotite energeetika ja liikumise tekitamine (ajamid)

Autonoomsete robotite energiavarustuse probleemid

- energiaallikad ja primaarenergia muundurid: akupatareid, kütuseelemendid (fuel cells), päikeseelemendid (PV cells)
- energiasalvestid (vesinikupaagid, akupatareid, ülikondensaatorid, hoorattad)

Ajamite probleemid

- mootorite massi ja mõõtmete vähendamine ning energeetiliste omaduste parandamine
- masinate inertsimomendi vähendamine ja toimekiiruse suurendamine
- energia regenereerimine ajamis ning manipulaatori kineetilise ja potentsiaalse energia salvestamine, milleks on vajalikud vastavad muundurid
- jõupooljuhtmuundurite kasuteguri suurendamine; probleemiks on madalapingeliste (akust toidetavate) muundurite suur pingelang jõupooljuhtidel
- mitmekoordinaadiliste mootorite väljatöötamine

Liikumise juhtimise (*motion control*) probleemid

- liikumistäpsuse tagamine täppismehhanismide ja ajami liikumise täpse juhtimisega (täppisandurid asendi, kiiruse, jõu ja momendi mõõtmiseks)
- liikumisdiagrammide optimeerimine (asendi, kiiruse, kiirenduse ja tõuke ajafunktsioonid) ning liikumise toimekiiruse ja sujuvuse tagamine,
- ajamite juhtimise probleemid (elektrimasinat mudelid, tagasisideandurid, ajamite vektorjuhtimine ja selle eri variandid)
- eri ajamite liikumise koordineerimine (manipulaatorite kinemaatika ja dünaamikamudelid)
- positsioonimine (täpselt ja ülereguleerimiseta), trajektoori järgimine (dünaamikas), tehnoloogilise (nt kaarkeevitus) või detailide koosteoperatsiooni (võlli pistmine avasse) teostamine

Robotite programmeerimisviisid ja -keeled

- roboti lihtne ja mugav programmeerimine (programmeerimine etteetegemisega nt keevitamiseks või värvimiseks)
- roboti programmeerimine kinemaatikamudelite põhjal simulatsioonikeskkonnas koos tehase projekteerimisega; robotimudelite andmebaasid (GOSIMIR)

Robotite intellektuaalse juhtimise probleemid

Robotite ümbrusetaju ja kasutajaliidesed

- HMI (*human machine interface*) või MMI (*man-machine*) roboti lihtne ja mugav kasutamine
- kõnetuvastus ja kõnesüntees (inimese suhtlemine robotiga, mis on vajalik töö paremaks korraldamiseks, nt kui inimese silmad ja käed on hõivatud mingi muu tegevusega)
- pildituvastus (defektsete detailide tuvastamine), esemete tuvastamine (vajaliku eseme leidmine segipaisatud esemete hunnikust)
- asukohatuvastus (lokaatorseadmed, GPS, elektroonilised kaardid)

Robotite intellektuaalsed juhtimisalgoritmid

- Tehisintellekti (artificial intelligence, AI) vahendite rakendamine
- Robotite iseõppimine ja iseprogrammeerimine (evolutional, generic algorithms)
- Robotite kollektiivne käitumine

Robotieetika

I. Asimovi 3 seadust

Issac Asimovi 3 robotiseadust

Need seadused on pärit Issac Asimovi 1942. aastal ilmunud raamatust „Mina robot” (I robot), novellist „Runaround”

1. Robot ei tohi kahjustada inimest ning inimest ähvardava ohu korral peab takistama inimese kahjustamist.
2. Robot peab täitma inimese käske, välja arvatud juhul kui need on vastuolus esimese seadusega
3. Robot peab kaitsma oma eksistentsi seni kuni tema enesekaitse pole vastuolus esimese ja teise seadusega.

Tegelikult on tänapäeval üha olulisem kõrgtehnoloogiliste masinate loojate eetika. Robotit võib panna tegema mistahes kuritegu. Tehnoloogia arenguga muutuvad kuritegeliku käitumise tagajärjed üha ohtlikumaks. Vahetu vägivald kaugeneb kuriteo sooritajast: Vrd sõjapidamist mõõgaga, püssiga, suurtükiga, programmjuhitava raketiga.

Roboti mõiste

Nimetud *robot* pärineb tšehhi kirjaniku Karel Čapeki 1920. aastal ilmunud näidendist "R.U.R" ("Rossum's Universal Robots"), kus ta tähendab tehisinimest. Sellest tulenevalt on levinud ka arvamus, et robot ja inimene on väliselt sarnased.

Tänapäeval mõeldakse roboti all automaati, mis asendab inimest tööprotsessis. Selliste automaatide ehitamise katseid alustati käesoleva sajandi 50. aastate keskel. Sarjaviisiliselt hakati roboteid valmistama aastail 1962-1963. Nende tootjaiks olid USA firmad "Unimation" ja AMF (*American machine and Foundry Company*).

Tööstusrobotite liigitus

- Kohtrobotid ja
- liikurrobotid (*mobile robots*)

Kohtrobotid põhinevad statsionaarsel manipulaatoril, mis paigaldatakse vastavalt tehnoloogilistele vajadustele:

- põrandale,
- seinale,
- lakke,
- liikuvale masinale

Liikurrobotid koosnevad pinnal (põrandal, maapinnal vm.) liikuvast veokist ning sellele paigaldatud seadmestikust, vajaduse korral ka manipulaatorist.

Kohtrobotite liigitus

1. Manipulaatori ehituse järgi

a) Liikuvusastmete ehk koordinaatide arv (number of axes).

- 1 koordinaat – 1 sirgjooneline või 1 pöördliikumine
- 2 koordinaati - liikuda etteantud punkti tasapinnal,
- 3 koordinaati - liikuda etteantud punkti ruumis
- 4 koordinaati - liikuda etteantud punkti ruumis ja orienteerida teisaldatavat eset pööramisega ühe telje ümber
- 5 koordinaati - liikuda etteantud punkti ruumis ja pöörata eset ümber kahe telje
- 6 koordinaati - liikuda etteantud punkti ruumis ja pöörata eset suvalisse asendisse.

Esimesed 3 koordinaati on seotud **roboti käe** liikumisega, järgnevad 3 koordinaati aga **roboti käelaba** pööramisega. Kolm pöördliikumist on pööramine, kallutamine, lengerdamine (roll, pitch and yaw)

b) lülide koordinaadistiku järgi

- ristkoordinaadistikus (Cartesian) (kõik lülid lineaarliikumisega)
- silindrilises koordinaadistikus (2 lineaar- ja 1 pöördliikumislüli)
- sfäärilises koordinaadistikus (1 lineaar- ja 2 pöördliikumislüli)
- nurkkoordinaadistikus (kõik pöördliikumislülid, multi-liigendkäsi) (PUMA)
- horisontaalse ja vertikaalse liigendkäega (*horizontal or vertical articulated arm*) SCARA (*selective compliance articulated/assembly robot arm*)
- paralleelkinemaatikaga manipulaatorid

c) Tehnoloogilise tegevuse järgi

- Kaarkeevitus (arc welding)
- Koostetööd (assembly robot)
- Pinnapuhastus (cleaning/spraying)
- Metalli või muu materjali lõikamine (cutting)
- Kraatide eemaldamine (deburring)
- Kokillvalu (gravity die casting)
- Lihvimine, poleerimine (grinding/polishing)
- Survevalu, plastmassi injektsioonvormimine (die casting, injection moulding)
- Masinate hooldamine (machine tending)
- Esemete teisaldamine (handling)
- Värvimine (painting)
- Pakkimine (packing)
- Presside teenindamine
- Ladumine, ladustamine (palletizing)
- Punktkeevitus (spot welding)

d) Lisaks iseloomustavad robotit:

Tööruum (*working envelope*) – ala või ruum milles robot saab töötada.

Tõstevõime (*load capacity*) - mass, mida robot suudab tõsta

Liikumiskiirus (*speed*) – haaratsi või tööorgani liikumiskiirus, liikurrobotil veoki liikumiskiirus.

Positsioonimistäpsus (*positioning accuracy*) – mida iseloomustab maksimaalne positsioonimisviga tööruumis (etteantud ja tegeliku positsioonimispunkti vahetäpsus)

Toiteallikas - elekter, suruõhk või suruõli)

Ajami liik, ülekandemehhanismid jm.

Tehtavast tööst sõltub töökeskkonnaolud (temperatuur, kahjulikud ained, niiskus, radioaktiivsus), lülide pikkused, liigutuste kiirus ja täpsus, haaratsi või tööorgani ehitus, tõstejõud jm.

3. Robotite liigitus ajamite järgi

Elektrijamitega robotid

Ajamites kasutatakse:

- harikommutaatoriga või pooljuhtkommutaatoriga ning püsimgnetergutusega alalisvoolu masinaid,

- püsिमagnetergutusega või muutuval reluktantsil (magnetilisel takistusel) põhinevaid samm-mootoreid
- püsिमagnetergutusega sünkroonmasinaid või asünkroonmasinaid
- mitmesuguse tööpõhimõttega lineaarmasinaid
- piezoeffektil põhinevaid mikromootoreid

Pneumoajamitega robotid

- Pneumosilindritega varustatud punktist punkti liikuvad võta ja pane (*pick and place*) tüüpi robotid, mida mõnikord nimetatakse nende lihtsuse tõttu ka automaatmanipulaatoriteks.
- Tehismuskliteliga manipulaatorid (Täispuhutavate elastsete silindritega (ilma kolvita) tehislühased, mille pikkus sõltub silindrisse puhutava õhu rõhust.

Hüdroajamitega robotid

Hüdrosilindrite või hüdro mootoritega varustatud robotid (eriti suure tõstejõuga)

3. Robotite liigitus juhtimis põhimõtte järgi

Kaugjuhtimismanipulaatorid - inimese vahetul osavõtul juhitavad masinad.

Tagasiside töökohalt toimub vahetult visuaalselt, telepildi vahendusel, mitmesuguste andurite ja telekontrolli vahenditega, sh jõutagasiside abil (*haptic feedback*). Manipulaatori juhtimine võib toimuda juhtpuldi nuppude ja seaduritega, juhthoovaga (joystick). Juhthoob võib olla tagasimõjuta või tagasimõjuga (*haptic*). Manipulaatorit võib juhtida ka inimese bioimpulssidega või kõnega. Inimese liigutusi järgivaks manipulaatoriks on ka eksoskeleton ehk väliskelett, mis on kasutusel jäsemete liikumisulatus ja jõu võimendamiseks.

Autonoomsed robotid – inimese vahetu osaluseta toimivad automaatsed masinad

- Kindla programmi järgi töötavad punktist punkti liikuvad või etteantud trajektoori järgivad programmjuhtimisrobotid
- Ümbrusetajuga ning keskkonna muutumist arvestavad adaptiivjuhtimisrobotid
- Tehisintellektiga (artificial intelligence, AI) robotid

Kõik tööstusrobotid on teatud määral autonoomsed. Roboti töökeskkond on sageli määramatu, juhuslik, kaootiline. Mida suurem on keskkonna määramatus seda täiuslikum peab olema robot. Lihtsa roboti kasutamisel tuleb tehnoloogilisse protsessi lisada muid, määramatust vähendavaid, seadmeid (nt detailide orienteerimine vibropunkritega või magnetväljaga).

Täielikult autonoomne robot peaks reaalses maailmas omama võimet

- Hankima infot ümbritsevast keskkonnast
- Töötama inimese sekkumiseta kuid või aastaid
- Liikuma punktist A punkti B ilma inimese abita navigeerimisel
- Vältima ohu tekkimist inimesele, tema varale või iseendale
- Remontima end ise ilma välise abita

Robot võib omada ka **autonoomset õppimisvõimet**

- Hankida välise abita uusi teadmisi ja suurendada oma toimetulekuvõimet keskkonnas
- Valida erinevaid tegutemisstrateegiaid sõltuvalt keskkonnas toimuvatest muutustest
- Kohaneda välise abita ümbritseva keskkonnaga

Autonoomsed robotid vajavad tehnohooldust nagu kõik teisedki masinad.

Tööstusrobotite põhiomadused

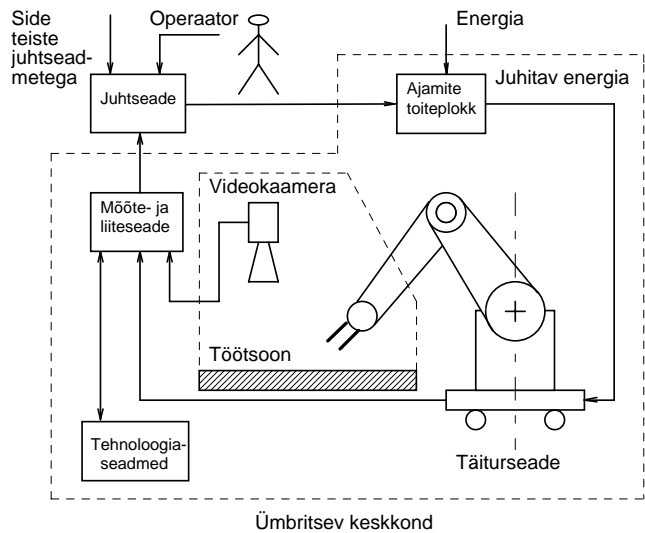
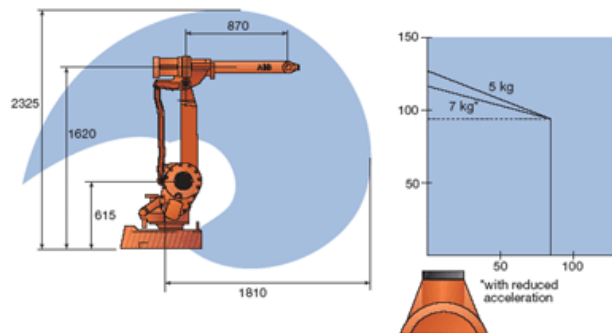


ABB roboti tööruum (envelope) IRB 2400L



Roboti olulised mehaanilised komponendid

- Liikurroboti veok
- Manipulaatori käsi
- Manipulaatori käelaba
- Manipulaatori haarats

Internetiaadressid robotite otsinguks

www.abb.com
www.fanucrobotics.de
www.staubli.com
www.kuka.com
www.festo.com
www.mitsubishi.com
www.scara-robots.com
www.motoman.com/products/robots
www.intelligentactuator.com/products/SCARA/
www.peakrobotics.com/
<http://www.robots.epson.com/>
<http://www.yamaharobotics.com/business/robot/index.html>
<http://www.densorobotics.com/>

Tootmise tehnoloogia ja robotid

Agraarühiskonnast tööstusrevolutsiooni kaudu industriaalühiskonda ja sealt postindustriaalsesse infoühiskonda

Tööstusrevolutsioon oli tehnoloogilises mõttes energeetiline revolutsioon, mis sai alguse Watti aurumasina leiutamisest ja maapõue kütusevarude tööstuslikust kasutamisest. Energia tarbimine, keskkonna saastamine suurenesid drastiliselt.

Infotehnoloogilise revolutsiooni sisuks on automaatide (sh robotite) massiline kasutuselevõtt

Tootmine

- käsitöö manufaktuuris,
- käsitööl põhinev tööstuslik konveiertootmine (H. Fordi autotööstuse algus Ford Model T)
- automaatliinidel põhinev vooltootmine
- robotsüsteemidel põhinev paindtootmine (tänapäeva autotööstus)

Dilemmad:

- käsitöö ja automaatide töö
- tootmise paindlikkus ja jäikus
- masstootmine ja individuaaltootmine

Käsitöö (*handicraft production*)

Masstootmine (*mass production*) – suure hulga standardtoodete valmistamine. Standardiseerimine võimaldas muuta tooted odavaks, masinate kasutamine suurendas detailide täpsust. Spetsialiseerumine suurendas tööviljakust. Ühe kindla tööoperatsiooni tegemiseks polnud vaja muuta keha asendit ega vahetada tööriista. Koosted liikusid ühelt töökohalt teisele konveierliini abil. Tööliste vilunud liigutused muutusid aina kiiremaks, kuid käsitööl põhinev masstootmine muutus töölisele üha koormavamaks. 20. sajandil oli selle tootmisviisi populariseerijaks Henry Ford (Ford Model T).

Portsjontootmine (*batch production*) on tootmisviis või tootmisprotsess, mille puhul tooteid tehakse portsude kaupa ning see vastandub pidevale tootmisele (*continuous production*) või tähtajalisele tootmisele (*on time production*). Portsjontootmise näiteks on pagaritöökoda. Toodet (leiba) tehakse ahjus portsjonite kaupa. Portsjontootmise puuduseks on protsessi peatamine ja sellega seotud ajakulu, seadmete ümberseadistamise vajadus, täiendava katsetamise vajadus jms..

Portsjontootmine on kasulik väikeetevõtete puhul kus tootmise maht on samuti väike. Portsjontootmist kasutatakse samuti katsetootmise eesmärgil. Väikese portsu puhul pole tootja kahjud väga suured kui tootel pole turul minekut.

Tellimustootmine (*Just in Time, JIT*) on vaheladudeta tootmisviis, millega kiirendatakse investeringute tasuvust (vähendatakse tasuvusaega) suurendatakse eefektiivsust ja parandatakse kvaliteeti. Iga toode või detail valmib täpselt selleks hetkeks, mil teda vajatakse tootmise jätkamiseks. See süsteem eeldab väga täpset tootmiskorraldust.

Portsjontootmise eeliseks on väiksemad algkulutused, sest ühtede ja samade seadmetega saab valmistada erinevaid tooteid.

Toyota tootmissüsteem (**Toyota Production System, TPS**) on omaette idamaisel filosoofial põhinev tootmise korraldusviis, mis seob tootjad varustajad ja kliendid üheks tervikuks. Põhieesmärgiks on likvideerida tootmises saaste (*waste*), milleks loetakse 7 liiki ebakõlasid

- toodete defekte (*defects*)
- ületootmist (*overproduction*)
- transporti (*transportation*)
- ootamist (*waiting*)
- lõpetamata toodangut, detailide varusid (*inventory*)
- liikumist (*motion*)
- liigtöötlemist (*overprocessing*)

Väheste kulutustega tootmine (*lean manufacturing*) on ärihuvisid arvestav tootmise planeerimine, mille eesmärgiks on toote hinna süstemaatiline vähendamine tootmisprotsessi kõikides etappides ning mis põhineb tervel real tootmist iseloomustavatel inseneriaruannetel. Kulutuste revideerimine algab toote projekteerimisest (dilemma projekti tehnilise ja ärilise õnnestumise vahel). Edasi kaasatakse tootmise ülevaatamissüsteemiinsenerid, mehaanikainsenerid, elektriinsenerid, tarkvarainsenerid, kes kõik revideerivad tootmisprotsessi omast vaatevinklist. Süsteemiinsenerid käsitlevad üldisi valikuid (riistvara – tarkvara, elekter – mehaanika). Mehaanika- ja elektri- ja tarkvarainsenerid vaatavad igatüki üle oma valdkonna valikud, kõik selleks et muuta toode odavamaks ning säilitada seejuures tema funktsionaalsed ja tehnilised omadused.

Raalprojekteerimine koos raaltootmisega ehk (*computer-aided design, computer-aided manufacturing, CAD-CAM*) on tänapäeva tootmise üks põhisuundumusi tootmisttsükli vähendamiseks. Arvuti virtuaalkeskonnas projekteeritud toode viiakse võimalikult lühikese ajaga tootmisse. Näiteks, tootmises kasutatavaid roboteid saab programmeerida enne tehashoone valmimist ja robotite füüsilist paigaldamist arvuti virtuaalkeskonnas.

Pöördprojekteerimine (*reverse engineering*) – projekti tuletamine valmistootest. Luua uus toode ilma vanalt tootelt midagi otseselt kopeerimata. Tavaliselt tehakse seda selleks, et vältida autoriõiguse või litsentsi ostmist. On patendiseaduse rikkumisvõimaluste tõttu seotud teatud riskidega. Teatud vastukaal patenti omajate agressiivsele, väljapressivale käitumisele turul. Pöördprojekteerimist kasutatakse ka konkurendi toote uurimiseks ja hindamiseks. Pöördprojekteerimine on väga olulisel kohal sõjandusalal vaenlase tehnoloogia järeletegemiseks.

TECHNICAL DATA, IRB 2400 INDUSTRIAL ROBOT

SPECIFICATIONS

Load offset	IRB2400L 92/85 mm	IRB2400/10 100/100 mm	IRB2400/16 100/100 mm
Reach	1,8 m	1,5 m	1,5 m
Robot versions	Standard Clean Room Foundry Wash	Standard Clean Room Foundry Plus Wash	Standard Clean Room Foundry Plus Wash
Mounting	Floor and inverted	Floor and inverted	Floor and inverted
Supplementary load			
Upper arm, -wrist end	1 kg	2 kg	2 kg
-rear end	10 kg	10 kg	10 kg
Base unit	35 kg	35 kg	35 kg
Number of axes			
Robot manipulator	6		
External devices	6		
Integrated signal supply	23 poles, 50 V DC 10 poles, 250 V AC		
Integrated air supply	Max. 8 bar		
Memory/Instructions			
Program memory	1-5 Mb, 3,000-12,000 instructions		
Storage memory	0.5-5 Mb, 3,000-35,000 instructions		
3.5" diskette drive	1.44 Mb, 15,000 instructions		

PERFORMANCE

Positional repeatability	0.06 mm (average result from ISO test)		
Axis movements	IRB 2400L	IRB 2400/10	IRB 2400/16
Working range			
Positioning			
Axis 1, Rotation	360°	360°	360°
Axis 2, Arm	200°	200°	200°
Axis 3, Arm	125°	125°	125°
Re-orientation			
Axis 4, Wrist	370°	400°	400°
Axis 4, Option	-	Unlimited	Unlimited
Axis 5, Bend	240°	240°	240°
Axis 6, Rotation	800°	800°	800°
Axis 6, Option	Unlimited	Unlimited	Unlimited
Max. speed			
Positioning			
Axis 1, Rotation	150°/s	150°/s	150°/s
Axis 2, Arm	150°/s	150°/s	150°/s
Axis 3, Arm	150°/s	150°/s	150°/s
Re-orientation			
Axis 4, Wrist	360°/s	360°/s	360°/s
Axis 5, Bend	360°/s	360°/s	360°/s
Axis 6, Rotation	450°/s	450°/s	450°/s

ELECTRICAL CONNECTIONS

Supply voltage	200-600 V, 50/60 Hz
Rated power, supply transformer	4 kVA/7.8 kVA with external axes

PHYSICAL

Dimensions	IRB 2400L	IRB 2400/10	IRB 2400/16
Total height	1,731 mm	1,564 mm	1,564 mm
Manipulator bases	723x600 mm	723x600 mm	723x600 mm
Weight			
Robot	380 kg	380 kg	380 kg

ENVIRONMENT

Ambient temperature			
Basic manipulator in operation	5°C - 45°C		
Relative humidity	Max. 95%		
Degree of protection	IRB2400L	IRB2400/10	IRB2400/16
Standard and Clean Room versions	IP54	IP54	IP54
Foundry or Foundry Plus versions	IP55/67	IP67	IP67
Clean Room	US Federal Standard 209, class 100		
Noise level	Max. 70 dB (A)		
Emission	EMC/EMI-shielded		

DATA AND DIMENSIONS MAY BE CHANGED WITHOUT NOTICE.