



# LUND UNIVERSITY

## Ultraljudsnavigerande mobil robot för rörelsehindrade personer

Neveryd, Håkan

1998

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Neveryd, H. (1998). *Ultraljudsnavigerande mobil robot för rörelsehindrade personer*.  
<http://www.certec.lth.se/dok/ultraljudsnavigerande/>

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



LICENTIATUPPSATS CERTEC, LTH NUMMER 1:1998

Håkan Neveryd

# Ultraljudsnavigerande mobil robot för rörelsehindrade personer



Avdelningen för rehabiliteringsteknik  
Institutionen för designvetenskaper  
Lunds tekniska högskola

# Förord

*Robotteknik för rörelsehindrade* är ett forskningsområde där de mänskliga behoven och de högteknologiska möjligheterna möts. Jag har upplevt det mycket stimulerande att arbeta med tekniska framsteg som kan ge rörelsehindrade människor "ett ljus i tunneln".

Detta arbete har pågått under lång tid, först med knytning både till institutionen för Mekanisk Teknologi vid avdelningen för robotteknik och Certec, 1 oktober 1990–15 oktober 1997, sedan enbart på Certec.

Jag vill tacka mina handledare, bitr. prof. Bodil Jönsson och prof. Gunnar Bolmsjö för en kreativ handledning. Tack till tekn. lic. Håkan Eftring som varit min dagliga samtalspartner under Walky-projektets gång och alla tekniker på Certec som bistått mitt arbete: Jonas Falkvall, Kirsten Rasmus-Gröhn, Fredrik Ljungbeck, Anders Wahlström, Ingvar Jönsson, Mikael Lindström och Christer Månsson. Tack också till Gunilla Knall för värdefulla förklaringar om funktionshinder och Anna-Karin Batcheller för engelsk språkgranskning samt Anna Josefsson för korrekturläsning och Anu Uus och Calle Sjöström för layouten av uppsatsen. Till min fru Helena och mina barn Anna och Malin vill jag framföra ett personligt tack för ert uppmuntrande stöd och för att ni finns där i min nära omgivning.

Rådet för arbetslivsforskning (tidigare Arbetsmiljöfonden) och Stiftelsen för bistånd åt vanföra i Skåne har bidragit till finansiering av Walky-projektet, för vilket jag är mycket tacksam.

# Sammanfattning

Människor med grava rörelsehinder behöver hjälp för att klara av sina vardagliga sysslor såsom att klä på sig, äta, borsta tänderna, klia sig, dricka mm. De behöver också stöd för att kunna utföra ett arbete. Traditionellt är det någon eller några personliga assistenter som hjälper till. Ett alternativ eller komplement till personlig assistans är olika tekniska hjälpmedel, t.ex. en personrobot.

Personrobotar kan indelas efter tre olika principiella lösningar:

- Stationära personrobotar
- Rullstolsmonterade personrobotar
- Mobila personrobotar

Den tekniska insats, som jag redovisar i denna licentiatuppsats, utgjordes av konstruktionen och uppbyggnaden av en mobil personrobot för rörelsehindrade människor, Walky, samt tester och försök på olika sensorsystemkonfigurationer till denna. Uppsatsen beskriver också relevanta projekt inom området robotar och rörelsehinder samt ger en introduktion till vilka navigeringsmetoder som kan användas inom området mobila personrobotar. Arbetet pågick under 4 år och avslutades för cirka 3 år sedan. Tekniken har utvecklats mycket sedan dess, och jag skulle troligen valt andra robot- och datorlösningar idag än jag gjorde då.

Under uppbyggnadsarbetets gång har diskussioner förts med rörelsehindrade personer. Intervjuer har visat att många skulle föredra en personrobot framför en personlig assistent i alla de situationer där så är möjligt. Motiven är många: ökat personligt oberoende, färre icke självvalda personkontakter, en teknik som till skillnad från människan gör likadant varje gång, etc. Samtliga intervjuade tror att Walkys efterföljare kan bli ett framtida handikapphjälpmedel. De flesta tror också att en mobil personrobot skulle vara till stor handräckningshjälp i olika yrkesituationer.

Den kunskap jag genom min licentiatuppsats kan tillföra området "Robotteknik för rörelsehindrade" är:

- En fungerande Walky, vars främsta användning torde bli att tjäna som en demonstrationsprodukt och tankestimulans på Nationellt Robotcentrum, Lund-Orup. Detta kan också leda till att gruppen rörelsehindrade personer kraftfullare börjar kräva robotstöd. Min erfarenhet (jfr. också intervjuer) är att intresset för robotar som alternativ till personlig assistenter i många sammanhang är högt.
- Hur detektering av bord, stolar, bokhyllor mm kan utföras med hjälp av ultraljudsensorer på ett mobilt robotsystem.

- Hur styrningen av ett mobilt robotsystem kan göras med utgångspunkt från CAD-ritning. Och hur brukaren kan välja mellan automatisk, manuell respektive en kombination av automatisk och manuell styrning.
- Insikten att en experimentprodukt som Walky, inte avsedd för serietillverkning, är möjlig att göra och kan ge intresseväckande resultat trots att forskningsprojekt av detta slag med nödvändighet har en låg budget.

Jag hoppas också att kapitel 2 (en översikt med bland annat en beskrivning av fyra stora projekt inom området robotteknik för rörelsehindrade personer) skall bli till nytta, bl.a. i utbildning av civilingenjörer och arbetsterapeuter samt ge yrkesverksamma inom handikappområdet en ämnesintroduktion. Avsnittet om Walky (kap 5) hoppas jag kan ge läsaren visioner om hur ett framtida handikaphjälpmiddel kan fungera.

# Till rörelsehindrade människor

När jag påbörjade arbetet för många år sedan, var förhoppningarna kring området "Rörelsehinder och robotar" stora. Efterhand som åren gått, har det blivit alltmer uppenbart att utvecklingen inte hållit den hastighet man hoppades på. Egentligen är det först nu det börjar komma funktionsdugliga robotar och manipulatorer som kan arbeta nära människor, bl. a. Manusarmen, Fantomen och Electrolux lilla dammsugare. Men fortfarande kan man tryggt säga att det är en bit kvar tills personrobotar blir lika vanliga som persondatorer.

Svensk forskning inom området "Rörelsehinder och robotar" är ingalunda undantag från den allmänna internationella trenden med svikna förhoppningar jämfört vad man trodde för 10 år sedan. Ändå bör man poängtera att Sverige ligger väl framme. Christer Evaldsson i Helsingborg är den person som längst i världen använt en robot som handikapphjälpmedel på sin arbetsplats. Certec har genom åren varit synnerligen delaktiga i arbetet kring Christer.



Bild 1. Min fula men kära Walky.

Själv har jag försökt bidra till området "Rörelsehinder och robotar" på olika sätt men främst genom att utveckla Walky. Den gjordes som en experimentprodukt vilket innebär en produkt som bara ska användas för användartester. Med en experimentprodukt är det alltså från början bestämt att den inte skall serietillverkas som den är utan man skall bara använda den för att komma underfund med hur den fungerar i faktisk användning. Då blir de antaganden man gjort om brukarens intressen, behov och drömmar underkastade en hårdhänt kontroll.

Detta kan kanske låta ansvarslost: man skulle ju kunna fråga brukarna i förväg! Jo, och det gör vi också ständigt på Certec. Men faktum är att inte heller brukarna kan veta i förväg: det är faktiskt inte så lätt att önska, innan man fått erfarenhet av vad som är möjligt [1,2]. Certecs erfarenhet säger att det är nödvändigt att man tar fram en preliminär teknik för att kunna skapa ett sådant konkret samtal med brukarna att man inte talar förbi varandra. Walky, min fula och också i övrigt halvfullkomliga robot, bör ses som ett exempel på något som måste finnas (den kommer att placeras på Rehabcentrum Lund-Orup) för att man skall kunna synliggöra möjligheter och därmed underlätta för drömmar och önskningar och kritik att komma fram.

Många, många dagar, veckor, månader och år har jag ägnat denna tingest. I min licentiatuppsats försöker jag redovisa vilken ny kunskap jag, genom mitt arbete med Walky, tror mig ha bidragit till. Var den då värd allt detta slit? Det får var och en ta ställning till.

# Innehållsförteckning

Förord 1

Sammanfattning 2

Till rörelsehindrade människor 4

## **1 Inledning 6**

## **2 Robotteknik för rörelsehindrade <sup>3</sup>/<sub>4</sub> en översikt 8**

2.1 Handy 1 12

2.2 DeVar 14

2.3 RAID 18

2.4 Manus 20

## **3 Sensorer 22**

## **4 Navigering 25**

4.1 AGV 25

4.2 Olika kartläggningsmetoder 26

4.3 Vägplanering (Path planning) 29

## **5 Walky 31**

5.1 Systemuppbyggnad 32

5.2 Konfigurering av sensorsystemet 37

5.3 Brukarens styrning av Walky 42

5.4 Intervjuer med rörelsehindrade personer på Teneriffa  
i mars 1998 46

## **6 Diskussion 50**

## **7 Publicerade rapporter och konferensföredrag 52**

Robotics in Rehabilitation 53

Walky, a summary of five conference papers 68

## **Referenser 80**

# 1 Inledning

Personrobotar kan indelas efter tre olika principiella tekniska lösningar:

- Stationära personrobotar
- Rullstolsmonterade personrobotar
- Mobila personrobotar

Människor med grava rörelsehinder behöver hjälp för att klara av sina vardagliga sysslor såsom att klä på sig, äta, borsta tänderna, klia sig, dricka mm. De behöver också stöd för att kunna utföra ett arbete. Traditionellt är det någon eller några personliga assistenter som hjälper till. Ett alternativ eller komplement till personlig assistans är olika tekniska hjälpmedel, t.ex. en personrobot.

## Stationära personrobotar

Stationära personrobotar är fysiskt placerade där brukaren kan få hanteringshjälp. En stor fördel rent tekniskt är att man då bygger på en helt känd omgivning, där alla uppgifter som personroboten utför är förprogrammerade. Detta gör att tillförlitligheten ökar, dvs. att roboten utför givna uppgifter med liten felprocent. Men om det händer något oförutsägbart, kan inte problemet lösas, utan att någon återställer den fysiska miljön. Eventuellt kan problemet lösas av brukaren, men då måste roboten kunna styras helt manuellt. Den stationära personroboten kan tillföras intelligens i form av sensorer, vars signaler kan användas för att hjälpa roboten att arbeta i en föränderlig omgivning. Genom att man använder sensorer blir lösningen komplexare och tillförlitligheten minskar på grund av att antalet möjliga felkällor ökar.

## Rullstolsmonterade personrobotar

En rullstolsmonterad personrobot följer med brukaren när hon/han förflyttar sig till exempel i sin hem- och arbetsmiljö. Den stora och självklara fördelen är att roboten alltid är med brukaren, var än hon/han befinner sig. Robotarmen monteras endera på höger eller vänster sida på rullstolen. Tyngdpunkten på rullstolen förskjuts därigenom och detta kan medföra större eller mindre instabilitet vilket påverkar rullstolens köregenskaper.

Omgivningen som roboten arbetar i är föränderlig, vilket gör att behovet av förprogrammerade uppgifter är begränsat. Uppgifter som att dricka ur ett glas, att hämta en styrpinne som finns på rullstolen och lämna den på en fördefinierad plats mm är exempel på sådana uppgifter. Icke förprogrammerade uppgifter kräver att brukaren är skicklig att använda direktstyrning av roboten. Att tillföra intelligens med hjälp av sensorer är mer komplicerat än i fallet med stationära personrobotar. Utgångspositionen som rullstolen har, då robotarmen skall utföra en hanteringsuppgift varierar eftersom det är omöjligt för brukaren att stanna rullstolen på exakt samma ställe två gånger i rad, såvida det inte görs någon typ av dockningsstation för rullstolen. Tester har gjorts med direkt styrning kontra automatisk gripning [50], på arbetsstationen



RAID, se kapitel 2.3. Testerna gick ut på att brukaren dels utförde en gripning med hjälp av direktstyrning och dels att brukaren placerar gripdonet i närheten av det föremål som skulle gripas. Roboten utförde därefter en gripning av det föremål som befann sig närmst gripdonet med hjälp av sensoråterkoppling. Testerna visade att den automatiska gripningen föredras av testpersonerna för att den är mindre koncentrationskrävande och går betydligt snabbare. Jag tror att denna typ av sensorstöd har en framtid hos personrobotar.

### **Mobila personrobotar**

Det tredje principiella lösningen är en mobil personrobot. Den skall liksom en rullstolsmonterad robot kunna arbeta i en mer eller mindre föränderlig omgivning. En fördel är att när brukaren inte använder roboten, kan den gömmas undan. En mobil personrobot består av två robotar: en mobil robotbas och en robotarm. Den mobila robotbasen kan styras av brukaren på olika sätt. Brukaren ger ett kommando till robotbasen "kör till ett visst mål!", och då bestämmer den i robotbasen inbyggda intelligensen vilken väg den skall köra till målet. Även om hinder uppträder på vägen kan robotbasen själv hitta runt hindret och köra fram till målet. Ett annat styralternativ är att brukaren själv styr, via direktstyrning, robotbasen till målet och då också själv väljer vägen till målet. Dessa två styralternativ kan också kombineras till ett halvautomatiskt styrsätt.

När den mobila personroboten är vid målet måste basen ställa in sig i en fördefinierad position, annars blir det som om robotarmen arbetar i en ny omgivning. Robotbasen kan ställa in sig i en fördefinierad position antingen genom dockning eller med hjälp av sensorer. Om robotbasen hittat den fördefinierade positionen, kan robotarmen arbeta i en välkänd och väldefinierad omgivning. Hittar inte robotbasen den fördefinierade positionen blir omgivningen okänd för robotarmen, som då måste ha kraftfullt sensorstöd för att kunna utföra hanteringsuppgifter.

Det fanns i oktober 1991 projekt och teststationer med personrobotar samt färdiga/nästan färdiga kommersiella personrobotar inom områdena stationära och rullstolsmonterade robotar. Jag beslöt mig för att försöka bygga ett mobilt robotsystem för gravt rörelsehindrade människor. Med detta ville jag visa att:

- det var tekniskt möjligt
- det kan ge människor med grava rörelsehinder ett alternativ till assistenthjälp.

# 2 Robotteknik för rörelsehindrade — en översikt

## Nationellt perspektiv

I Sverige gjordes under 1990 och 1991 tre robotinstallationer på

- Skanska, Helsingborg
- Handikappinstitutet, Stockholm
- Volvo, Skövde

för gravt rörelsehindrade. Dessa gjordes för att undersöka behovet av robotar som ett tekniskt hjälpmedel för gravt rörelsehindrade i olika arbetssituationer och för att samla nya erfarenheter och kunskaper.



### *Skanska, Helsingborg*

I samband med att Christer Evaldsson föll på en byggarbetsplats, där han arbetade som byggnadsträarbetare, ådrog han sig ett ryggmärgsbrott med tetraplegi som följd. Efter skadan fortsatte Christer att arbeta på samma företag, nu med bland annat fakturaregistrering.



Bild 2. Digitaliserade videobilder från VHS, av Christer Evaldsson på hans robotiserade arbetsplats.

Fakturaregistreringen innebär att han från ett fakturaunderlag gör en faktura. På Christers arbetsplats fanns en bladtransportör, som trots flera ombyggnader ibland skickade både två eller flera blad (fakturaunderlag) åt gången. Lösningen blev att den personliga assistenten lade två till tre fakturaunderlag framför honom. Efter knappt två minuter var Christer klar med registreringen, då fick assistenten hämta de registrerade underlagen och lägga dit nya.

Efter robotiseringen, se bild 2, sköter roboten assistentens spring [3]. Robotens standardgripklo är utbytt mot ett gripdon med sugfötter speciellt konstruerat för att hantera papper.

För att kunna byta gripdon gjordes en modifiering ett gripdonsväxlersystem. Roboten på denna arbetsplats installerades i oktober 1990 och används än cirka 4 timmar per dag. Med erfarenheter av RAID-projektet, se kapitel 2.3, gjordes 1994 vissa modifieringar av arbetsplatsen.

### *Handikappinstitutet, Vällingby*

På Handikappinstitutet i Vällingby arbetar Åse Rambrink som systemansvarig och utbildare på institutets datoravdelning. Åse är CP-skadad, dessutom talskadad och något hörselskadad. CP-skadan innebär att hon sittande i sin rullstol måste sköta allt arbete med fötterna.

I sitt dagliga arbete använder sig Åse av manualer, utbildningsmaterial m.m. Före robotisering hade Åse allt sitt utbildningsmaterial liggande på golvet, längs väggarna.

Efter robotiseringen samlades allt utbildningsmaterial i ett 30-tal tidsskriftssamlare vilka har placerats i en bokhylla. För Åse gäller det att ge roboten ett kommando via ett tangentbord placerat på golvet. Den kan hämta en speciell tidsskriftssamlare innehållande en pärm, en bok eller liknande. Tidsskriftssamlaren levereras av roboten på ett och samma ställe, där Åse lätt kan nå och hantera denna med fötterna.

Roboten installerades på denna arbetsplats i januari 1991 och används än idag men är inte i samma dagliga användning som på arbetsplatsen på Skanska.

### *Volvo, Skövde*

På Volvo i Skövde finns en monteringsavdelning där arbets-skadade, lätt kognitivt handikappade och lätt rörelsehindrade människor arbetar. Man beslöt att här robotisera funktionskontrollen av en sk bypass-ventil som används i Volvos dieselmotorer. Före robotiseringen hade man en manuell kontroll av ventilens funktion. Efter robotiseringen, byggde man en automatisk ventilkontroll med en halvautomatisk materialhantering. Operatören styr materialhanteringen genom att trycka på någon av knapparna "hämta ny ventil", "lämna godkänd ventil" och "lämna underkänd ventil". Ventilkontrollen innebär att tre funktionstester utföres automatiskt och redovisas på operatörens bildskärm i form av tre liggande staplar med parallella tallinjer. Tallinjerna är indelad i gröna och röda områden. Om en ventil t.ex. är godkänd, dvs. samtliga staplar ligger inom de gröna områdena, trycker operatören på knappen "lämna godkänd ventil".

Som operatör valde man Erik Larsson, som är CP-skadad, rullstolsbunden, talskadad och har begränsad rörlighet i båda armarna och händerna och även är spastisk i dessa. Erik hade enbart kontorsteknisk arbetslivserfarenhet innan projektet startades.

Våren 1991 färdigställdes denna arbetsplats, men på grund av Eriks intresse att inte byta arbetsområde från kontorsarbete till industriellt arbete, avslutades projektet efter cirka 2 år.



Bild 3. Digitaliserade videobilder från VHS, av Åse Rambrink på hennes robotiserade arbetsplats.

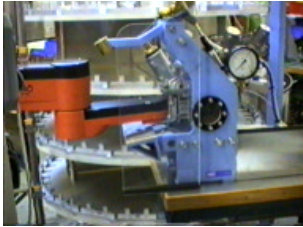


Bild 4. Digitaliserade videobilder från VHS, av Erik Larsson på hans robotiserade arbetsplats.

Lärdomarna från utvärderingen av de tre svenska pilotprojekten [4] var:

- Moduluppdelning av den totala arbetsuppgiften och försök därefter lösa deluppgifterna efterhand. Då en ny deluppgift är löst, kan denna implementeras i systemet.
- Brukaren bör ha använt arbetsplatsen före robotiseringen, dvs. brukaren skall trivas med befintliga arbetsuppgifter.
- Robotarbetsplatsen bör programmeras med ett lättanvänt programmeringsspråk, för att till exempel en arbetsterapeut eller motsvarande lätt skall kunna göra en programändring.
- Omfattningen av behovet av robot hjälp bör utredas före en eventuell robotisering.
- Säkerheten för brukaren och dennes arbetskamrater måste lösas tillfredställande.
- Val av robottyp som bland annat utgår från vilka arbetsuppgifter den skall utföra, måste göras med hjälp av en kravspecifikation.
- Roboten får inte ta bort det meningsfulla i arbetet, dvs. roboten skall endast utföra handräkningsuppgifterna.

Idag 1998 är aktiviteterna inom personrobotområdet samlade kring ett Nationellt Robotcentrum för rörelsehindrade. Certec och Rehabcentrum Lund-Orup är de aktiva projektdeltagarna. Förutom Walky, som beskrivs utförligt i kapitel 5, används en RAID-station (se kapitel 2.3) och en Manus-arm (se kapitel 2.4) i forsknings- och utvecklingsarbetet. I nära samarbete bedriver avdelningen för robotteknik vid Lunds tekniska högskola under ledning av prof. Gunnar Bolmsjö två personrobotprojekt. Det ena är att förbättra den tekniska prestandan på Handy 1, se kapitel 2.1, och utöka robotens arbetsområden. Det andra är byggandet av en helt ny rullstolsmonterad personrobot.

### Internationellt perspektiv

Internationellt sett har det under cirka 20 år pågått forsknings- och utvecklingsprojekt inom området robotar för rörelsehindrade. Ur några av dessa projekt och genom initiativ från små företag har kommersiella produkter dykt upp. Tabell 1 innehåller en lista över dessa produkter liksom information om deras ursprung, kostnad, mm.

Jag har valt att närmare presentera fyra av ovanstående produkter, nämligen Handy 1, DeVar, RAID, och Manus (se kapitel 2.1-2.4). Dessa ger en god bild av tillgängliga kommersiella personrobotar. Personligen har jag provat sex av de nio produkterna.

produkt-namn	land	företag	FoU-stöd/satsning	robottyp	ung.kost-nad	ung. antal sålda	sålda till
Prab Command	USA	PRAB Robotics	Boeing Company	Stationär arbetsstation	?	?	Arbetsplatser, forskning
DeVar	USA	Independence Works, Inc	VA Palo Alto, Rehab R&D Center, Stanford University	Stationär arbetsstation	800 kkr	3	Utvärdering
Manus	Holland	Exact Dynamics	IRV,TPD	Rullstolsmonterad	250 kkr	50	Holländska brukare
Handy 1	England	Rehab Robotics	Examensarbete, typ fil. kand.	Manuell flyttbar arbetsstation	48 kkr	140	Brukare
Helping Hand	USA	Kinetic Rehabilitation Instruments	"Starta eget företag"	Rullstolsmonterad	76 kkr	10	Klinisk utvärdering och forskningsutvärdering
Papworth Arm	England	Papworth Group	Inventaid	Rullstolsmonterad	64 kkr	5	?
RAID	England Frankrike Sverige	Oxford Intelligence Machines	EU TIDE-projekt	Stationär arbetsstation	440 kkr	9	Klinisk utvärdering
Arlyn Arm Workstation	USA	Arlyn Works	Utb. departementet USA	Stationär Utbildningsstation	240 kkr	0	-
Robotic Assistive Appliance	Canada	Regenesis	Neil Squire Foundation	Stationär arbetsstation	184 kkr	7	Kliniska och industriella applikationer
TOTALT						224	

Tabell 1. Sammanställning av kommersiellt tillgängliga personrobotar [5].

## 2.1 Handy 1

Handy 1 [6,7,8,9] är ett robotiserat hjälpmedel som har konstruerats för att göra det möjligt för människor, som annars skulle varit tvungna att få hjälp av en personlig assistent, att kunna äta och dricka på egen hand. Brukaren har total kontroll över valet av mattyp (potatis, kött, etc.) och hur fort han vill bli matad. Handy 1 kontrolleras med en enkel switch, som endast behöver en liten fysisk rörelse för att aktiveras.

Ett scannande system, bestående av 7 stycken lysdioder vid Handy 1:s tallrikssektion, ger brukaren möjlighet att välja mat från vilken del av tallriken han eller hon önskar och att dricka vid vilken tidpunkt som helst under måltiden. När Handy 1 är startad och maten serverad i kolumner på tallriken, börjar lysdioderna scanna från vänster till höger bakom tallriken. Brukaren väntar tills lysdioden lyser, bakom den kolumn av mat som hon/han önskar äta. Därefter aktiverar brukaren switchern och Handy 1 sätts i rörelse. Roboten rör sig till den valda kolumnen och slever upp en full sked med den mattyp som valts. Sedan rör sig roboten och serverar maten i en lämplig position framför brukarens mun. Brukaren kan sedan äta från skeden i den fart som hon/han önskar. Sedan trycker brukaren på switchen igen. Proceduren kan utföras gång på gång tills tallriken är tom. Genom att använda en åttonde lysdiod kan brukaren få tillgång till dryck när som helst under måltiden.



Bild 5. Den principiella uppbyggnaden av Handy 1.

## Bakgrund

Projektiden fick Mike Topping, då han vuxenstuderade på Keele Universitet i matematik, dator teknik och pedagogik. Under en praktikperiod på en specialskola såg Mike Topping en ung studerande, Peter Higginbottom, bli matad av en assistent.

Assistenten visade ingen uppmärksamhet mot Peter utan matade honom med vilken mattyp som helst oavsett vad Peter önskade äta och oavsett hur fort han önskade att tugga. Mike tyckte detta var ovärdigt och menade att det måste finnas något hjälpmedel, som kunde göra det möjligt för Peter att äta utan assistans.

## Utvärdering

Handy 1 har utvärderats två gånger. Första gången [10], i början 1990-talet, var det institutionen för psykologi vid Keele University som utförde utvärderingen. Testgruppen bestod av 20 personer med svåra fysiska handikapp som alla använt Handy 1 under minst tre månader.

Resultaten visade att den största fördelen var att brukaren själv kan välja vad hon/han vill äta. Ett barn fick högre status bland sina kompisar för att de trodde han var smart som använde en datorstyrd robot. Hans assistent tyckte att denna positiva statushöjning hade inspirerat honom till större ansträngningar.

En av bieffekterna med utprovningen av hjälpmedlet var att 25% av testpersonerna påtalade att det var just utprovningen som visade att de hade problem med sin sittställning i rullstolen. Roboten kan ju inte leverera maten i olika positioner, som en mänsklig assistent kan och testpersonen observerade därigenom att rullstolen inte gav tillräckligt fysiskt stöd för att han skulle kunna äta från samma ställe hela tiden. De flesta assistenterna ansåg att testpersonerna i allmänhet blivit mer alerta och mer intresserade.

Under en måltid kunde brukaren behöva aktivera switchern upp till 42 gånger. Han förflyttade sitt huvud lika många gånger till samma position för skeden. Flera brukare ökade därigenom sin koordinationsförmåga. Assistenterna tycker också av vanan att bita i skeden har minskat. När brukaren blir matad av assistenten, tar denne ut skeden ur munnen. Men när brukaren använder Handy 1, måste han eller hon själv flytta bort munnen från skeden. Detta kan inte göras förrän de släppt taget med tänderna. Flera brukare har också fått bättre huvudkontroll, läppkontroll och sväljning.

Den andra gången gjordes utvärderingen [11] i intervjuform av 22 personer som alla var vana Handy 1 användare. Institutionen för psykologi vid Staffordshire University utförde utvärderingen. 19 av testpersonerna var nöjda och 3 var missnöjda med utseendet av roboten. 14 testpersoner svarade att roboten var lätt att använda, 7 svarade mycket lätt och 1 svarade mycket svår.

Av 21 testpersoner svarade 12 stycken på frågan om Handy 1 ökat oberoendet att de var mycket nöjda, 5 stycken att de var nöjda samt 4 stycken var missnöjda. Två tredjedelar av testpersonerna svarade att de tyckte Handy 1 var mycket driftssäker och övriga svarade driftssäker.



Bild 6. Bilden visar hur man kan sminka sig med hjälp av Handy 1.

Handy 1 är idag en kommersiell produkt [12] med en etablerad försäljningsorganisation i Storbritannien. Man arbetar också med att utveckla Handy 1 systemet att bli tekniskt bättre [13,14,15] samt att kunna utföra fler arbetsuppgifter såsom tandborstning, sminkning, rakning och tvättning.

## 2.2 DeVar

På Palo Alto VA Rehabilitation R&D Center i samarbete med Spinal Cord Injury Center har en robotiserad arbetsstation [16] för desktop-publishing konstruerats och byggts, för att människor med tetraplegi skall kunna återvända till en arbetsplats efter skada. Ett av målen har varit att roboten skall utföra handräckningsoperationerna istället för en personlig assistent. De andra målen var att öka arbetstagarens oberoende, livskvalité samt ge en ökad produktivitet. Man ansåg att om målen uppfylldes rättfärdigade det en högteknologisk lösning.

I USA finns det c:a 70000 människor med tetraplegi idag. Varje år uppskattas det att mellan 2400 och 6000 människor skadas, med tetraplegi som följd. De flesta av de nyskadade är yngre vuxna med normala livsförhållande.



## Systemuppbyggnad

Roboten är av typ PUMA -260 med en VAL-II styrenhet monterad på 12 dm lång åkrörelse, som har en repeter Noggrannhet på 0,3 mm. Gripdonet är en Otto-Bock Greifer protes hand som mäter handöppningen med en noggrannhet av 0,6 mm. PUMA-robotens styrenhet övervakas av en IBM-PC kompletterad med ett VOLTAN styrkort med inbyggda funktioner för röstigenkänning och digitaliserat tal. Ett enkelt användarvänligt program skrivet i TurboPascal har utvecklats för att brukaren skall kunna styra roboten med enkla kommandon.

Konstruktionen i fråga [17,18] har föregåtts av enklare versioner av robotteststationen. Skillnaden i uppbyggnad är åkrörelsen. Tester gjordes då på 19 människor med tetraplegi, C3 till C5, och en person med Gullian Barrés syndrom [19,20,21]. Följande förprogrammerade tester utfördes:

- Matlagning (användning av kylskåp och mikrovågsugn)
- Äta med ett bestick (gaffel eller sked)
- Borsta tänderna med elektrisk tandborste och sköljning av munnen
- Dricka vatten eller juice med sugrör
- Tvätta och torka ansiktet
- Raka ansiktet och nacken med en elektrisk rakhyvel
- Ta emot en munpinne från roboten. Munpinnen används för att kunna skriva på tangentbordet och vända blad
- Sköta omgivningskontroll (ljus, radio och telefon)

Resultat från dessa tester visade att testpersonerna positivt graderade roboten som assistent i följande moment:

- Säker att använda
- Lätt att lära
- Robust konstruktion
- Tillförlitlig att använda
- Fungerande röstigenkänning
- Estetiskt utseende
- Utnyttjande av använt utrymme
- Ljudnivån
- Tid för att utföra hanteringsuppgifterna
- Hjälpmålet som helhet

Testpersonerna var nöjda med att roboten utförde ansiktstvätt, tandborstning, rakning samt tillagning av soppa och matning. I dessa moment föredrog testpersonerna att assisteras av roboten istället för av en person. 16 av de 20 testpersonerna menade att deras personliga assistenter och familjer skulle reagera positivt på en robot som ett tekniskt hjälpmedel. 18 personer svarade att de

skulle använda roboten oavsett hur deras personliga assistenter och familjer skulle reagera.

På den senaste versionen [22] av robotteststationen DeVar har det gjorts en studie med en tetraplegisk, C3, testperson på dennes arbetsplats samt inledande tester på en skola för gravt handikappade studenter. I de inledande testerna utprovades rutiner rörande hur disketter valdes ut, hanterades och sattes i diskettenheten. Resultaten från dessa tester ledde till konstruktionsförändringar av DeVar-stationen. Förändringar underlättade sedan installationen på testpersonens arbetsplats.



Bild 7. DeVar arbetsstationen installerad på företaget Pacific Gas & Electric med testperson.

Testpersonen arbetade och arbetar (både före och efter en fallolycka) som chefsprogrammerare på Pacific Gas & Electric. Efter olyckan installerade arbetsgivaren Kurzweils röstigenkänningsystem som ersättning för tangentbordet. Före robotinstallationen arbetade testpersonen fyra 10 timmars arbetsdagar i veckan. Han hade då traditionell hjälp av en personlig assistent med pappershantering, mat mm.

Före robotinstallationen gjorde en arbetsterapeut under en vecka ett funktionsutvärderingsprotokoll för att registrera testpersonens dagliga arbetsvanor.

Under 3 månader använde testpersonen DeVar systemet upp till 10 timmar/dag 4 dagar i veckan. Roboten klarade att:

- Tillhandahålla ett glas med vatten
- Ge halstabletter
- Ge medicin
- Servera mat
- Överrätta munpinne (även en ny om testpersonen råkat tappa en)

- Ta utskrifter från skrivaren
- Visa upp utskrifterna
- Lagra utskrifterna
- Svara och ringa med telefonen

Analyserna visade att testpersonen använde roboten ungefär 6 gånger per timme samt att det tar roboten totalt 12 minuter att utföra dessa uppgifter. Det tar ungefär dubbelt så lång tid för roboten att utföra dessa arbetsuppgifter, som vad det tar för den personliga assistenten under förutsättning att denne befinner sig i testpersonens arbetsrum. Robotstationen behöver tekniskt underhållas varje vecka med omprogrammering av de olika uppgifterna. För att minska det tekniska underhållet installerade man en loggfil som registrerade alla de använda kommandona. Genom att studera loggfilen kunde man hitta systematiska fel.

Slutsatsen var att provinstallationen [23] varit framgångsrik, men att processen att identifiera uppgifter för roboten och modifiering av omgivningen varit svår. Regelbundet underhåll av uppgiftsprogrammeringen krävs, vilket inte är tillfredsställande vid en fast installation. Då måste automatisk kalibrering och någon sökmetod införas för att hitta de olika objekten.

### Är det kostnadseffektivt med en robotinstallation som DeVar?

Man har jämfört de totala robotkostnaderna mot kostnaden för en personlig assistent och visat att robotsystemet betalar av sig på cirka 1,5 år på en 8 timmars arbetsdag [24]. Den totala robotkostnaden är \$100 000 i investeringskostnad, \$2400 installationskostnad och \$3000 i årligt underhåll. Detta skall jämföras med att amerikanska försäkringsbolag betalar 30\$ per timme för en personlig assistent (gäller för 1991).

Akkumulerade kostnader (\$)

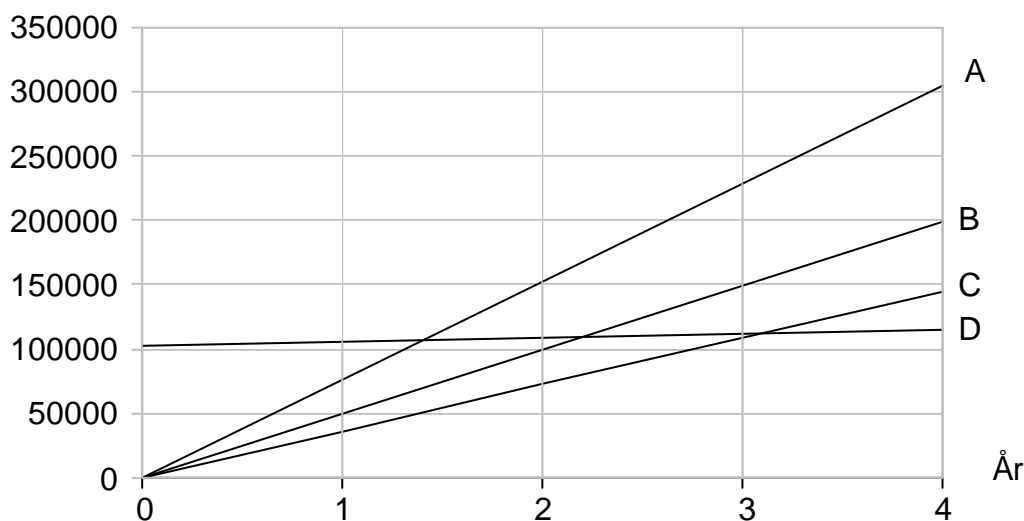


Diagram 1. Kostnadsjämförelse mellan DeVar robotstation (D) och personlig assistent under 8 (A), 6 (B) eller 4 timmars arbetstid (C).

## 2.3 RAID

Ett av projekten inom EU-programmet TIDE var RAID. Bakgrunden till projektet var ett flertal existerande prototyper [20,25,26,27,28,29,30].

Arbetsstationen RAID har utvecklats av företag och universitet i England, Frankrike och Sverige. RAID-stationen konstruerades för brukare med två fungerande frihetsgrader, kunniga att styra en inmatningsenhet av typ joystick eller styrkula från en standardtyp av elektrisk rullstol. Inmatningsenheten används för att styra datorapplikationen såsom CAD-arbete (datorstött ritningsarbete), desktop-publishing, bokföring, kalkylprogram etc. Inmatningen effektiviserades genom att använda en tangentbordsemulator, WiVic. Då brukaren behöver utföra handräkningsuppgifter, t.ex. hantera papper och dokument, läsa i en manual, skriva ut och arkivera en rapport, fotokopiera och skicka ett fax, kommenderar brukaren roboten och hanteringsuppgiften utföres. Robotstationen är uppbyggd kring en förlängd och förbättrad RTX-robot monterad på en åkrörelse. RAID-stationen är konstruerad som en bokhylla, 1,7 m hög och 2,1 bred.

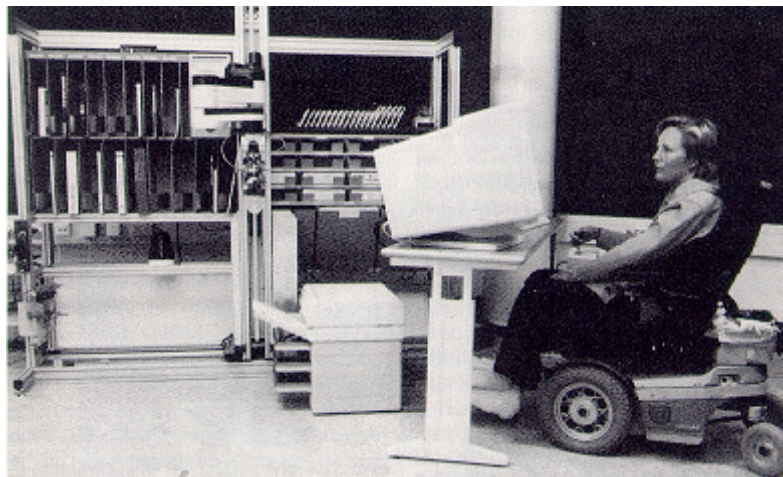


Bild 8. Bilden visar den robotiserade arbetsstationen RAID1.  
Photo: Helena Alvesalo.

Roboten kan hantera böcker och pappersark från bokhyllan och lagringsfacken till ett läsbord och vända sidor på kommando. Det går också att hantera kringutrustning som skrivare, scanner, häftapparat mm. Även disketter och CD-ROM skivor kan flyttas till och från lagringshyllor. Det är också möjligt att assistera brukaren genom att servera dryck.

Ovan beskrivs RAID1 som utvecklades under 1991-1993. Projektfas 2, kallad EPI-RAID, pågick under 1993-1996 och innebar:

- Att utveckla RAID1 baserad på brukar feedback, till en version kallad RAID1A.
- Att göra utökade användartester och marknadsundersökning på RAID1A.
- Att specificera en kommersialiserbar version, RAID2, baserad på ovanstående feedback.
- Att göra användartester och marknadsundersökning på RAID2.

Slutresultaten av användartesterna på RAID2 [31] vittnade om att både brukare och assistenter tror att RAID är ett användbart tekniskt hjälpmedel. En markant förbättring visade brukarnas bedömning av RAID2 jämfört med RAID1A. Ett antal tekniska förbättringar gjordes också till slutversionen RAID2.

En del av testpersonerna tyckte att arbetsstationen var för stor. Denna kritik framfördes redan vid utvärderingen av RAID1, och därför gjordes hela RAID-systemet modulärt. Det innebär att brukaren kan välja mellan ett par olika storlekar av RAID2 vid en eventuell beställning. RAID-stationen finns idag i 9 exemplar i Frankrike, Sverige och England.



Bild 9. Bilden visar den robotiserade arbetsstationen RAID2.

## 2.4 Manus

Manusprojektet initierades av det holländska förbundet för muskeldystrofi. Målet med Manusprojektet var att utveckla en prisvänlig rullstolsmonterad manipulator med en modular datorstödd kontrollstruktur, anpassningsbar till människor med grava fysiska handikapp i armar och ben.

Manussystemet består av:

En leduppbyggd manipulatorarm [32,33,34,35,36,37] på en teleskopisk kolumn, upphängd på ena sidan av rullstolen. Armen har 8 frihetsgrader inklusive gripdon, en maximal räckvidd på 80 cm och möjlighet att lyfta upp till 1,5 kg. Maximal styrka i greppet är 20 N. Armen väger 20 kg och kan röra sig med maximalt 10 cm/s.



Bild 10. Manus-armen monterad på en rullstol.

### Kort beskrivning av funktionen.

Manipulatorn ger användaren direkt kontroll över gripdonets arbetspunkt, genom att omvandla kommandon för arbetspunktens förflyttning på ett användarvänligt sätt. Manus-armen styrs via en knappsats eller en analog joystick. När brukaren inte använder armen kan hon/han fälla ihop armen vid sidan av rullstolen. Den kan även hakas av helt från rullstolen.

Manus-armen har utvärderats i flera länder av arbetslag [38,39,40] bestående av arbetsterapeuter, ingenjörer och brukare. Två större undersökning [41,42] har utförts i Kanada i samarbete

mellan Bloorview Children's Hospital och Hugh MacMillan Rehabilitation Centre. Resultaten från undersökningarna har givit förslag på kriterier för en blivande brukare. Han/hon skall:

- Ha minimal eller ingen handfunktion.
- Inte kunna att lyfta sina armar dvs. ej kunna övervinna gravitationen.
- Inte ha någon kompensatorisk arm funktion.
- Vara beroende av elektrisk rullstol.
- Ha begränsad koordination av armar, händer eller fingrar.
- Ha rimlig till bra rumslig koordination och förståelse.
- Inte kunna att äta och dricka på egen hand.
- Inte kunna att hantera föremål.
- Kunna kontrollera ett lämpligt styrdon.

Man identifierade främst människor med följande handikapp som användare av Manus-armen: progressiv dystrofi, speciellt Duchenne muskeldystrofi och svår spasticitet samt brukare med ryggmärgsbrott, MS och reumatism.

Den blivande brukaren bör:

- Sysselsätta sig med aktiviteter på olika ställen, inomhus och utomhus
- Kunna klara sig själv utan tillsyn under betydande delar av dagen
- Bo antingen i ett assisterat eller oberoende boende eller hemma där frånvaron av teknologi som Manus utgör en oacceptabel börda för andra familjemedlemmar
- Kunna börja eller återuppta arbete eller studier med hjälp av Manus
- Vara motiverad att använda Manus-armen så mycket som möjligt
- Kunna förstå och komma ihåg teknisk information
- Vara kreativ och uthållig inom området datorteknologi
- Ha tillgång till personer i sin omgivning som kan montera/demontera Manus-armen från rullstolen

Man rekommenderar att brukaren skall få träna med Manus-armen i 3 månader. Sedan skall effektiviteten i teknikanvändningen undersökas. De tre kriterierna som bör uppfyllas är att:

- Manus-armen har använts i hemmet och för de aktiviteter den är anvisad för.
- Manus-brukarens oberoende och livskvalité har ökat.
- Uppgifterna för assistenter och/eller familjemedlemmar har lättat märkbart.



Bild 11. Bilden visar en brukare som dricker med hjälp av Manus-armen.

# 3 Sensorer

En mobil robot behöver avkänningsystem för att kunna kontrollera sin väg och sin omgivning. För detta finns det en mängd olika möjligheter. Så kan t.ex. roboten via en kamera och ett bildbehandlingssystem (machine vision) registrera om ett närbeläget föremål finns lagrat i databasen och därmed också veta hur den skall hantera det samma. Roboten kan också ha sensorer, som registrerar t.ex. avstånd och hinder. Det finns optiska, mekaniska (baserade på t.ex. gyroskop eller taktilitet, dvs. vidrörning), elektriska (induktiva, kapacitiva), magnetiska och akustiska givare. Jag valde att använda mig av den sistnämnda kategorin och utrustade Walky med ultraljudsensorer.

Skälen till mitt val var att ultraljudsystemet var det som fanns direkt kommersiellt tillgängligt, integrerat med robotbasen och i prisnivå enligt kravspecifikationen. Med hjälp av sina ultraljudsensorer kan Walky hålla rätt på avstånd till väggar/ motsvarande.

De flesta distansmätande ultraljudssystem är baserade på time-of-flight metoden. Den här tekniken omfattar.

1. Avgivandet av en ultraljudspuls, bestående av en eller flera diskreta frekvenser, från en lämplig ultraljudsändare.
2. Spridning av ultraljudspulser över en viss distans.
3. En mottagare som tar emot ultraljudspulserna.
4. Beräkning av tiden mellan avgivandet och mottagandet av ultraljudspulsen, där avståndet ( $d$ ) till det föremål som reflekterat ultraljudspulsen kan beräknas ur:

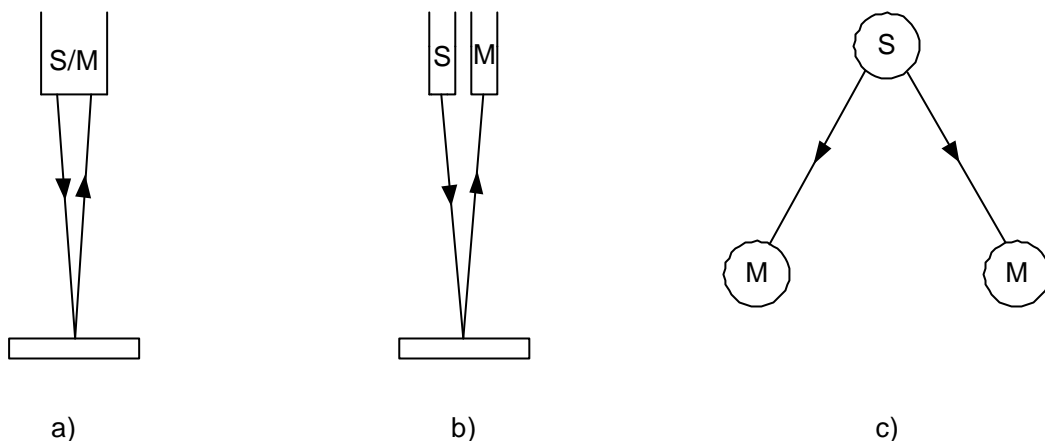
$$d = \frac{v * t}{2}$$

där  $v$  = ljudhastigheten och  $t$  = tiden mellan avgivandet och mottagandet av ultraljudspulsen.

Den uppmätta tiden kan enkelt omvandlas till ett avstånd enligt ovan, förutsatt att man vet ljudhastigheten vilken varierar lite med temperatur och luftfuktighet. För att pressa noggrannheten bör man därför kunna kalibrera sitt sensorsystem utifrån rådande förhållanden.

Två metoder används vanligen vid den här typen av längdmätning. Den första, puls-eko metoden, använder samma enhet som mottagare och sändare. Avståndet som denna metod mäter är från sändaren till det reflekterande föremålet och tillbaka till sändaren, se figur 1a. Den andra metoden använder separata mottagare och sändare. Avståndsmätningen i den här konfigurationen är endera mätning av avståndet mellan sändaren och mottagarna, se figur 1c, eller avståndet mätt från sändaren till det reflekterande föremålet och till mottagaren, se figur 1b.



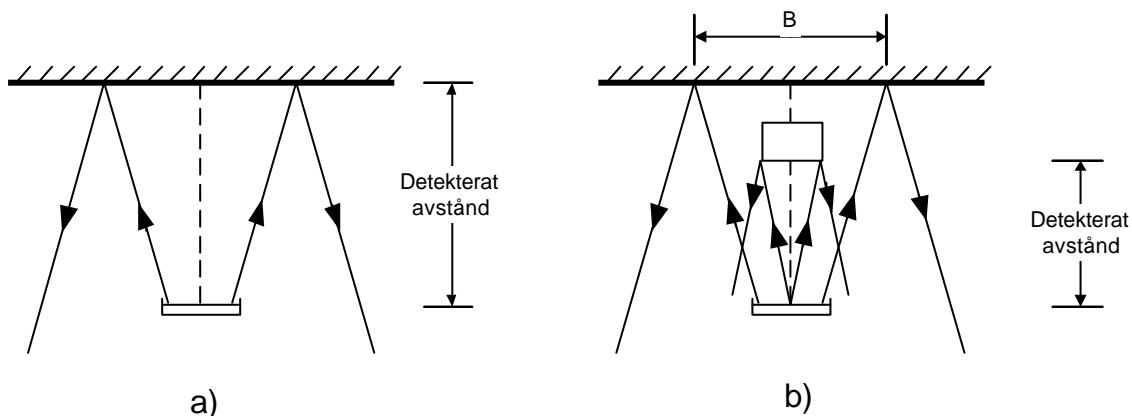


Figur 1. Olika principiella konfigurationsmöjligheter vid avståndsmätning med ultraljudssensorer

- a) Samma sändare (S) och mottagare (M),
- b) Olika sändare och mottagare,
- c) Tvådimensionell detektering av sändaren men två fast monterade mottagare.

### Möjliga felkällor

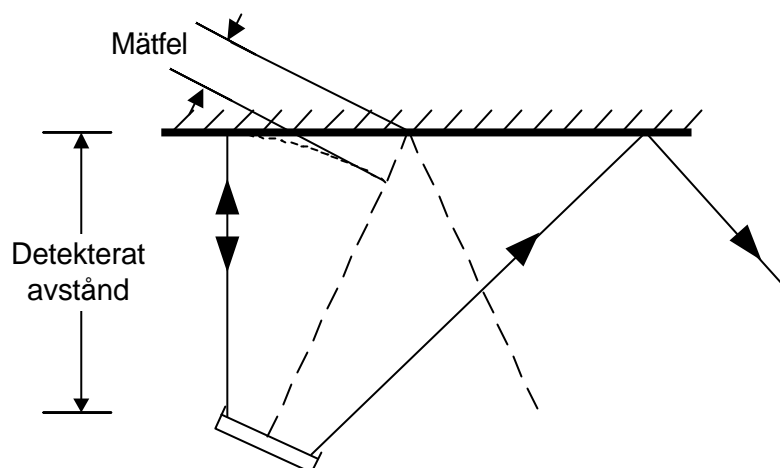
I följande exempel, figurerna 2-6, är mottagare och sändare placerade i samma enhet, på samma vis som Walkys ultraljudssensorer.



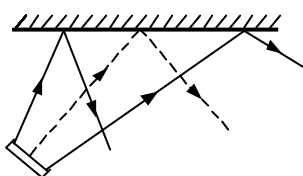
Figur 2. a) Korrekt avståndsmätning, b) Ett litet föremål placeras framför sensorn.

När ljudvågens centrumlinje är vinkelrät mot en vägg, är det uppmätta avståndet korrekt (figur 2a). Om ett litet föremål placeras framför väggen, är det uppmätta avståndet till föremålet korrekt, men positionen i sidled obestämmd, inom sträckan B (figur 2b). Praktiskt är det en fördel om två eller flera sensorer har

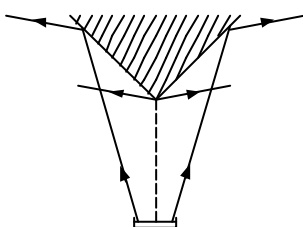
gemensamma och enskilda detekteringsområden, då kan ett föremåls sidledsposition bestämmas med bättre noggrannhet.



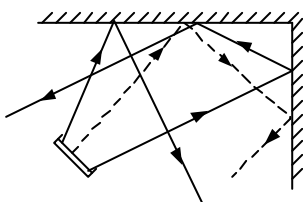
Figur 3. Detektering av en vägg, då centrumlinjen inte är vinkelrät mot väggen.



Figur 4. Vägg som ej går att detektera.



Figur 5. Detekteringen av en spetsig hörna.



Figur 6. Falsk reflektion.

Den av ultraljudssensorn detekterade sträckan är en funktion av ljudvågens vinkel i förhållande till reflekterande ytan. Om sensorn roteras så att ljudvågens centrumlinje vinklas mot väggen, (figur 3), blir det uppmätta avståndet till väggen längs ljudvågens kant istället för avståndet längs ljudvågens centrumlinje. Det skenbara avståndet är alltså kortare än det axiella avståndet, vilket resulterar i ett fel i avståndsmätningen. Felet i det uppmätta avståndet beror på sensorns rotation och ljudvågens spridningsvinkel.

De ovan nämnda felen kan reduceras genom att använda sensorer med en mindre spridningsvinkel på ljudvågen. Minskningen av spridningsvinkeln, ökar emellertid risken för andra fel, se figur 4, 5 och 6. Dessa fel är följden av spegelreflektion av ljudvågen på släta ytor. Felen kan reduceras genom att öka ytornas skrovlighet, vilket ökar spridningen av den reflekterande ljudvågen.

Om rotationen av sensorn ökas, vid ett gränsvärde på rotationen, reflekteras ljudvågen iväg från väggen och väggen blir osynlig, se figur 4. Gränsvärdet om ljudvågen reflekteras eller inte beror på storleken av rotationen och väggytans skrovlighet.

Allvarligare feldetekteringar uppstår när ett hörn blir osynligt, se figur 5. Lyckligtvis behövs endast en liten krökning av hörnet för att det skall bli synligt. Ett annat felkälla är falsk reflektion, se figur 6. Ljudvågen reflekteras från ett föremål till ett annat och tillbaka till mottagaren. Dessa multipla reflektioner gör att föremålet verkar vara längre borta än det i verkligheten är.

# 4 Navigering

I detta kapitel har jag skrivit ut de engelska väldefinierade orden för olika faktatermer inom parentes efter den svenska översättning som jag gjort. Etablerade svenska termer saknas.

## 4.1 AGV

Navigering baserad på ledningssystem (guidance system) används ofta av automatstyrda fordon (Automated Guided Vehicles, AGV) eller autotruckar inom verkstadsindustrin och navigerings-korrigerig av felmätningar vid körning längs fördefinierade vägar med hjälp av detektering av landmärke.

### Ledningssystem

Kartorna som används här består av fördefinierade vägar. De kan till exempel utgöras av ledningsträdar som är nedgrävda i fabriksgolvet. Ledningsträdarna detekteras genom induktion och AGVn styrs av en omborddator via en trådlös förbindelse. Autotruckarna har också ett kollisionsdetekteringssystem, vilket stänger av dom vid en eventuell kollision.

Autotruckarna kan inte lämna sina fördefinierade vägar. Om ett föremål står i vägen längs vägen, kan inte AGVn fortsätta sin färd förrän föremålet har flyttats. Den här typen av navigering är tillräcklig för lokaler som inte är föränderliga. Ledningssystem är dyra att installera och helt oflexibla. En annan nackdel är att eventuella brott i ledningssystemet kan vara svåra att finna, dyra att åtgärda och dessutom skapa kraftiga produktionsstörningar.

Alternativa ledningssystem är målade linjer, rader av magneter eller fluorescerande linjer.

Under kartläggningsfasen samlas mätdata in från både de externa och interna (död räkning, se nedan) sensorerna. Kartan över terrängen, lagrad i en strukturerad datafil, är antingen digitalisering av en existerande karta eller inlärdd av roboten under färdens genom terrängen. Mätdata används för att skapa en karta eller modifiera en tidigare existerande karta.

Kartan genomsöks efter lämpliga alternativa vägar under vägplaneringsfasen. En lämplig väg väljs ut från de framtagna alternativen med hänsyn tagen till införda villkor.

När färdvägen är bestämd, startar körningsfasen. Under robotens framfart övervakas dess rörelser enligt givna dynamiska och statiska villkor. Sensordata undersöks kontinuerligt under framfarten och denna information jämförs med existerande karta för att undvika eventuella kollisioner. Om en kollision är möjlig, startar automatiskt en kollisionsundvikningsrörelse.

Navigering (navigation) för mobila robotar kan spjälkas upp i nedanstående delmoment:

- kartläggning och utformning av omgivningarna (mapping and modelling the environment)
- vägplanläggning (path planning)
- körning längs vald väg och kollisionsundvikning

### Död räkning (dead reckoning)

Några mobila robotar använder död räkning för att följa fördefinierade vägar och detektering av landmärken eller fyrar för att korrigera positionen. Död räkning är en beräkningsmetod av robotens position och orientering genom att hjulens rörelser mäts. Styrning med död räkning innehåller ett antal felkällor:

- Dålig mekanisk inriktning av hjulen
- Slirande hjul
- Störningar i sensorsignalerna
- Glapp i drivmekanismen
- Fel i sensorsignalerna
- Variationer i färdbanan beroende på ytojämnheter

Föreställ dig en mobil robot med två parallella drivhjul, som drivs med samma vinkelhastighet och därför samma periferihastighet. Om enbart det ena hjulet rullar över ett hinder, medför detta att roboten vänder sig lite mot hindret

### Fyrar (beacons)

För att minska problemen vid död räkning, kan mobila robotar detektera fyrar längs vägen. Roboten beräknar fyrens position med hjälp av sensorer [43] och korrigerar därefter sin väg. Fyrar har stora likheter med fjärrkontroller till TV-apparater och arbetar nära infraröda området (880-950 mm våglängd). Infraröda signaler i det här området försvagas föga av rök och luftburet damm. Varje fyr sänder ut ett pulståg med bland annat ett identifikationsnummer tills den får kommunikationskontakt med roboten. Därefter aktiveras fyren till en infrarödsändare och sänder ut sin position till roboten.

## 4.2 Olika kartläggningmetoder

Kartor av omgivningarna kan indelas i fyra huvudkategorier:

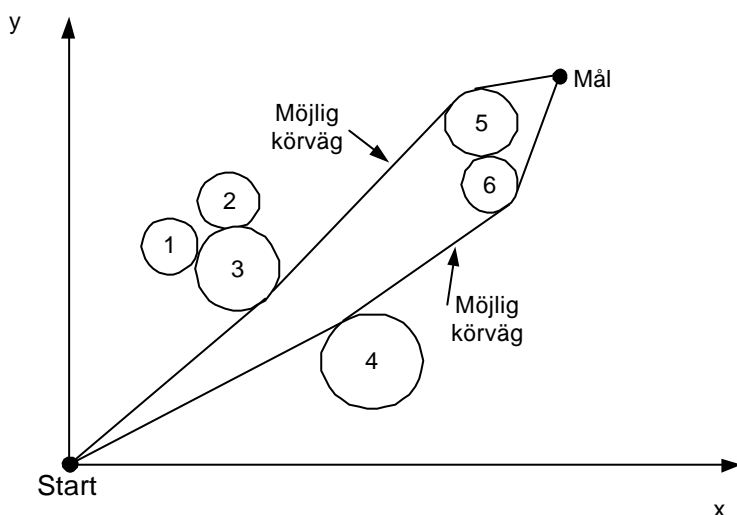
- Vägkartor (Path maps)
- Kartor över öppna områden (Free-space maps)
- Objektorienterade kartor (Objekt-oriented maps)
- Kartor över sammansatta områden (Composite-space maps)

I avsnittet om AGV presenteras principen för *vägkartor*. Kartor som skapas med sensorinformation kan utföras så att de kan kategoriseras i någon av de tre andra kategorierna.

### Kartor över öppna områden (Free-space maps)

En mobil robot kan förflytta sig i en okänd omgivning utan en detaljerad karta genom att använda sensorinformation. Roboten kör längs olika vägar i omgivningen och stannar längs vägen för att detektera. Resultatet redovisas sedan schematiskt i någon typ av diagram.

Ett exempel på detta är hur Hans Moravec [44] använder ett visionsystem för att detektera punkter med karakteristiska kontrastskillnader i förhållande till omgivningen. Dessa punkter lokaliserades entydigt från olika håll och deras positioner bestämdes. Om tillräckligt många punkter lokaliserades för att definiera ett föremål, visade sig denna modell tillräcklig för planering av en kollisionsfri väg, om en sådan existerade. Samtliga objekt modellerades som cirklar, se figur 7. Därefter kan möjliga körvägar väljas, se kapitel 4.3.



Figur 7. Karta baserad på detektering av föremål med ett visionsystem.

### Objektorienterad karta

I situationer när omgivningen är välkänd, kartläggs ofta föremål i en objektorienterad karta [45] som tydligt redogör för positionen för föremål i omgivningen, vilket innebär att ytor som inte är ockuperade av föremål är fritt utrymme.

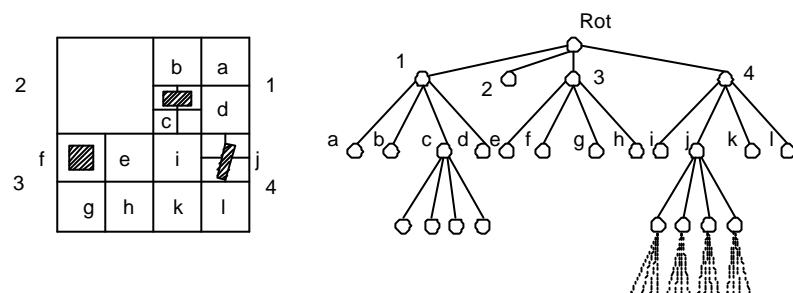
### Kartor över sammansatta områden

Kartor över öppna områden och objektorienterade kartor har begränsningen att de bara delvis beskriver omgivningen. Endera är "de öppna områdena" grovt kartlagda och allting annat försummat eller är föremålen kartlagda och "de öppna områdena" en slutsats. Många problem vid användandet av mobila robotar beror på att

både fritt utrymme och föremål måste vara kända. När en robot framföres genom ett öppet område, måste den kunna undvika kollisioner med föremål som ingår i robotens uppgifter, till exempel en dockningsstation.

Den vanligaste metoden att skapa kartor över sammansatta områden är ytnät-metoden (area-grid method). De innebär att ett nät läggs över kartan på robotens arbetsområde där statusen (tom eller upptagen av ett föremål) för varje kvadrat av rutnätet beskrivs. En svårighet med denna metod är att göra rutorna lagom stora. Är nätet för grovt, kan samtliga rutor förefalla "fyllda av ett föremål", och roboten hittar inget ledigt utrymme att ta sig fram till målet. Om nätet däremot görs finmaskigt, krävs det stor datorkapacitet för att hantera den stora informationsmängd som uppstår.

Ett sätt att minimera det här problemet är det så kallade "quadtree" [46]. Ett "quadtree" delar rekursivt kartan på robotens arbetsområde i lika stora kvadrater, se figur 8. Rekursionen upphör när antingen kvadranten är homogen eller den minimala kvadratstorleken uppnåtts. En kvadrant är homogen när hela ytan på kvadranten har samma status (tom eller innehållande del av ett föremål).



Figur 8. Exempel på  
a) geometrisk presentation;  
b) tillhörande trädstruktur enligt quadtree-metoden.

Ett "quadtree" är lagrat i en trädstruktur, där statusen på kvadranten lagras i noden. Om kvadranten täcks av en likformig yta, delas den inte fler gånger. Sålunda beskrivs stora ytor med samma status med ett litet antal kvadranter. Det här fungerar bra så länge föremålet har parallella sidor med kvadranterna. Föremål som har icke parallella sidor (se kvadrant j i figur 8) med kvadranterna kräver mindre och mindre kvadranter för att minimera osäkerheten i en kvadrants status. Den minsta kvadrantstorleken bestämmer djupet i trädstrukturen samt noggrannheten i kartläggningen.

## 4.3 Vägplanering (Path planning)

Kartor för mobila robotar används för två huvudsyften: registrera var roboten har varit och planera vägen för det som följer. Det gäller:

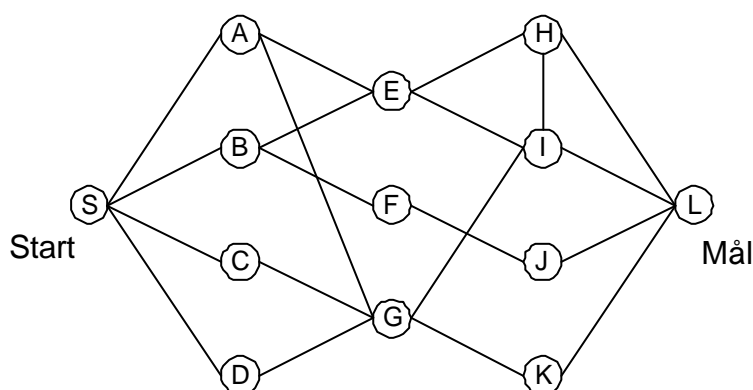
1. att hitta en väg igenom den kartlagda omgivningen så att roboten kan köra längs denna väg utan att kollidera med någonting.
2. att hantera osäkerheter i den sensordetekterade modellen och hantera fel i den planerade vägen.
3. att minimera inverkan av föremål som kommer inom robotens sensorsynhåll genom att hålla roboten borta från dessa föremål.
4. att hitta en optimal väg, om den här vägen används regelbundet.

### Vägplanering för AGV

Vägar för AGV-system planeras vanligen av människor. När vägarna är färdigbyggda med ett ledningssystem i golvet, planeras det omsorgsfullt vilket vägval som roboten skall göra, för att uppnå ett effektivt transportsystem.

### Automatiskt vägplanering

Om det finns ett begränsat antal välkända delvägar [47] är det lämpligt att skapa ett sökträd, se figur 9. Robotens startpunkt är roten i trädstrukturen och delvägarna grenarna i trädet. Vägen från starten till målet enligt figur 9 kan lösas på många olika sätt. Man kan använda någon sökalgoritm som söker igenom trädet för att primärt försöka finna ut om det finns någon väg till målet och också minimera längden av den totala sökvägen



Figur 9. Ett exempel på ett sökträd som visar hur vägen från startpunkten S till målet M kan spjälkas upp i delvägar.

### **Vägplanerare för öppna områden (Free-space planners)**

Av namnet framgår det att denna typ av vägplanerare är avpassade för kartor gjorda för öppna områden (free-space maps). I en smal korridor är det önskvärt att roboten går mitt emellan väggarna därför att det minimerar kollisionrisken om något mindre sensorfel uppstår, men i en bred korridor vore det lämpligare om roboten följde ena väggen med ett visst säkerhetsavstånd. I ett stort öppet område kan det orsaka problem om roboten kör en längre väg än det är nödvändigt.

### **Vägplanerare för objektorienterade kartor**

I objektorienterade kartor planeras vägen som en serie av vektorer anslutna via objektens ytterkanter. När objekten är modellerade som cirklar, se figur 7, krymper roboten till en punkt och cirklarnas diameter ökas med robotens diameter. Vägen är antingen en rak linje från start till mål eller en sekvens av de tangentiella segmenten mellan cirklarna och delar av cirkelbågen runt cirkeln.

I den här vägplaneringsmetoden är optimeringsproblemet att hitta den kortaste vägen mellan objekten och runt dessa. Det här är mer komplext än det först verkar. Det finns fyra möjliga vägar tangentiellt mellan varje cirkelpar. Punkten på cirkelbågen där en tangent ansluts och punkten där nästa tangent lämnar är inte densamma. Längden av cirkelbågen mellan dessa punkter måste adderas till tangentens längd.

En fullständig vägsökning kräver att varje tangentiell väg mellan varje par av cirklar genereras och adderas till ett sökträd för alla möjliga delvägar. Sedan används sökalgoritmer som vid automatisk vägplanering.

### **Vägplanerare för kartor över sammansatta områden**

Vägplanerare som använder ytnätsmetoden planerar delvägar från centrum av en tom fyrkant i nätet till en annan tom fyrkant i nätet. Det här planeringsverktyget har samma svaghet som vägplanerare för öppna områden men problemet är inte lika stort. Då många fyrkanter i nätet tillsammans bildar en polygon med statusen tom, tenderar den planerade delvägen att komma närmare till föremål i omgivningen än den optimala lösningen. Man tar här hänsyn till robotens yta genom att krympa roboten till en punkt och utöka föremålens diameter med robotens diameter.



# 5 Walky

Att konstruera och bygga experimentprodukten Walky, en mobil personrobot, har syftat till att ge rörelsehindrade människor idéer och tankar om hur ett flexibelt högteknologiskt hjälpmedel skulle kunna bistå dem i en arbets- och/eller hemmiljö.

En fysiskt handikappad person är ofta utestängd från arbetsmarknaden. Även om de nödvändiga kunskaper samt intresset för arbetet finns, sätter ofta handikappet stopp om personen inte får handräckningshjälp. Denna hjälp kan utföras av en robot som hämtar och flyttar saker.

Tidigare projekt, se kapitel 2, att ta fram personrobotar för rörelsehindrade i arbetslivet har inriktat sig på kontorsarbete. Rörelsehindrade är emellertid vare sig mer eller mindre administrativt intresserade eller kompetenta än andra, varför alternativ till kontorsarbete behövs. Jag har funnit att laboratoriearbetsplatser skulle kunna fungera som en god robotiserad arbetsmiljö.

Med "god" avses här främst att det skall finnas kvar ett meningsfullt arbetsinnehåll efter en robotisering. Det gäller att undvika att arbetet blir av enbart terapeutisk karaktär, vilket blir fallet om också kvarvarande arbetsuppgifter med fördel skulle kunna automatiseras sedan arbetsplatsen väl robotiserats. På laboratoriearbetsplatser kan en robot sköta det mekaniska (flytta provrör, etc.) och de egentliga kvalitativa arbetsuppgifterna likväl finns kvar.

En annan fördel med laboratoriesektorn i detta sammanhang är att det är relativt lätta föremål, som skall hanteras, och då kan små robotar väljas. En mobil personrobot kan också hjälpa flera rörelsehindrade människor om de arbetar i närliggande lokaler. Därmed effektiviseras användningen av hjälpmedlet, och kostnaderna kan fördelas.

Att kunna använda samma mobila personrobot i hemmet och på arbetet har varit visionen om den optimala lösningen. När man hämtas i sitt hem av färdtjänst för transport till arbetet, lastas även den mobila roboten på. Sedan följer den mobila personroboten med den rörelsehindrade människan under hela dagen.

Robotisering av arbetsplatser för rörelsehindrade människor har tidigare gjorts med stationära lösningar. Fördelarna med en mobil personrobot framför en stationär är:

- stor flexibilitet för användaren
- små ingrepp i den fysiska miljön
- möjlighet för flera användare att utnyttja samma utrustning
- den kan enkelt köras undan, när den inte används

Nackdelen är att den tekniska lösningen blir mycket mer komplex, antalet felkällor ökar och därmed risken för driftsstörningar.

Huvudkraven på robotsystemet har varit:

- optimal säkerhet
- hög användarvänlighet

Huvudkravet på arbetsplatsen har varit att meningsfullt arbete skulle finnas kvar efter robotisering.

## 5.1 Systemuppbyggnad

Med bakgrund i dokumenterade erfarenheter (andras och egna) från projekt med stationära personrobotar beslöt jag att samtliga ingående komponenter skulle vara av standardtyp. Med utgångspunkt från kostnaden för en stationär arbetsstation med personrobot typ RAID och rullstolsmonterad personrobot typ Manus bestämde jag att kostnaden för prototypen högst fick uppgå till 500 kkr. Säkerheten för brukaren och andra personer i dennes omgivning samt användargränssnittet på brukarens styrdator var andra viktiga faktorer som bestämde utgångskraven på systemet.

Jag valde en 5-axlig robot, SCORBOT ER VII, som griparm trots den begränsning i robotens rörelseförmågan som en robotarm med mindre än 6 axlar har. Robotarmen skulle monteras på en mobil robotbas med 3 rörelseaxlar, LabMate. Systemet som helhet fick då totalt 8 frihetsgrader, vilket löste problemet med robotarmens begränsning.

Inom verkstadsindustrin används AGV (Automated Guided Vehicles) eller autotruckar i flexibla produktionssystem för att transportera arbetsobjekt till och från produktionsutrustningsenheter. De styrmetoder, som används i verkstadsindustrin för att autotrucken skall kunna navigera, innebär stora ingrepp i den fysiska miljön, t.ex. att en tråd läggs några cm ned i golvet. Ingrepp av denna typ är inte vanliga i hem- eller kontorsmiljö.

Jag beslöt att navigeringen skulle ske med hjälp av ett sensorsystem. Sensorsystemet som valdes var ett kombinerat system av ultraljudssensorer och infraröda sensorer. Sensorsystemet var utvecklat för att arbeta tillsammans med den ovan nämnda mobila robotbasen. Det mobila personrobotsystemet döptes till Walky.

Systemintegrationen innebar att brukaren via sin arbetsdator med en trådlös förbindelse kommunicerade med en kommunikationsdator på Walky. Kommunikationsdatorns uppgift är att kommunicera med styrenheten för robotarmen, den trådlösa förbindelsen samt ett lokalt nätverk för den mobila robotbasen och sensorsystemet.

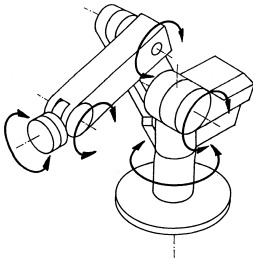
Robotarmen byggdes om till 24 V batteridrift från 220V växelspanning. Sensorsystemet utprovades, testades och byggdes ut efterhand, för att navigera i hem- och kontorsmiljö och kunna detektera till exempel bordskanter, trösklar och dörröppningar. Sensorsystemet intrimades också för väggföljning och till kollisionundvikning.

En karta av omgivningen skapades i AutoCad och transformerades till Windowsmiljö. I varje rum på kartan skapades manuella delmål. Antalet berodde på bland annat rumsstorleken. Walky kunde sedan navigera mellan dessa fördefinierade delmål med förberäknade delvägar, punkt-till-punkt navigering. Navigering mellan delmål och andra icke fördefinierade positioner utfördes med visuell navigering. Information om omgivningens utseende från sensorerna samlades in. Sensorsignalerna tolkades och en delväg mellan det icke fördefinierade positionen och delmålet skapades. Färdvägen blev summan av de förberäknade delvägarna plus de delvägar som beräknats med den visuella navigationen.

Sensorplaceringarna är utformade dels för att detektera hinder, dels för att skapa säkerhetszoner i Walkys körriktning. Ju närmare ett detekterat hinder Walky befinner sig, desto lägre är hastigheten på Walky.

Då en punkt-till-punkt navigering används, bestäms färdplanen helt av den inbyggda intelligens som finns i Walky, och brukaren har ingen möjlighet att påverka färdplanen. Jag har kompletterat punkt-till-punkt navigeringen med två andra styr sätt: dels att brukaren helt manuellt styr Walky, dels en kombination av de andra styr sätten. Det kombinerade styr sättet innebär att brukaren väljer den väg Walky skall köra manuellt samt kollisionundvikningsalgoritmerna från den visuella navigationen. Brukaren skall själv kunna välja med vilket styr sätt som hon/han önskar styra Walky.

På brukarens dator finns en karta som är skapad i AutoCad där brukaren lätt kan styra Walky och via kartan på datorn se var Walky befinner sig.



Figur 10. SCORBOT ERVII.

## Robot

I projektet har jag valt att arbeta med robot av typ SCORBOT VII med följande karateristiska tekniska data.

Stuktur:	sfäriskt ledad 5-axlig robot
Drivsystem:	
drivning	DC servomotorer
kraftöverföring	harmonic drives
Arbetsområde:	
bas	250 grader
skuldra	170 grader
armbåge	225 grader
handled pitch	180 grader
handled roll	360 grader
Max. arbetsradie	690 mm vid handleden 850 mm med gripdon
Max. hastighet	1 m/s
Max. last	2 kg
Repeternoggrannhet	0,2 mm

## Åkvagn

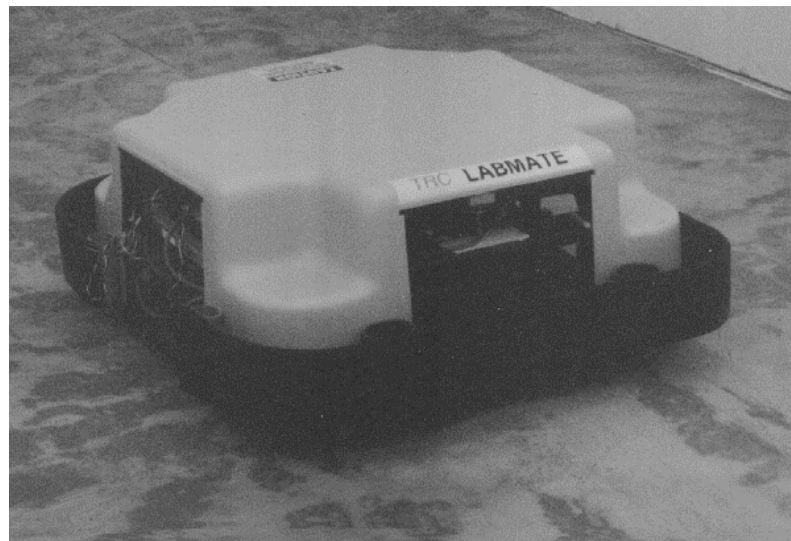


Bild 12. LabMate med kaross.

LabMate är en mobil åkvagn konstruerad och tillverkad av Transitions Research Corporation i USA. Åkvagnen består av en rörram i stål med en kaross av plast. Den har två drivande hjul av hårdgummi som sitter på en central axel. Axeln är festsatt med en fjädrande infästning i ramen. Fjädrarna är justerbara för att kompensera för olika laster. Åkvagnen styrs genom att hjulens individuella hastigheter kan varieras. Om till exempel vänster hjuls hastighet minskar, svänger åkvagnen åt vänster. I hörnen sitter fyra mindre, ofjädrade och svängbara hjul, vilket medför att stabiliteten

hos åkvagnen är stor. Åkvagnen är 700 mm lång, 750 mm bred och har en höjd av 280 mm. Den väger 49 kg utan batterier och är dimensionerad för en maximal last av 90 kg. Maxhastigheten är 1 m/s utan last, men minskar vid ökande last. Åkvagnen drivs av två seriekopplade 12 V bilbatterier.

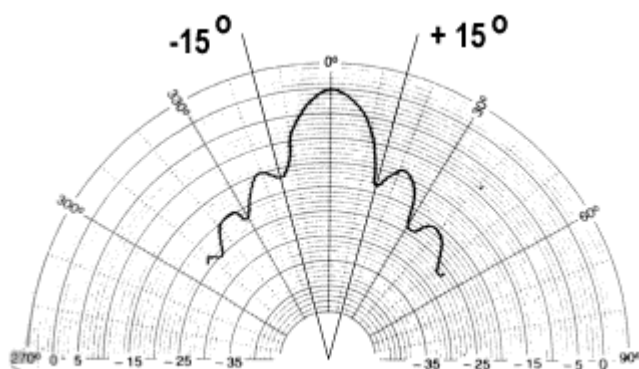
### Sensorsystem

En bidragande anledning till valet av LabMate var att Transitions Research Corporation säljer ett sensorsystem bestående av maximalt 24 ultraljudssensorer och 24 infraröda sensorer, som är integrerat med LabMate. De infraröda sensorerna är av typ fotocell, och man kan med dessa detektera förekomsten av hinder men inte avståndet till hindret. Därför valde jag att enbart använda de avståndsmätande ultraljudssensorerna, som beskrivs nedan.

Sensorsystemet konfigurerades med utgångspunkt från de speciella omständigheter som finns i en hem- och laboratoriemiljö, se kapitel 5.3.

### Polaroids ultraljudssensorer

Polaroids ultraljudssensorer är utvecklade för avståndsmätning för kameror. I samma enhet finns sändare och mottagare, och det är tiden mellan utsänd och returnerad puls, som ger avståndet. Det går att mäta avstånd från 27 cm upp till 10,7 m. Sensorn har en diameter på cirka 4 cm och kan detektera avstånd till föremål som befinner sig inom en vinkel på 30 grader, se figur 11.



Figur 11. Typiskt strålmönster vid 50 kHz.

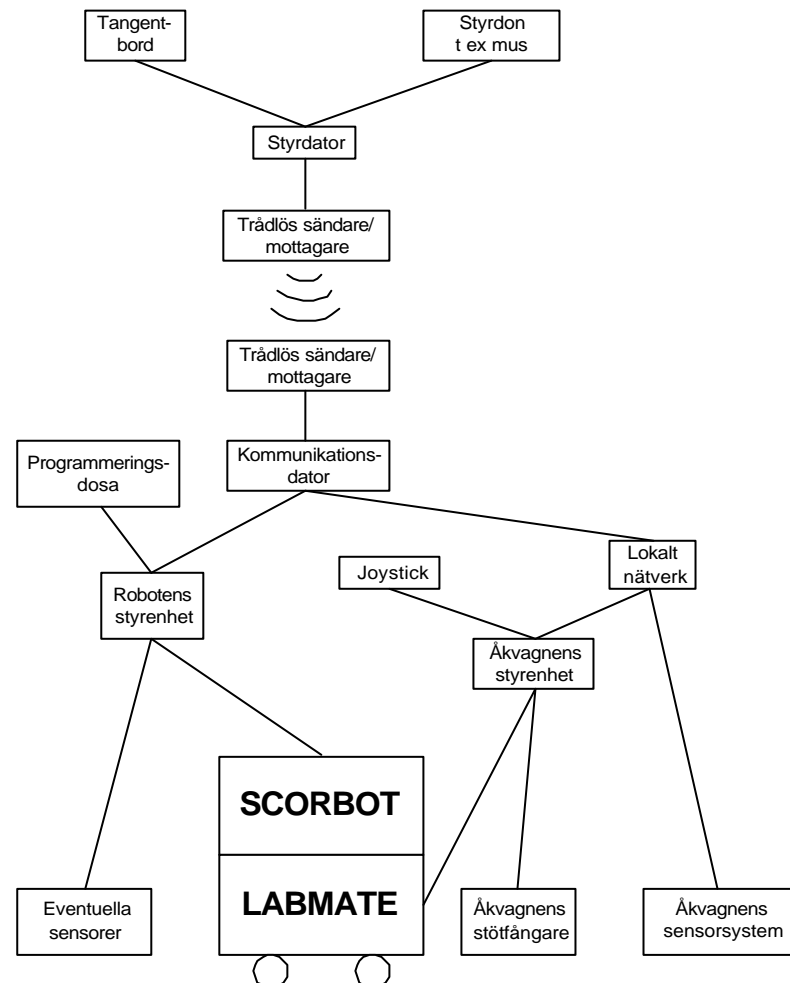
Ultraljudssensorerna är s k lågkostnadssensorer (pris ca 250 kr per styck), vilket är viktigt ur ekonomisk synvinkel då systemet kan innehålla upp till 24 stycken.

### Trådlös radiokommunikation

Överföringen av kommandon och data mellan persondatorn och robotbasen sker trådlöst via en seriell länk med hjälp av två radiomodem, ARLAN (Advanced Radio Local Area Network) 130 från Telesystems SLW Inc., USA. Modemens överföringshastighet är 9600 bps. Räckvidden är 30 - 45 m i ett vanligt kontor (kontoret indelat i rum med fysiska väggar). I ett kontorslandskap är räckvidden 45 - 75 m, medan räckvidden är upp till 300 m i en hinderfri omgivning.

### Kommunikationsdator

Idag skulle vi valt en traditionell bärbar dator med 3 kommunikationsportar som omborddator på Walky och operativsystemet skulle varit Windows NT. Den här lösningen var inte tillgänglig då jag arbetade fram Walky. Under projektets gång har jag testat olika datorlösningar, men ingen har fungerat tillfredställande ifråga om att arbeta med 3 kommunikationsportar. Jag har istället använt en manuell switcher för att antingen kommunicera med roboten eller åkvagnen.



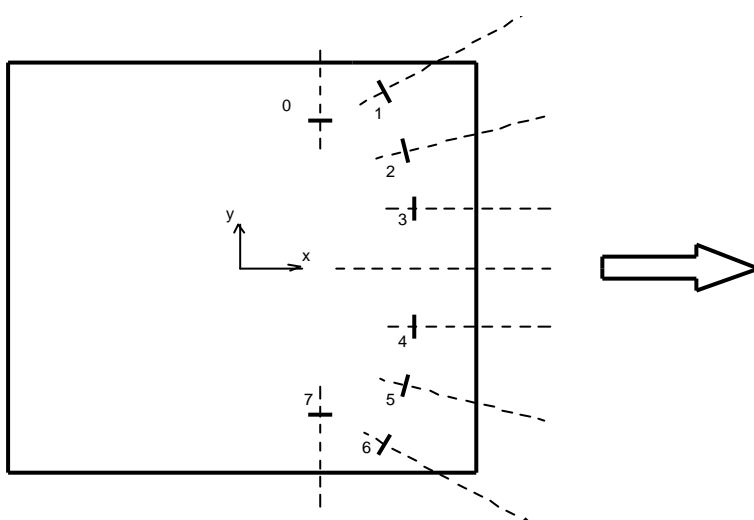
Figur 12. Det mobila robotsystemets struktur.

## 5.2 Konfigurering av sensorsystemet

### Version 1

På åkvagnen, LabMate, placerades 8 ultraljudssensorer, enligt figur 13 och tabell 2. Sensorkonfigurationen är en modifierad variant av konfigurationen som den tyska forskningsanstalten Fraunhofer Institute tagit fram till sin mobila robot IPAMAR [48]. Sensorerna avläses i ordningen 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 0, 1 osv.

Jag gjorde ett flertal tester för att ta reda på om det räcker med 8 sensorer för att detektera avstånd till olika objekt i olika situationer eller om det behövdes en utökning av antalet sensorer.



Figur 13. Walkys sensorkonfiguration, koordinatsystemets origo är placerat i åkvagnens rotationscentrum.

sensor nr	0	1	2	3	4	5	6	7
x-koordinat/mm	125	227	260	275	275	260	270	125
y-koordinat/mm	250	300	200	100	-100	-200	-300	-250
rotation/grader	90	30	15	0	0	-15	-30	-90

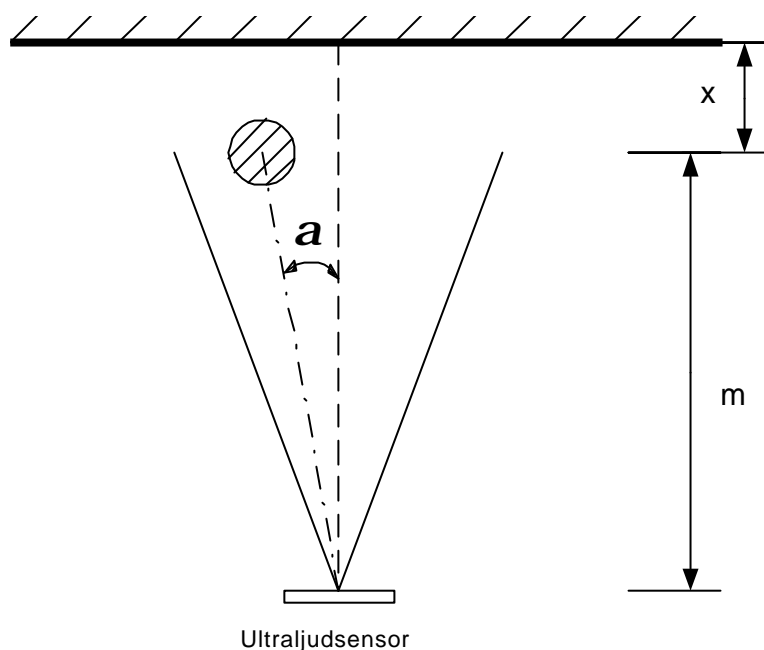
Tabell 2. I tabellen visas sensorernas x- och y-koordinat samt rotation.

I den första testupställningen detekterades ett stolsben. Resultaten visade att sensor 3 störde sensor 4. Därför ändrades sensorernas avläsningsordning till 3, 1, 2, 0, 4, 5, 6, 7, 3, 1 osv. Övriga sensorer störde inte varandra.

Tester av bords- och stolben med olika geometriska dimensioner (olika standardutförande) utfördes och visade att detekteringen är oberoende av mätavstånd ( $m$ ), se figur 14, men

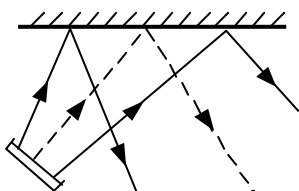
om benet är utanför en spridningsvinkel på 23 grader ( $2\alpha$ , enligt figur 14) kan det oftast inte detekteras. Detta medförde att spridningskonerna framför sensorerna måste minskas, och att den första sensorkonfigurationen revideras, så att det inte uppstod några viktiga områden där sensorerna inte kunde se ett eventuellt hinder.

Jag testade också vad sensorn ger utslag på, stolsben eller bakgrund, då mätavståndet ( $m$ ) varierar. Resultatet visade att avståndet  $m$  inte påverkar mätresultatet. Oberoende av värdet på avståndet  $x$  samt olika val av stolben, stolbens material och olika val av material på bakgrundsytan, var det en klar avläsbar skillnad mellan ben och bakgrund.



Figur 14. Detekteringstest av stol- och bordsben.

Jag undersökte också hur stor vinkeln mot en vägg kan vara, innan väggen blir osynlig för sensorn, se figur 15. Tester på några olika material ger olika största möjliga vinklar.



Figur 15. Detektering av en osynlig vägg.

material	vinkel
plywood	20
tyg, tapet	33
lackerad bok	25
plexiglas	15

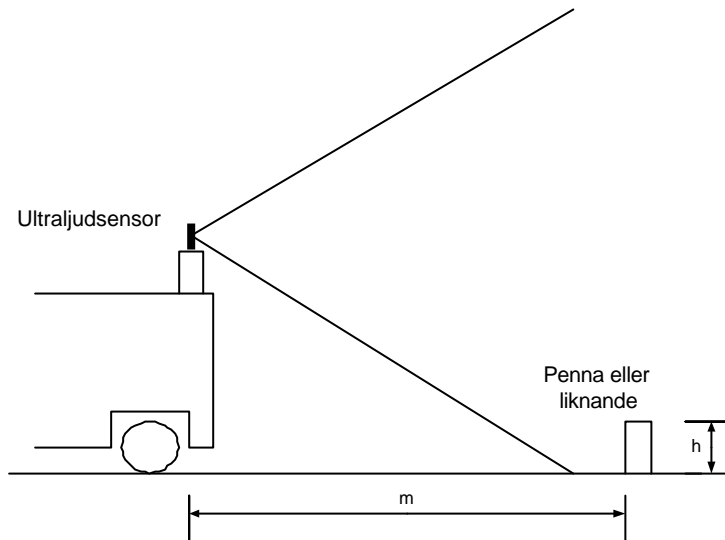
Tabell 3. Tabellen anger maximal detekterbar vinkel för olika väggmaterial.

Kan sensorerna detektera en penna på golvet eller kanske en tröskel? Om ja, på vilket mätavstånd ( $m$ ), se figur 16? Hur högt,  $h$ ,



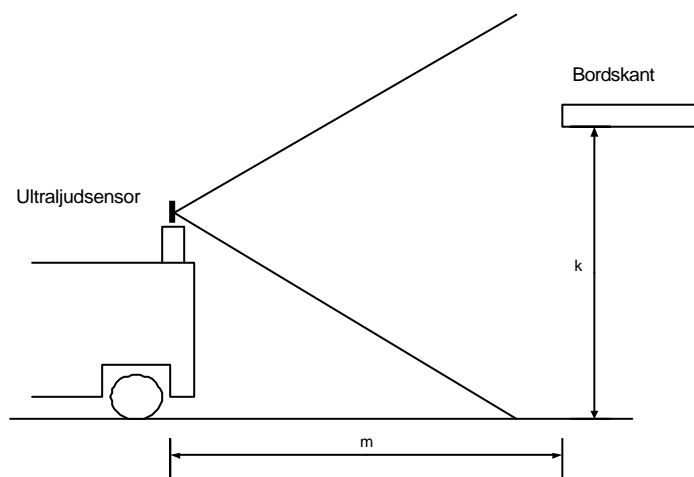
måste det lilla föremålet vara för att det skall upptäckas? Resultaten av denna test är viktiga, då åkvagnen inte kan köra över föremål högre än 7 mm. En väl förankrad sladd i golvet kan åkvagnen köra över men en penna kan kila fast sig under något av hjulen.

Resultatet blev att det minsta föremål som upptäcks är 45 mm högt då det befinner sig 180 cm framför åkvagnen.



Figur 16. Test av detektering av hinderplacerade på golvet.

Slutsatsen av experimentet blev att om små föremål skall detekteras på golvet, behövs minst en sensor som riktas snett ned mot golvet.

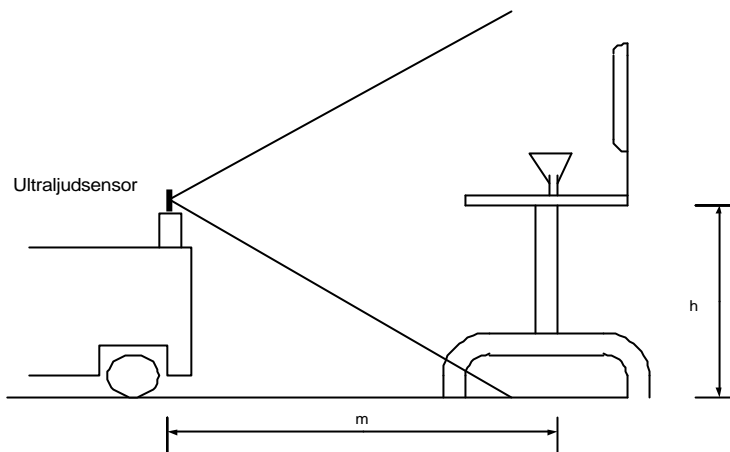


Figur 17. Detekteringstest av en bordskant.

Jag testade om ultraljudsensorn kunde upptäcka en bordskant, och om svaret blev ja, på vilket mätavstånd ( $m$ ). Bordshöjden valdes till 73 cm.

Resultaten blev att om bordskivans tjocklek är 25 mm, kan den inte observeras med befintlig sensorkonfiguration, men om

tjockleken på en bordsskivan plus underliggande stag är 50 mm, kan denna detekteras på 170 cm avstånd.



Figur 18. Detekteringstest av en skrivbordstol.

Var på skrivbordsstolen kommer vågorna från ultraljudsensorn att reflekteras, då stolsitsens höjd  $h$  kan varieras mellan 43-48 cm beroende på användare. Resultatet blev att det är stolsitsen som detekteras och att det uppmätta avståndet är korrekt.

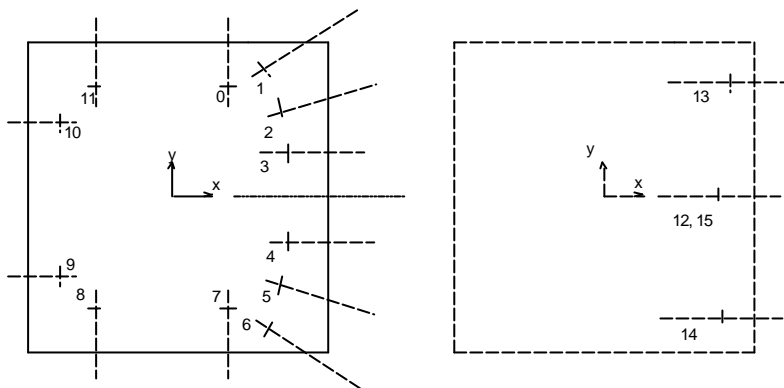
Fulla och halvfulla bokhyllor kan detekteras, men tomma bokhyllor eller hyllor med ett fåtal böcker i kan bara detekteras i vissa fall - vilka beror på detekteringsvinkeln.

Mätning av långa avstånd: det registrerades inga problem vid mätning i riktigt stora rum. Problem uppstod vid mätning i korridorer. Reflektioner från dörrkarmar gav ibland falska detekteringar.

### Version 2: Ett utbyggt sensorsystem

Det utbyggda sensorsystemet kompletteras med en sensor på var kortsida, sensor 8 och 11 i figur 19, för att ge Walky bättre möjligheter att följa en vägg. Två sensorer placeras på baksidan, så att hinder kan detekteras då Walky backar. Problemet med att detektera en bordsskiva löses genom en sensor, sensor 15 i figur 19 och bild 13, 73 cm över golvet. Sensorsystemet kan också detektera hinder på golvet större än 3 mm. Sensor 12, 14 och 15, se figur 19 och bild 13, vinklas ner mot golvet, så att centrumlinjen för sensorn riktas 80 cm framför Walky.

Inverkan av förändringar i omgivningens temperatur och luftfuktighet kompenseras genom en kalibreringssensor placerad på Walky med ett fixt detekteringsavstånd.



Figur 19. Det utbyggda sensorsystemet.

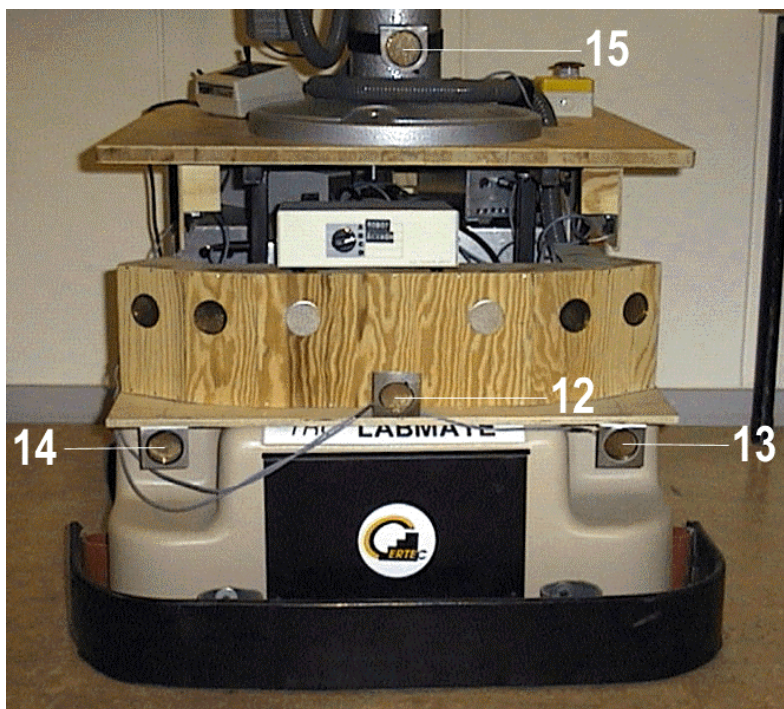
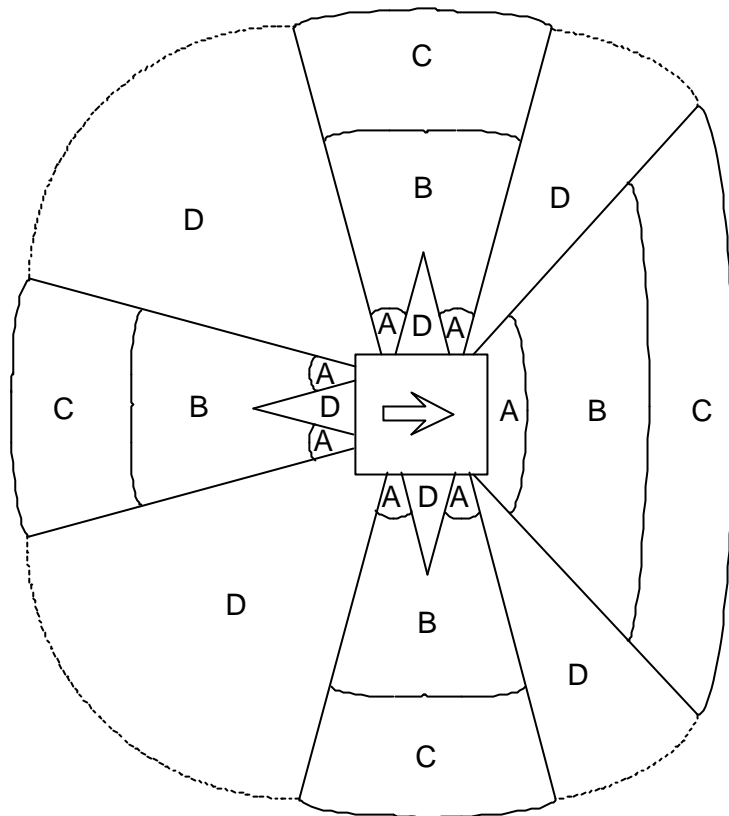


Bild 13. Walkys framsida med det utbyggda sensorsystemet.

### Säkerhetszoner

Med hjälp av sensorsystemet har jag byggt upp olika säkerhetszoner där ett eventuellt hinder har detekterats. Jag använder 23 grader som sensorernas maximala detekteringsvinkel. De olika zonerna är

1. 210 cm, ingenting händer - negligeringszon
2. 130-210 cm, Walkys hastighet minskar till 70% av normal hastighet - hinderdetekteringszon
3. 40-130 cm, Walkys hastighet minskar till 50% av normal hastighet och hinderundvikningsalgoritmerna startar - hinderundvikningszon
4. < 40 cm, Walky stoppar omedelbart - säkerhetszon



Figur 20. Detekteringszoner,  
 A=säkerhetszon, B=hinderundvikningszon,  
 C=hinderdetekteringszon och D=blindzon.

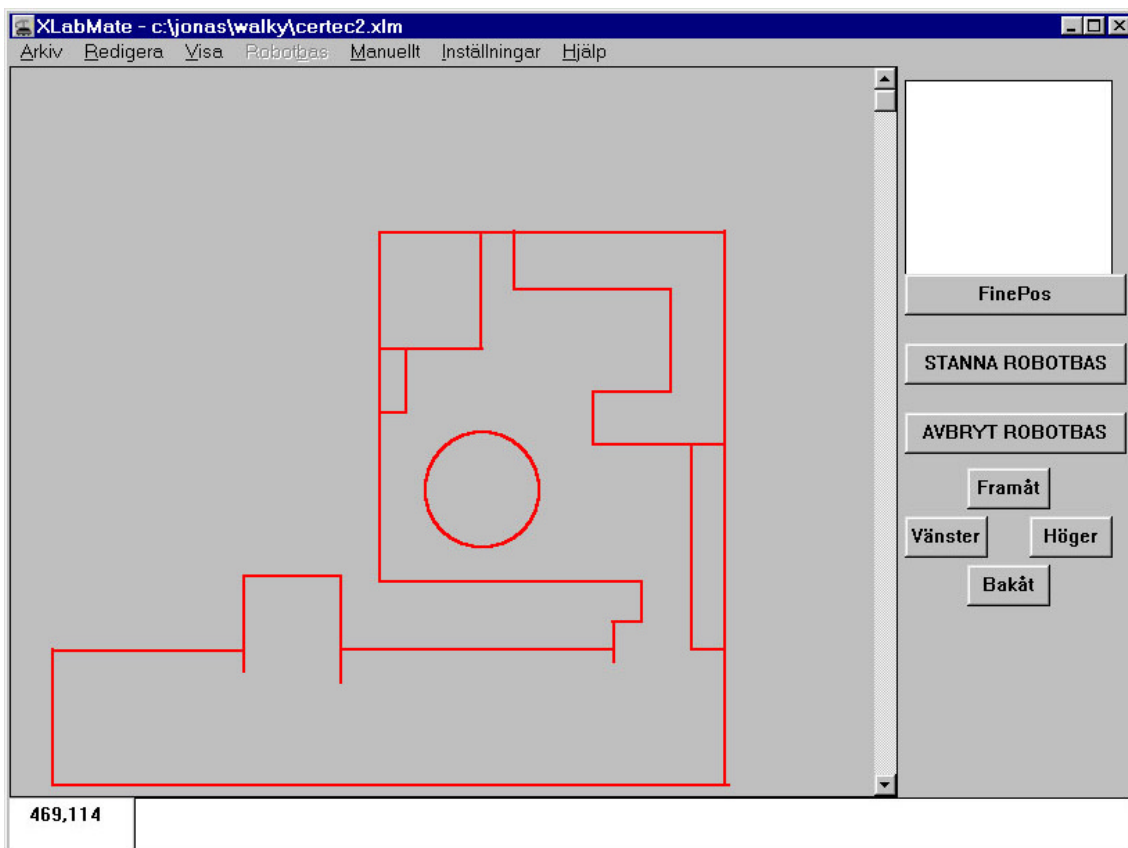
Av figur 20 framgår det att sensorsystemet inte har möjlighet att detektera föremål som dyker upp i zon D. Om sensorerna av någon anledning inte detekterat ett eventuellt hinder känner Walkys taktila stötfångare av hindret, och Walky stoppas omedelbart.

## 5.3 Brukarens styrning av Walky

På brukarens dator finns en karta skapad i AutoCad transformerad till Windowsmiljö, så att brukaren lätt kan styra Walky och via kartan på datorn se var Walky befinner sig.

### Automatiskt navigering

I ett examensarbete [49] utvecklades ett datorprogram som automatiskt beräknade vägen från startpunkten till målet. Förutsättningen var att startpositionen måste vara känd. Detta program använde en objektorienterad karta utan någon information från externa sensorer. För brukaren innebar det endast att han behövde peka vart på kartan som Walky skulle köra. Jag utökade programmet så att Walky med hjälp av sensorinformation kunde bestämma sin startposition.



Figur 21. Användargränssnittet på Walkys styrprogram.

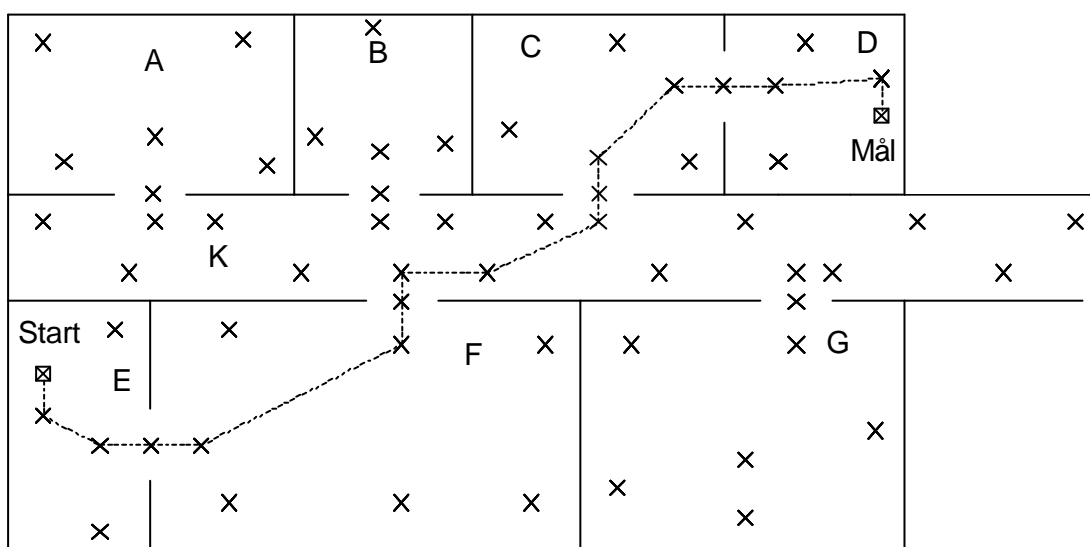
Den senare styrmöjligheten demonstrerades för Christer Evaldsson, se kapitel 2. Demonstrationen innebar att Walky skulle köra cirka 6 m rakt fram igenom en dörröppning och sedan svänga 90 grader. Datorprogrammet beräknade en mängd delvägar, några av dessa delvägar valdes ut av en sökalgoritm som sedan adderas och körvägen skapades. Den här beräkningen tog cirka 100 sekunder. Christer och jag var överens om att det tog alldeles för lång tid. Christer nämnde att man ju inte vet om roboten hade uppfattat kommandot. Han sa också att när Walky svängde ut genom dörröppningen och försvann om hörnet litade han inte på vad roboten gjorde.

För att minimera väntetiden för brukaren konstruerade jag en ny navigeringsmetod som innebär att i varje rum, som finns på brukarens karta, fördefinieras ett antal punkter, s k delmål, se tabell 4.

rum	antal delmål
> 7 m <sup>2</sup>	2
7 - 12 m <sup>2</sup>	3
12 - 20 m <sup>2</sup>	4
< 20 m <sup>2</sup>	4 + 1 för varje extra 10 m <sup>2</sup>
Korridor max 1,5 bred	1 var 3:e löpmeter
Korridor bredare än 1,5 m	2 var 3:e löpmeter

Tabell 4. Tabellen visar antal definierade delmål i olika rumsstorlekar.

För att effektivisera Walkys framfart behöver kartan kompletteras med fler fördefinierade delmål än de i tabellen ovan angivna. Mitt i samtliga dörröppningar sätts ett delmål och 0,5 m - 1,5 m på båda sidor om detta sätts ett delmål. Detta medför att Walky kan passera en dörröppning på ett både snabbt och säkert sätt. Vid varje tänkt arbetsplats för Walky, t.ex. hämta och lämna provrör eller videokassetter, sätts ett delmål.

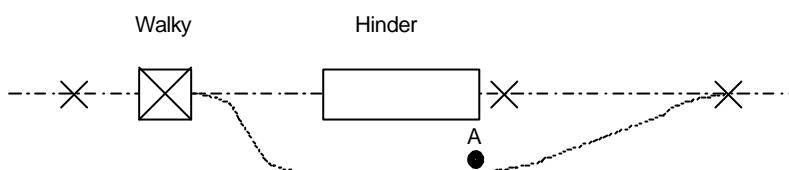


Figur 22. Walkys väg från startpunkten till målet.

När alla delmålen är manuellt utmärkta beräknas vägen med en sökalgoritm mellan alla olika kombinationer av delmål. Dessa olika vägalternativen lagras i en databas. När brukaren markerar Walkys startpunkt, beräknas delvägen/delvägarna från startpunkten till närmaste delmål på samma sätt som det ursprungliga beräkningssättet. En likadan beräkning görs mellan målet och det delmål som ligger närmast målet. Beräkningstiden för dessa beräkningar tar högst någon sekund, därefter kan Walky köra mot målet.

## Väjningsalgoritmer

Vad händer om det dyker upp ett hinder framför Walky? Jag har skrivit algoritmer för undvikning av hinder, som går ut på att delmålen används. När Walky väjt för ett hinder och hindret har passerats (punkt A i figur 23), försöker Walky köra mot nästa delmål. Om delmålet är för nära eller har passerats, dvs. Walky måste svänga med en stor vinkel mot delmålet, kör Walky mot nästa delmål. Walky har ett internt koordinatsystem och kartan ett globalt koordinatsystem. När dessa två koordinatsystem jämförs, kan Walkys position och riktning bestämmas.



Figur 23. Walkys väg runt ett hinder. Den förberäknade vägen är markerad med punktstreckad linje och vägen runt hindret, beräknat av kollisionsundvikningsalgoritmen, är markerad med den punkt markerade linjen. Delmålen är markerade med ett kryss.

## Manuell styrning

Brukaren kan själv välja om han önskar helt manuell styrning av Walky. Detta görs genom att brukaren själv markerar delmål och mål eller motsvarande med till exempel musklickningar på kartan vilken väg Walky skall köra.

## Halvautomatisk styrning

Fungerar som den manuella styrningen men med väjningsalgoritmen inkopplad.

Oberoende av vilken typ av styrning som används ser brukaren på sin bildskärm var Walky befinner sig: Walky sänder ut sin position till styrdatorn, och symbolen för Walky flyttar sig på skärmen.

## 5.4 Intervjuer med rörelsehindrade personer på Teneriffa i mars 1998

*A, B, C, D* och *E* är de intervjuade rörelsehindrade personerna och *IP* är personen som utförde intervjuerna.

Tror du att Walky kan vara ett framtida handikapphjälpmedel? Om ja: För vem? Om nej: Varför inte?

### 1. Övergripande om vad du TROR

*A*: JA. För mig. Till allt! Inte precis Walky, kanske, men jag vill ha två sorters robotar:

- a) En som gränssnittsanpassar mig. Som en rustning kring benen, kanske, så att jag kan gå. En trappgående stol/robot.
- b) En som gör enklare ärenden. Tar upp smäsaker från golvet. Kan hantera kontakter, sätta på och stänga av. Öppnar hissdörren.

*B*: Absolut!!! Ett utmärkt alternativ till t.ex. de dresserade aporna i USA och de dresserade ledarhundarna för rörelsehindrade i Sverige. Jag hör till de teknikglada pionjärerna. Köpte en Apple redan 1979. Teknik är bra för den som vill behålla sin personliga integritet – just för att tekniken är opersonlig.

*C*: Javisst. För mig i köket! (*D*: "Ja, du är en riktig Walky-typ, C!")

*D*: Skulle den kunna lyfta upp min elgitarr till mig? Det är sådant jag skulle vilja ha den till.

*E*: Ja, på ett eller annat sätt. För speciella uppgifter. Till brevlådan. I affärer. På arbetsplatser inomhus. Jag tror egentligen att svårigheten är om omgivningen accepterar den eller ej.

### 2. Personligt oberoende:

Vilka av en personlig assistents arbetsuppgifter skulle du eventuellt vilja ha en robot till i stället?

*A*: Egentligen alla, men först och främst till de där enklare ärenden. Men roboten får inte vara för klumpig. Åtminstone inte hemma.

*B*: Helst alla. Jag tycker det är förnedrande om andra t.ex. skall lyfta mig. Även om min son gör det. Det var tvunget nyss när jag hade brutit armen.

*C*: Gärna alla. Vi är inte så bra på det där att ens tänka oss in i att hantera personliga assistenter som våra redskap. Det är säkert mycket lättare med tekniken – den skall ju vara opersonlig.

*D*: Måste man välja? Jag kan tänka mig att det vore bra att kunna variera. Somliga dagar kanske jag överhuvudtaget inte vill



prata med någon alls – då vore det bra med teknik. Andra dagar kanske jag skulle vilja ha en människa där.

*E:* En del kring skrivbordet. Mata mig. Öppna kylskåpet och ta fram dricka. Borsta tänderna. Jag skulle vilja kunna gå och lägga mig själv – men DET kan väl inte Walky hjälpa till med?

*A:* Javisst! Och så klart att jag vet att tekniken inte är pålitlig (jfr. t.ex. hissarna här!). Men det är inte människor heller.

*B:* Ja, för mig finns inget alternativ (jag vill till varje pris vara oberoende.

*C:* JA

*D:* Ja, det tror jag. Vi behöver som du märker personlig assistans i allra högsta grad, men vi har ännu så länge inte ens fått det. De säger att så länge jag kan äta själv, alltså föra skeden till munnen, är det hemtjänst som gäller.

*E:* Njaej? Nej, jag tror att jag accepterat att jag är mycket beroende ur en del avseenden. Kanske handlar det om att det är min fru och bara hon som är personlig assistent till mig, och att vi inrättat hela vårt liv efter detta. Men visst finns det delar som jag ville klara på annat sätt, t.ex. detta att jag skulle vilja kunna gå och lägga mig ibland när hon inte är hemma.

*A:* Alla. Om jag skall säga när det är viktigast, så är det faktiskt inte den personliga integriteten (vid toalettbesök, etc.) utan detta att slippa det störande momentet att någon kommer in i vårt liv. T.ex. vill inte min fru att någon kommer hem till oss på senkvällen för att hjälpa till att lägga mig - då gör hon det mycket hellre själv. Men det skapar ett beroende mellan oss som inte är bra: om hon vill gå och lägga sig tidigare, skulle jag vilja kunna komma i säng själv. Utan, alltså, att en annan människa kommer in i vårt hem. Robothjälp eller motsvarande vore jättebra.

*B:* Alla

*C:* Alla

*D:* Alla. Kanske speciellt det där med toaletter och personlig hygien. Det är hemskt att de är så många, och att de gör så olika. Somliga torkar så hårt. Jag har svårt att säga ifrån utan biter ihop om smärtan.

*IP:* "Men mat då? Det verkar ju som om du räknar med det att du snart inte längre kan äta själv."

Här utbröt ett animerat samtal.

*IP* menade att hon inte kan tänka sig något värre än att bli matad av en människa som man tycker illa om. Toalettbesök är mer ett och det samma varje gång, dessutom redan liksom utfört, men munnen är mycket mer privat. Att gapa mot någon man inte tycker om och att svälja det som han eller hon stoppar i en: Brrr.

Kan detta ÖKA ditt personliga oberoende?

I vilka situationer skulle du helst vilja slippa en personlig assistent?

*D funderade vidare: Ja, kanske. Tänk om de stoppar in skeden häftigt? Och tänk om de snusar och blåser på maten som är för varm! Ja, kanske skulle jag vilja bli matad av en robot. Fast helst vill jag nog ha omväxling.*

*E: Slippa min fru? Nej, jag kan inte komma på något sådant.*

### **3. Arbete**

Vilka typer av yrkesarbete tror du att du skulle kunna arbeta med om du får hjälp av en mobil robot?

*A: Vilka som helst - men inte arbetsuppgifter där jag har direkt med människor att göra. Alltså inte polis men gärna lagerarbetare.*

*B: Jag fick min polio när jag var 5 månader, så jag har egentligen inte haft några alternativ till att arbeta med administration. Jag har arbetat mycket inom handikappidrott – med administrativt arbete men ändå med ett levande innehåll. Jag har kunnat gå till för 6 år sedan. Jag tror att jag egentligen är intresserad av administrativa göromål, så kanske skulle jag velat ha en Walky på ett kontor om det behövts. Jag gillar matematik och statistik - har också läst detta på universitet.*

*Fast det förstås: jag har alltid velat bli skådespelerska. Man kunde kanske ha nytta av Walky på scenen? Å nej. Men om jag som tidigare modifierar mina önskningar till att åtminstone kunna spela radioteater, så kunde Walky kanske göra någon nytta där?*

*C: Jag vill arbeta på ett ålderdomshem. Vara den som människorna kommer till, jag vill hjälpa till, trösta, finnas till hands. Jag är bra på det. Så klart att jag skulle kunna ha nytta av en Walky där, till att göra sådant som jag inte kan göra rent rörelsemässigt.*

*D: Jag vill ha hjälp med allt i en ljudstudio och runt omkring. Sätta i sladdar, plocka upp från golvet, lyfta gitarren, hämta papper,..*

*E: Jag har ett bra jobb, dvs. jag är egenföretagare. Jag har inte varit i närheten av en arbetsplats sedan olyckan och tror egentligen inte att jag vill heller. Vi har ett rikt liv. Jag håller på med aktier – det började jag med ganska så med det samma efter olyckan. Läste företagsekonomi. Hyrde ut husvagnar – och skötte allt kring det: reklam, bokföring, etc. Vi har rest mycket. Här ger jag ut en tidning, "På Teneriffa". Vi bor på Teneriffa 8-9 månader per år. Jag arbetar mycket vid datorn och manövrerar den med en pinne. Nacken börjar ta lite stryk. Jag håller på att testa röst-till-text-program, och de börjar ju bli riktigt bra! Snart använder jag nog det i stället. – En robot i mitt arbete? Jag vet inte. Det skulle då vara för lite hjälp kring skrivbordet.*

#### 4. Styrning

*A:* Gärna röst och joystick - jag vill kunna byta emellan dessa.

*B:* Joystick. Jag vill kunna använda min känsel. Och styra med hjälp av mina egna rörelser.

*C:* Joystick

*D:* Joystick

*E:* Röst

Hur skulle du helst vilja styra roboten? Röst, ögonstyrning, joy-stick, sug-och blås, annat?

#### 5. Rullstolsmonterad robot kontra en självgående, typ

##### Walky

*A:* Egentligen gärna en Walky - men även dess efterföljare blir väl för klumpiga att ta med sig. Och eftersom jag vill vara mobil, kan då en rullstolsmonterad robot vara att föredra.

*B:* Skulle föredra en Manusarm så att jag hade kontrollen hos mig.

*C:* Walky. Det är helt OK för mig om den rör sig fritt och bakom ett hörn så att jag inte kan se den: jag skulle lita på den! Vi har ju t.ex. en sådan gräsklippare som sköter sig själv.

*D:* På rullstolen. Jag vill ha koll. T.ex. när jag skall ladda batterierna till rullstolen, vill jag själv kontrollera att indikatorlampan för laddning faktiskt lyser.

*E:* Walky. Jag vill inte ha någon sorts förlängning av min kropp i min närhet och absolut inte framstå som ett monster själv. Jag skulle ju kunna se ut som ett tillbehör till roboten om jag satt där med en Manusarm.

Vilken tror du att du skulle ha störst nytta av?

Varför?

Skulle du t o m vilja ha bådadera?

Hur skulle de i så fall

komplettera varandra?

# 6 Diskussion

Har en Walky-liknande produkt en framtid som ett tekniskt hjälpmedel för rörelsehindrade människor?

Jag delade upp ovanstående fråga i tre delfrågor:

1. Vill brukarna ha en personrobot som ett tekniskt hjälpmedel?
2. Kan teknikkonceptet Walky förbättras?
3. Är det samhällsekonomiskt lönsamt att göra en investering i en personrobot så att en rörelsehindrad människa kan utföra ett arbete?

**Vill brukarna ha en personrobot som ett tekniskt hjälpmedel?**

Av brukarintervjuerna framgick det att samtliga intervjuade brukare i framtiden önskade sig handräckningshjälp av någon typ av personrobot, dock med olika typer av handräckningsuppgifter. Man har olika preferenser vad gäller mobil eller rullstolsbunden personrobot.

**Kan teknikkonceptet Walky förbättras?**

Ja, men det krävs en stor arbetsinsats. I mitt Walky-koncept utgick jag från att alla ingående delar var standardprodukter. Det krävs även vid byggandet av en Walky II – annars stiger kostnaderna till orimliga höjder. Att konstruera och bygga en robotarm eller robotbas är båda mångmiljonprojekt. Som robotbas anser jag det lämpligt att använda underredet till någon av Permobil's större rullstolar. I dagsläget föreslår jag att en robotarm från det kanadensiska företaget CRS väljs, men om något är tror jag att den robotarm som utvecklas på avdelningen för robotteknik vid Lunds tekniska högskola är den som skall väljas.

Walky II måste designas så att den passar att arbeta tillsammans med människor. Tekniken inne i de befintliga produkterna måste förses med ett nytt skal. Walkys sensorsystem bör kompletteras med någon eller några roterande sensorer. Dessutom bör navigeringsfyrar ingå i det nya konceptet.

## Är det samhällsekonomiskt lönsamt att göra en investering i en personrobot så att en rörelsehindrad människa kan utföra ett arbete?

Som inkomster räknas värdet av brukarens utträttade arbete, som beräknas vara halvtid alternativt kvartstid baserat på en månadslön av 16 000 kr/mån vid fulltidstjänstgöring. Under tiden den rörelsehindrade personen arbetar och har tillgång till roboten antas han inte vara i behov av en personlig assistent. Därför räknas assistentens arbetsinsats som en inkomst (egentligen: minskad utgift). Kommunernas utgifter för den personlige assistentens lön är cirka 165 kr/h. Jag räknar med en besparing i tid motsvarande arbetstiden för den rörelsehindrade personen, dvs. 4 alternativt 2 timmars arbetsdag, 5 dagar i veckan under 40 veckor per år.

Jag har i det ovanstående bortsett från det intra-samhälliga: vem som står för vilken utgift i sammanhanget - stat, landsting, kommun eller rentav arbetsgivaren. Det känns alltför futtigt i sammanhanget. Jag har också avstått från att diskutera det värde för den enskilde som ligger i att kunna presteras ett arbete. Det värdet går inte att räkna i pengar. Det handlar istället om något ovärderligt i självkänsla och delaktighet. Det är detta ovärderliga som varit den immateriella drivkraften bakom det i föreliggande licentiatupsats redovisade arbetet.

Några några beräkningar med utgångspunkt från Manus-armen.

Utgifter:

Investeringskostnad = 250 000 kr

Driftskostnader = 25 000 kr/år

Installations- och

träningskostnader = 25 000 kr

Inkomster om den rörelsehindrade arbetar 4 h/arbetsdag:

Värdet av brukarens arbetsinsats = 137 000 kr/år

Besparing av assistens lön

= 132 000 kr/år

Inkomsterna ovan halveras vid en arbetsdag bestående av 2h.

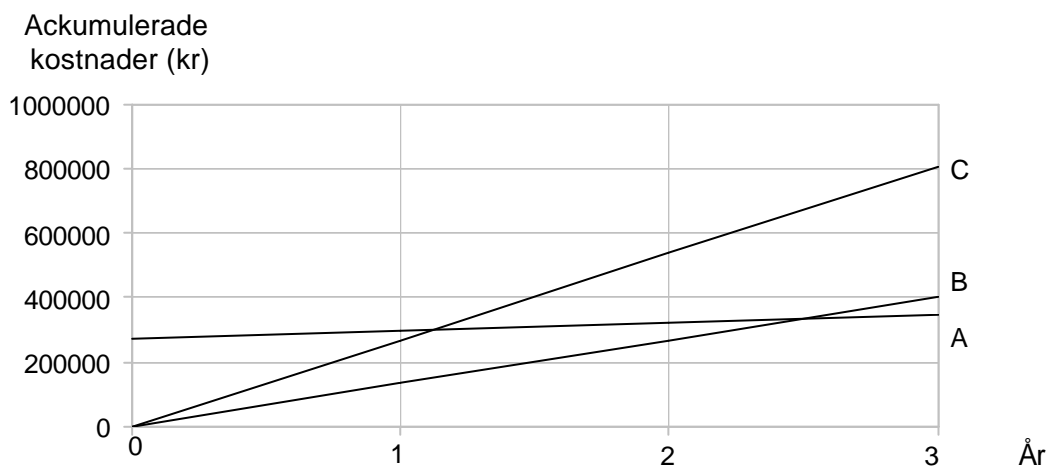


Diagram 2. Ur diagrammet kan man utläsa vilken tid det tar innan en investering av en Manus-arm lönar sig. Linje A beskriver investerings- och driftskostnaderna för en Manus-arm, linje B respektive C inkomsterna/ minskade utgifterna om den rörelsehindrade människan arbetar 2 respektive 4 timmar per arbetsdag. Investeringen är betald efter drygt 1 år respektive 2,5 år.

# 7 Publicerade rapporter och konferensföredrag

De rapporter och konferensföredrag mm, som min licentiatuppsats baseras på, ingår längst bak i uppsatsen i urval och i en lätt redigerad form. Redigeringen handlar dels om en viss språklig överarbetning, dels om att förskona läsaren från att se vissa avsnitt flera gånger. (Det har självfallet varit så att i alla de sammanhang, där jag presenterat olika Walky-resultat, har det funnits ett behov att upprepa en och samma bakgrundsteckning.)

## *Artikel:*

Gunnar Bolmsjö, Håkan Neveryd, Håkan Efrting, *Robotics in Rehabilitation*, IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, vol 3, no 1, pp 77-83, March 1995.

## *Konferensbidrag:*

Håkan Neveryd, Gunnar Bolmsjö, *Mobile Robot System for the Disabled*, Proceedings of the 2nd European Conference on the Advancement of Rehabilitation Technology (ECART 2), pp 24.1, Stockholm, Sweden, May 1993.

Håkan Neveryd, Gunnar Bolmsjö, *Walky, a mobile robot system for the disabled*, Proceedings of the Fourth International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 4), pp 137-141, Wilmington, Delaware, USA, June 1994.

Håkan Neveryd, Gunnar Bolmsjö, *The ultrasonic navigating robot, Walky*, Proceedings of the 4th International Conference on Computers for Handicapped Persons (ICCHP 4), pp 129-135, Vienna, Austria, September 1994.

Håkan Neveryd, Gunnar Bolmsjö, *Walky, an ultrasonic navigating mobile robot for the disabled*, Proceedings of the 2nd TIDE Congress, pp 366-370, Paris, France, April 1995.

Håkan Neveryd, Gunnar Bolmsjö, *Path planning methods for the ultrasonic navigating mobile robot Walky*, Proceedings of the 3rd European Conference on the Advancement of Rehabilitation Technology (ECART 3), pp 185-187, Lisbon, Portugal, October 1995.

Dessa bidrag finns hopredigerade under rubriken "Walky, a summary of five conference papers".

# Robotics in Rehabilitation

Gunnar Bolmsjö, Håkan Neveryd and Håkan Efring

IEEE Transactions on  
Rehabilitation Engineering,  
vol 3, no 1, pp 77-83, March  
1995

*Abstract* - Robotics in rehabilitation provides considerable opportunities for improving the quality of life of physically disabled people. However, practical results have been limited, mainly because it is necessary to develop different robotics concepts for people working in different fields. This paper explores some of the developments needed and presents two projects currently underway at Lund University. The first concerns end-effector design for a robotic workstation for office-based tasks, while the second relates to a mobile robotic system for use by disabled people in medical and chemical laboratories. Both projects show promising results. There is also a need for further research into developing new robotic systems for use in rehabilitation with new mechanical features, as well as programming and control suitable for every user.

## 1 Introduction

REHABILITATION is an activity which aims to enable a disabled person to reach an optimum level of mental, physical, and/or social functioning. Thus, rehabilitation robotics deals with advancing robotics technology to provide physically disabled people with tools to improve their quality of life and work productivity [1].

Examples of applications include vocational tasks, such as manipulative operations in a structured environment (paper handling in office-based work, test procedures in laboratory-based work, etc.) and daily living activities in structured and unstructured environments, such as game playing, educational tasks, eating, and personal hygiene [2]. This implies the use of robots in a way that is quite different from industrial applications where robots normally operate in a structured environment with predefined tasks, independently of human operators. Furthermore, industrial robots are operated by specially trained workers who have a certain amount of interest in the technology. This may not be the case in rehabilitation robotics. Thus, rehabilitation robotics have more in common with service robotics which integrate humans and robots in the same task, requiring certain safety measures and special attention to human-machine interfaces for people with little interest in programming or people with physical problems operating a specific programming device. Therefore, more attention must be paid to the user's requirements, since the

user is a part of the process in the execution of various tasks. Although there is a need for a home-based service robot for general-purpose use, we have selected two application areas which relate mainly to structured environments, such as those normally found in vocational workplaces. This enables us to concentrate on functionalities defined or evaluated by users rather than novel robotics research, which may be difficult to develop to a stage necessary for practical evaluation by disabled users within a limited time frame.

However, there is a need for research and development in robotics to focus on developing more flexible systems for use in unstructured environments. Important areas of rehabilitation robotics needing further development in this regard include:

1. Mechanical design, including mobility and end-effectors.
2. Programming, control, and human- machine interfaces.

These areas will be described in more detail below.

## **2 Mechanical Design**

Robotics for use by the disabled is an application area where, from a home-based perspective, robots integrate robots and humans both in a common work-space and in the execution of the same work task. Therefore, the mechanical design of robots for rehabilitation must take into consideration specifications which are different from those used in industrial applications and which may affect design aspects of the mechanical structure. Examples of differences are:

- payload of the robot will be in the low range (typically less than 5 kg);
- the payload/weight ratio must be much higher than in existing robots, giving priority to movability and quick set-up;
- lower accuracy is allowable if the resolution in the motion control is the same as in existing industrial robots;
- a larger work-space and a more flexible configuration will be needed compared to industrial robots of the same size;
- life cycle will be shorter for assisting robots than industrial robots;
- acceleration and velocity performance may, in general, be much lower than in heavy-duty robots; and
- design criteria must enable high volume production at a low cost.

Nevertheless, most robots used in rehabilitation today have similarities with industrial robots, such as the RT-series robots and SCORBOT, which were developed for educational purposes. An



example of an adaptation of a robot for rehabilitation purposes is HANDY1, which is used to assist in eating [3], and DeVar, which uses a PUMA robot for assisting the disabled in home-based or vocational workplaces [4]. However, new designs are on the way that will include the use of compact and flexible arms, as well as new drives/actuators. Examples of this include the wheelchair-based Manus robot [5], the Tou soft (flexible) assistant arm [6], the pneumatically driven Inventaid arm [7], [8], and the compliant actuator Digit Muscle [9]. Wheelchair-mounted manipulators are becoming more interesting not only because of the manipulator itself but also because of enhancements to wheelchair control, providing it with sensors and control systems like other mobile robotic bases [10]. The development of flexible arm/link systems will also have a great impact on gripper systems, which need a high degree of flexibility in terms of maneuverability and dexterity. Despite these developments, much work is needed in the area of mechanical design, specifically the introduction of composite materials in the arm structure with inbuilt strain gauges which may be used as flexible links with feedback of the deflection and redundant kinematics for optimal reachability.

### **3 Programming, Control and MMI**

A basic goal in rehabilitation robotics is to design a robot to carry out unique tasks. This is in contrast to most industrial uses of robots, where robots are used in pre-programmed repetitive tasks. Another difficulty is that robots for rehabilitation may be used by "anyone", unlike industrial robots, which are operated by skilled workers who, in most cases, have an interest in robotics technology. Thus, many tasks in rehabilitation robotics can be said to be unique in the sense that a movement required for a certain task, e. g. picking up a newspaper or opening a door, cannot be pre-programmed. This indicates that there is a need for manual or direct control of the robot in the way of a telemanipulator. Also needed are an increased use of sensors to guide the robot and enhance its performance in autonomous tasks as well as interface devices to program and control the robot arm. It should also be noted that direct control of the robot arm puts a high cognitive load on the user and that physically disabled persons may have difficulty operating joysticks or push-buttons in delicate movements. Thus, there is an obvious need for a certain degree of autonomy of the robotic system, such as automatic grasping, which includes recognition of a specified object in front of a sensor. A positive factor in this context is that there is a human operator working with and supervising the robot. Therefore, if a task fails to a limited extent, the user will be able to correct the situation.

To a high degree, programming and manual control of the robot corresponds to MMI (Man Machine Interface) which, for disabled people, not only puts certain demands on programming languages, but also on input devices by which the user can interact with the system. Generally speaking, robot systems should be developed to allow any input device to connect to the standard set of devices, such as keyboard emulation, mouse emulation, and serial communication through RS-232/422 interface. Since more severely disabled people need individual adaptation, this type of work is normally done at rehabilitation centers. However, in the RAID project described in this paper, the joystick used to control the electrical wheelchair is interfaced with the control language of the robot and the mouse control function of the PC. This is a good solution for most users, as it enables them to control their wheelchair with the same control device.

Taking into account both the need for an interactive programming method, as well as different interfacing devices depending on the individual disability, several attempts have been made to provide programming and control methods which resemble the interactive use of modern graphical software for personal computers. As an example, most robot languages for industrial robots are robot-oriented in that they are specially adapted to a specific robot and that all operations are carried out on the robot itself, e.g., motion types, poses, I/O. If the task is repetitive, it does not matter very much whether the robot program is defined through poses or frames which are related to the robot or attached to objects in the environment. However, if the task is frequently redefined by moving objects in the workspace of the robot, such as paper and book handling, page turning, etc., it is preferable to adopt an object-oriented approach. This means that the tasks are defined by manipulating objects and that the robot must adapt its motions and logic to fulfil the program description.

Consequently, much work in the area of rehabilitation robotics is directed toward controllers or control languages, such as MASTER [11], which allows the user to interact in the performance of a task, e.g. directing the robot by manual control, as well as advanced sensory interfacing and object or task level description which frees the user from concentrating on how the robot will operate in executing its tasks. An example of an object-oriented language is CURL [12], which provides a flexible programming environment through direct (manual) control, object manipulation, and selection/definition of procedures. An interesting development in this area is RoboGlyph [13], which uses a set of icons which graphically represent different robot actions on the screen like a storyboard. This is in line with new

developments of the CURL language which, by using drag and drop techniques, make use of the possibilities of graphics. A workstation could, for example, be represented by a bookshelf and a reader board. When the user drags a book (document) from the shelf to the reader board, the system will activate appropriate procedures to execute the task. Another direction in the development of languages with high-level characteristics are event-based controller languages and reactive planners which are based on the state of the system and activate a certain action or procedure [14]-[17].

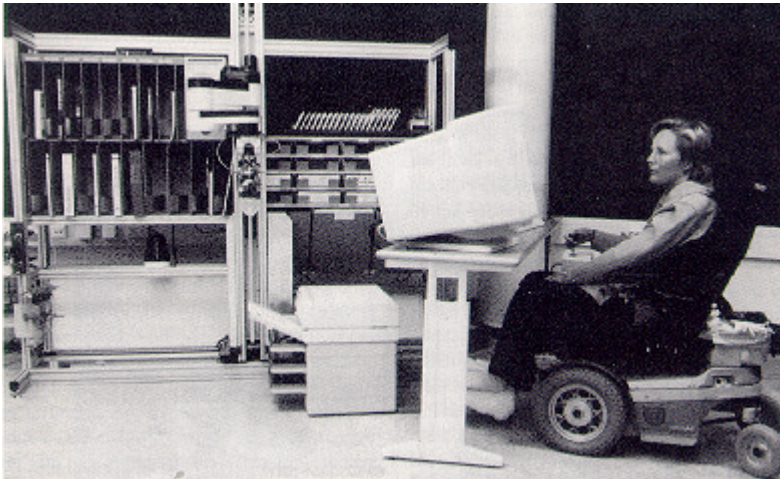


Fig. 1. RAID workstation (prototype) with moving robot, framework with bookshelves, and storage for diskettes, documents and peripherals, such as a printer, etc.

Photo: Helena Alvesalo.

#### **4 The Raid Workstation and End-Effector Design**

The EPI-RAID (Evaluation of Prototype and Improvement to RAID workstation) project is concerned with the development of the RAID (Robot for Assisting the Integration of the Disabled) robotized computerized office workstation, which was developed in an earlier project. The project is part of the European Community TIDE (Technology Initiative for Disabled and Elderly People) program.

The partners in the EPI-RAID project are: Armstrong Projects Ltd, UK, Cambridge University, UK, Oxford Intelligent Machines Ltd., UK, CEA/DTA/UR, France, HADAR, Sweden, and Lund University, Sweden.

The robotized system is intended primarily for vocational use in an office environment (see Fig. 1). The selected application areas include CAD (Computer-Aided Design) and other office computer tasks such as desktop publishing, graphics layout, and

word-processing. These applications involve a large number of handling tasks for the robot and creative work for the user.

During our initial work on the end-effectors, it became evident that they should be designed with the highest degree of flexibility possible in order to minimize tool changing operations. The technical solution is based on two end-effectors, called the "book gripper" and the "page turner".

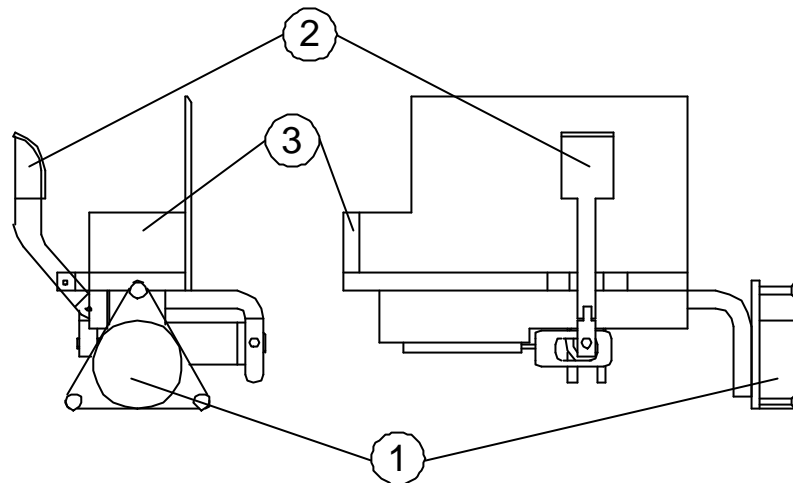


Fig. 2. The book gripper viewed from the top (left) and from the side (right). (1) Tool changer interface, (2) pneumatic "thumb" for book grasping, and (3) book supporting shelf.

### *End-Effector Design*

The two end-effectors are shown in Figs. 2 and 3. The book gripper is designed to handle books, catalogs, and manuals of varying thickness and geometrical size (maximum weight 2 kg, maximum width 75 mm) between the bookshelf and the reader board.

The book gripper is based on a pneumatic clamping device. The movements of the gripper's "thumb" are controlled by a double-acting pneumatic cylinder (diameter 16 mm). The gripper will hold a book with a force of 30 N, if the air pressure is set to 0,6 MPa (6bar). The book grasped is supported by a small shelf to reduce the maximum clamping force needed. The approximate friction coefficient of the surface of the "thumb" is 1 and the weight of the book gripper is 0.8 kg.

The design of the book gripper resulted mainly from the user requirement that the books be stored in a normal upright position and that the bookshelf look as normal as possible. These requirements have been met, with the exception that the books must be stored with space between each object. The width of these spaces must be at least 100 mm, which is the width of the book gripper when it is open. A photoelectric switch detects if a book is in the gripper.

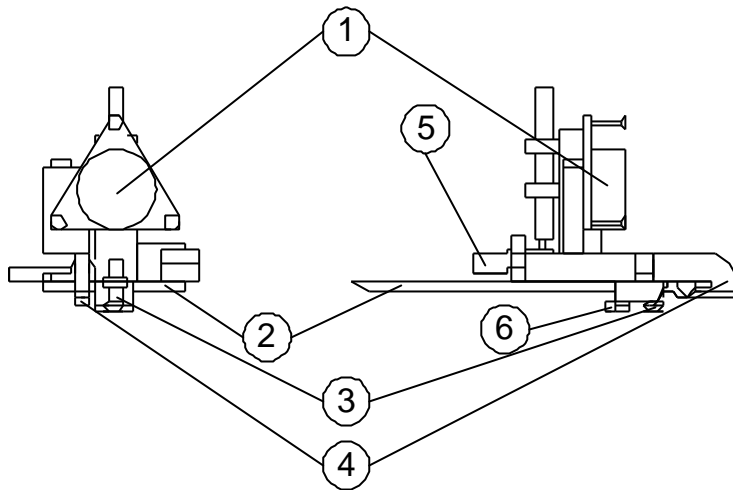


Fig. 3. The page turner viewed from the top (left) and from the side (right). (1) Tool changer interface, (2) "knife" for turning multiple pages, (3) suction cup for lifting a single page, (4) clamp for grasping single pages, (5) clamp for paper handling, and (6) push button/switch for detecting page surface.

The page turner is designed to open a books at any point and to turn pages forward or backward from that point. The page turner can also grasp papers and move them between the printer, the reader board, the storage racks, and the input and output trays. The page turner is also designed to handle disks, as well as drinks served on a specially designed tray.

The three main parts of the page turner are a "knife", a suction cup, and a clamping device placed close to the suction cup. The "knife" is a plastic plate the size of a human hand. It is used for opening books and turning multiple pages simultaneously. The suction cup and clamping device are used for single page turning. The bellow-type suction cup lifts a single page when it reaches the page surface. A push-button is mounted next to the suction cup and detects when the suction cup has reached the page surface. The activated push-button stops the approaching movement of the robot arm. The page is then lifted and grasped with the clamping device, which is connected to a double-acting pneumatic cylinder.

The reader board has been designed to prevent small books from moving when they are opened and to prevent unwanted movements when pages are turned in small books with stiff pages. A big suction cup, placed in a hole in the reader board, will prevent small books from moving. A "finger" has been added to the lower part of the reader board to press against the pages to prevent unwanted page movements. The "finger" is connected to a double-acting pneumatic cylinder, which is controlled by the

robot. The "finger" is removed for a short time during the page turning process.

The "knife" is also used when handling papers (up to approximately 50 pages) and disks, and when serving drinks. The clamping force is produced by a single-acting pneumatic cylinder (6 mm diameter). The clamping device is activated toward the knife, which is used as a supporting surface for the papers, disks, and drink tray. A force of 15 N will hold the objects if the air pressure is set to 0.6 MPa (6bar). The approximate friction coefficient of the surface of the clamping device is 1 and the weight of the page turner is 0.7 kg. A photoelectric switch detects whether an object is in the gripper.

The end-effectors are mounted on a robot tool changer, which makes it possible for the robot to change end-effectors automatically. The tool changer also increases the flexibility of the RAID workstation. New handling tasks, which may require a separate gripper, can then be added more easily. The possibility of adapting RAID to individual needs is an important user requirement.

*1 Book Gripper:* It takes 60 s to move a book from the book shelf to the reader board. It is expected that this can be reduced by 40% during an optimized work cycle. Grasping a book from the shelf has not caused any problems. When positioning soft catalogs on the reader board, the robot has to carry out some extra movements to prevent the pages from bending. In addition, grasping a book from the reader board has caused some difficulties with varying positions of the book in the gripper. However, this does not cause any problems when returning the book to the shelf, except in the case of catalogs, which have a tendency to bend.

*2 Page Turner:* When opening a book it is only possible to achieve an accuracy of +10 pages. To get to a specific page, the user then has to turn the pages one page at a time. The cycle time for turning one page is 15 s. In order to test the performance of the page turner at higher speed, the page turner was mounted and tested on an ABB Irb1000 industrial robot. The cycle time obtained with full functionality of the page turner was 3 s and approximately 100 pages could be turned without errors. Furthermore, in the case of an error, the robot could still proceed with the operation by turning backward or forward. Errors occurring during page turning were: 1) failure to lift and turn a page, 2) two or more pages turned at one time, or 3) an incomplete page turn. In all cases, a subsequent page turn without human interaction corrected any problems caused by the error.

At this stage, it is not possible to have one task program for all types of books. Our approach is to make one program for each book size. Furthermore, the tilt angle of the reader board has to be

specified. It is anticipated that the angle can be a parameter in the program. Page turning at the beginning and end of books causes some problems because the corners are not in the same position. Some user interaction may be needed during robot execution. The upper corners of stiff pages get slightly bent by the clamping device on the page turner. The vacuum ejector and pneumatic valves produce a certain amount of noise during operation. An electric vacuum pump was tested but rejected by the user.

Disk handling tasks have proven successful. Straight line interpolation and good robot repeatability are needed during this operation. However, the page turner is not ideal for this task because of geometrical constraints.

A special tray was adapted to the page turner in order to serve refreshments. No problems have occurred.

### *Results from User Trials*

The first RAID prototype workstation has been evaluated by a group of potential users [18]. RAID was well accepted because it addresses an occupational need. The overall impression of the workstation was positive, in terms of both size and appearance.

The major concern of users was reliability of the robot tasks, e.g. turning pages in a pile of paper sheets and returning them to the storage compartment. Occasionally, the sheets were not aligned and fell on the floor. The users divided errors into two categories, recoverable and unrecoverable. A stapler not feeding a staple every time was considered a typical recoverable error. This task could be repeated by trying a second time. Paper sheets falling on the floor was considered as an unrecoverable error and was not accepted.

The end-effectors were found to be highly reliable in the paper and document manipulation tasks. However, the reliability of the tasks is not a function of the end-effector itself, but also includes the robot and peripherals. Therefore, necessary improvements were identified concerning the robot (motion control) and peripherals (document storage). An improved version of the RAID workstation is now undergoing evaluation at three rehabilitation centers in Sweden, France, and the U.K.

The user input device, integrating the wheelchair joystick with the computer, was part of the RAID prototype workstation. It resulted in a drastic decrease in typing speed compared to input devices normally used. Thus, the input device should not be a part of the RAID workstation but should be supplied by the rehabilitation center responsible for the installation. Only pre-programmed tasks were evaluated. Large buttons were used to represent different robot tasks. The user interface was found to be easy to use and understand.

### *Further Development*

Based on the results of the user trials, the RAID workstation will be further developed in a second stage with increased reliability and autonomy. Thus, the mechanical functionality of the end-effectors will be redesigned with respect to integration with the necessary sensors. Much work will be devoted to increasing the degree of flexibility and autonomy so that the workstation can operate in a less structured environment, as well as to developing process models for generic tasks, such as grasping different types of books and turning to specific pages.

The modularity of the workstation will also be improved to allow the user to specify the hardware and software components, e.g., the number of compartments in the bookshelf and automatic recognition of book sizes. In this context, users will be involved in the development of the workstation.

### **5 Walky - A Mobile Robot System for Rehabilitation**

A mobile robot system is being developed for use in laboratory environments (typically chemical, medical and biological) by people with disabilities. This will widen the range of occupations open to people with physical disabilities, whose career opportunities are often limited to office type work. We have found three different areas which are suitable for robotization:

- 1) Microscopy, for example cell examination and cell and chromosome counting.
- 2) Blood group determination.
- 3) Culture analysis.

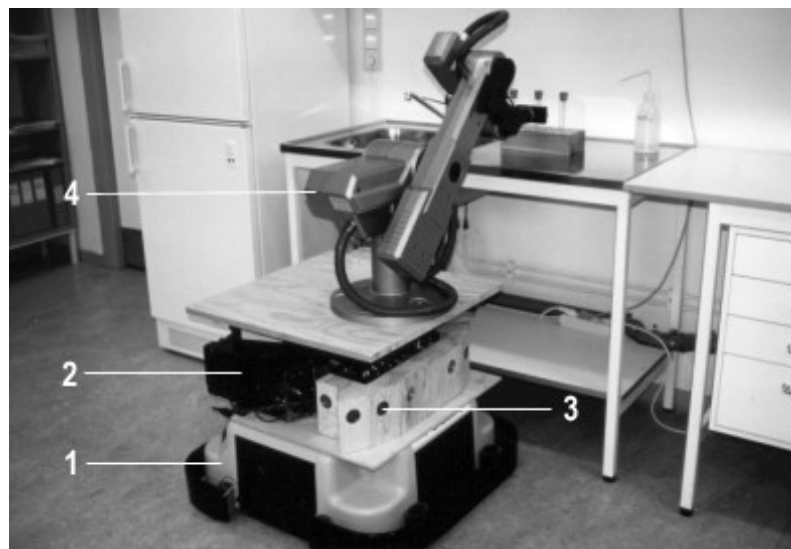


Fig. 4. Walky mobile robot system with (1) mobile base, (2) on-board computer, (3) sensor system, and (4) robot manipulator.



### *Working Scenario*

The system is intended for workplaces with varying workloads at different locations during normal work hours, such as hospital laboratories, where tests may come in batches that require different routines and equipment. A mobile robot may be well-suited to this kind of workplace, which uses different equipment and procedures that may take up to a few hours for each working session.

The robot task can be divided into two different problems:

- 1) the mobility of the system,
- 2) the robot operations involved in performing the specific tasks.

It is preferable to change as little as possible in the environment of the laboratory. Thus, the size of the mobile base has to be small enough to enable it to move around in a normal laboratory, as well as to move through a doorway, etc. The robot tasks have been analyzed in order to adapt grippers and special tools, and to specify the working procedure for each task. From a user point of view, it is important to use the robot for manipulative tasks and to leave decision-making and analysis work to the individual.

### *Manipulator System*

The mobile robot system consists of the following parts:

- Mobile base, LabMate (TRC), with sensor system (ultrasonic), including a local network.
- Five-axis robot, Scorbot ER VII.
- On-board computer and wireless modern communication link to main computer.

The robot is mounted on the mobile base, which is equipped with eight ultrasonic sensors (see Fig. 4). The sensors are used to detect obstacles and to guide the robot into position for a new task. Safety aspects are taken care of by the ultrasonic sensors (software routine) and the bumpers on the LabMate. The on-board computer holds all necessary information for path planning and programs for different robot tasks and, if necessary, it can receive new information via a wireless modem.

### *Programming and Control*

As with the RAID workstation, the Walky mobile robot system is designed to integrate with the user's own input devices, such as voice control or mouse emulation devices. These are normally connected to a computer via a serial line (COM-port on a PC) and, consequently, they are not used by the system for the purpose of interfacing with user devices.

In most cases, it is assumed that all working positions, equipment, walls, etc. are fixed and a map is created using simple objects (rectangles, circles, etc.), in a CAD-system. When the user wants to tell the system where to go, he or she picks a location on the map on the screen and invokes a path planning routine to generate a path between the two locations. In general, each object is associated with paths around it, which will be evaluated through a search routine to check if there is an object in between the start and stop locations. The method used is a combined depth-first and breadth-first search and picks the best-first solution to the problem. In case of unknown obstacles during run-time, a local path planning routine will take over to either guide the system back to an earlier position or around the obstacle. The path planner can be overridden by manually inserting the solution on the map as via-points.

### *Results and Future Work*

Investigations in laboratories connected to Lund University Hospital show that there are several possible workplaces which are suitable for Walky. Various tasks have been analyzed and simulated for robot trials. The path planner for the mobile base was tested in an environment similar to that at its final destination. In order to cope with non-fixed objects, such as chairs, boxes, etc., the mobile base is equipped with a set of eight ultrasonic sensors for reactive planning. By utilizing the existing eight ultrasonic sensors in different configurations, trials on wall-following and detection of various obstacles (table leg, chair, book shelf, etc.) show that it is possible, in a partly known environment, to use ultrasonic sensors for collision avoidance and for guiding the mobile system. Results from trials show that small objects lying on the floor, doorsteps, table edges, etc. are difficult to detect. Consequently, it is necessary to increase the number of sensors in order to ensure a reliable system. Trials will be carried out in laboratories during 1995, and further developments needed will be defined based on the results of these trials. Future work will be directed toward increasing the level of autonomy for unstructured environments, such as home-based activities, and toward enabling two or more disabled individuals to share the same robot station for vocational tasks similar to those described with respect to the RAID station.

### **6 Concluding Remarks**

Rehabilitation robotics is an emerging field with many connections to service robotics. However, special attention must be paid to the specific needs of individual users and their physical handicaps. Thus, each individual case must be carefully studied in

order to design and build a system which can be utilized by the user in an efficient manner. As described in this paper, much research has been devoted to mechanical design, including mobility and end-effectors, as well as programming and control. Much of this work is based on experience from industrial robotics. Although results are promising, it is important to recognize the need for research and development which is free from the influences of industrial robotics and which looks instead for functional specifications in service and rehabilitation robotics and how these can be transformed into technical solutions. This work, which is a part of new research currently underway at Lund University, will include advances in robotics design, including the use of reinforced composite materials and event-based programming with model representation to generate autonomous functionality. The utilization of such systems for rehabilitation and their human benefits may well be the starting point of a revolution similar to the one which began when the personal computer came on the market.

#### References

- [1] TIDE, *1993-1994 workplan*, Commission of the European Communities, 1993.
- [2] S.A. Napper and R.L. Seaman, *Applications of robots in rehabilitation*, Robotics Autonom. Syst., vol. 5, pp. 227 - 239, 1989.
- [3] J. Hegarty, *Rehabilitation robotics: The user's perspective*, in Proc. 2nd Cambridge Workshop. Rehab. Robotics, Cambridge, U.K., Apr. 1991.
- [4] M. van der Loos, J Hammel and L. Leifer, *DeVar transfer from R&D to vocational and educational settings*, in Proc. 4th Int. Conf. Rehab. Robotics, Wilmington, DE, pp. 151 - 155, June 14 - 16, 1994.
- [5] T. Øderud, J.E. Bastiansen and S. Tyvand, *Experiences with the Manus wheelchair mounted manipulator*, in Proc. ECART 2, Stockholm, p. 29.1, May 26 - 28, 1993.
- [6] A. Casals, R. Villá and D. Casals, *A soft assistant arm for tetraplegics*, in Proc. 1st TIDE Congr. ,Brussels, pp 103 - 107, and Studies in Health Technol. Inform., vol 9, IOS Press, Apr. 6 - 7, 1993.
- [7] R.D. Jackson, *Robotics and its role in helping disabled people*, Eng. Sci. Educ. J., pp. 267 - 272, Dec. 1993.
- [8] J. Hennequin and Y. Hennequin, *Inventaid, wheelchair mounted manipulator*, in Proc. 2nd Cambridge Workshop. Rehab. Robotics, Cambridge, U.K., Apr. 1991.
- [9] S.Greenhill, *The digit Muscle*, Ind. Robot, vol. 20, no. 5, pp. 29 - 30, 1993.

- [10] S Levine, D. Bell and Y. Koren, *An example of a shared-control system for assistive technologies*, in Proc. 4th Int. Conf. Comput. for Handicapped Persons, Vienna, Austria, Sept. 1994.
- [11] J.-M. Détriché and B. Lesigne, *The robotized system for helping the disabled persons*, in Proc. IARP 2nd Wkshp. Med. Healthcare Robotics, Newcastle, U.K., pp. 19 - 41, 1989.
- [12] J.L. Dallaway, R.M. Mahoney, R.D. Jackson, and R.G. Gosine, *An interactive robot control environment for rehabilitation applications*, Robotica, vol. 11, pp. 541 - 551, 1993.
- [13] D.S. Lees and L.J. Leifer, *Experimental evaluation of a graphical programming environment for service robots*, in Proc. 4th Int. Conf. Rehab. Robotics, Wilmington, DE, pp. 19 - 23, June 14 - 16, 1994.
- [14] H. Neveryd and G. Bolmsjö, *Mobile robot system for disabled*, in Proc. ECART 2, Stockholm, p. 24.1, May 26 - 28, 1993.
- [15] H. Neveryd and G. Bolmsjö, *Walky, a mobile robot system for the disabled*, in Proc. 4th Int. Conf. Rehab. Robotics, Wilmington, DE, pp. 137 - 141, June 14 - 16, 1994.
- [16] G. Nikoleris, K. Brink, M. Olsson, and G. Bolmsjö, *Simplified programming of robots-Sport*, in Proc. Robotics Wkshp., Linköping, Sweden, p. B2, June 2 - 3, 1993.
- [17] M. Lindström, *Intelligent control of a mobile robot base*, Master's thesis, Dept. of Production and Materials Eng., Lund University, Lund, Sweden, May 1993.
- [18] C. Danielsson and L. Holmberg, *Evaluation of the RAID workstation*, in Proc. RESNA94'Annu. Conf., Nashville, TN, pp. 451 - 453, June 17 - 22, 1994.

*Gunnar Bolmsjö* received his M.Sc. and Ph.D. degrees in mechanical engineering from Lund University in 1981 and 1986 respectively.

In 1986, he became associated with the Department of Production and Materials Engineering at Lund University and was appointed Professor of Robotics in 1987. His research interests include robotics in rehabilitation and industrial processes, such as arc welding and grinding. Areas of research include control structures, including task level programming, multisensor feedback, process models, and simulation.

*Håkan Neveryd* received his M.Sc. degree in mechanical engineering from Lund University and his teaching degree from Växjö University, Sweden.

He has worked as a teacher at technical colleges in southern Sweden. Since 1990, he has been working at Certec at Lund University in the field of robotics and disabled people. In 1993, he was appointed Director of CERTEC.

*Håkan Efring* received his M.Sc. in mechanical engineering from The Royal Institute of Technology of Stockholm, Sweden, in 1985 and received his licentiate degree in engineering in manufacturing systems in 1990 from the same institute.

Between 1985 and 1992, he worked at The Royal Institute of Technology and The Swedish Institute of Production Engineering Research in the field of CAD/CAM, robotics, and FMS technologies. Since 1992, he has been working at Certec at Lund University in the areas of robotics, end-effectors, and sensors in rehabilitation robotics.

# Walky, a summary of five conference papers

Håkan Neveryd , Gunnar Bolmsjö

*Abstract.* A mobile robot system, called Walky, is being developed for use by people with disabilities in laboratory environments (typically chemical, medical, and biological). This will widen the range of occupations open to people with physical disabilities, whose career opportunities are often limited to office type work. We have found three different areas which are suitable for robotization:

- microscopy, for example cell examination, cell and chromosome counting.
- blood group determination
- culture analysis.

Walky is equipped with ultrasonic sensors for obstacle avoidance and path planning in a laboratory environment. Laboratory tests have shown promising results and future development will be carried out in cooperation with a rehabilitation center.



Figure 1. Walky, a mobile robot system.

## Background

The aim of this project is to enable people who have suffered an injury to return to work earlier and to increase the employment opportunities of people with disabilities, including those with severe disabilities. Earlier attempts at designing service robots for the disabled in Sweden have involved robots for use in an office

environment. However, people with disabilities are neither more nor less interested or competent in administrative work than people without disabilities. We have found that a laboratory may also be a good working environment for the disabled [1].

### The Design of the Mobile Robot System

Walky consists of the following main components:

- Mobile base, LabMate, with a sensor system and a local network.
- 5-axis robot, Scorbot ER VII.
- Wireless radio modem.
- Communication computer.

The outside dimensions of Walky's base are 700 x 750 mm and the robot's maximum height is 1350 mm (when the elbow is in the upper position).

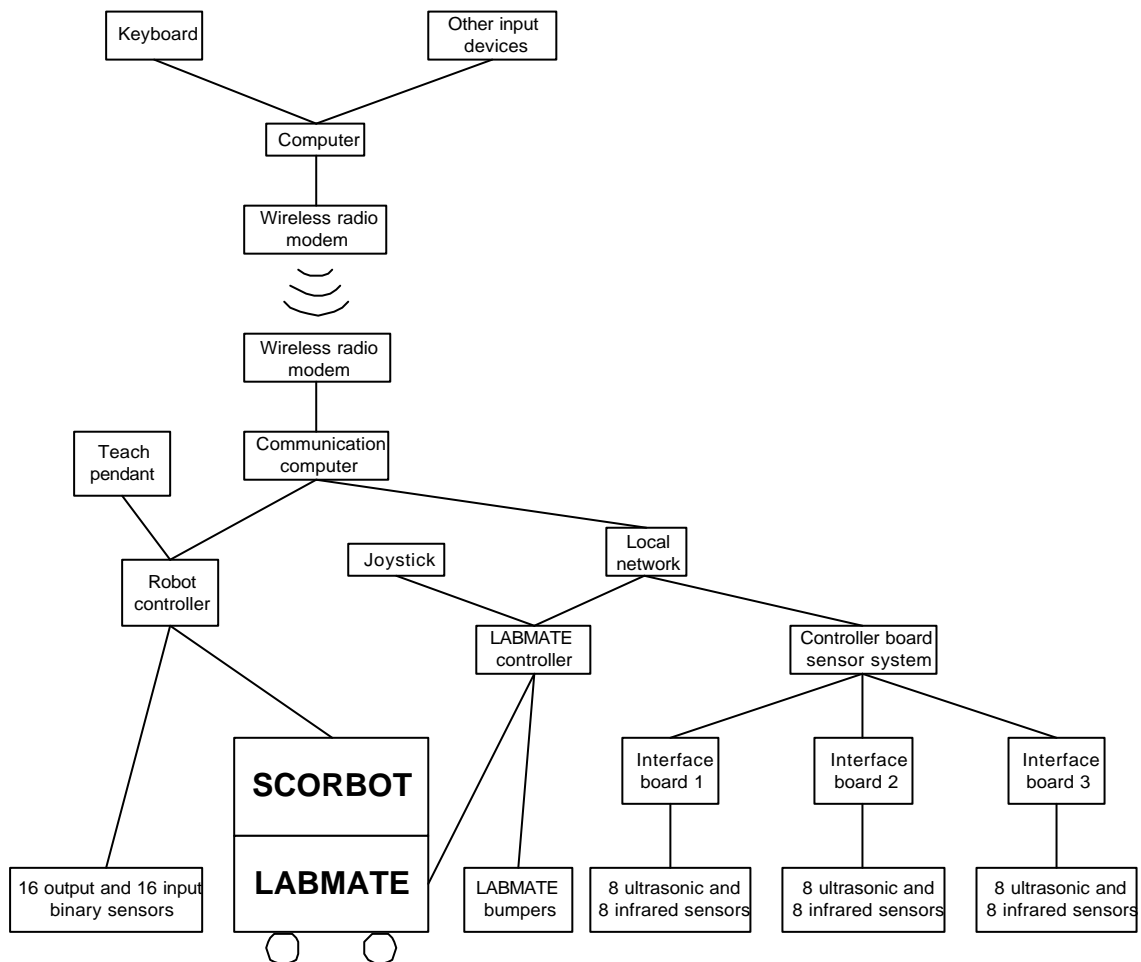


Figure 2. Diagram showing the design of Walky.

### *Scenario*

The functionality of mobile systems can be described by the following scenario.

A user is sitting at his/her workstation and would like to fetch an object from another workstation. Using the computer, he/she commands the mobile robot to go to a predetermined position at that workstation. The communication between the computer and the mobile robot system is handled by a wireless network (see Figure 2). If there are no obstacles between the start and end positions, the mobile robot system goes directly to the end position, where it grasps the object specified.

If an obstacle is detected, for example a chair, the mobile robot tries to find a way around that obstacle. If the ultrasonic sensor system fails, the emergency system stops the mobile robot when one of the bumpers on the mobile base hits the obstacle.

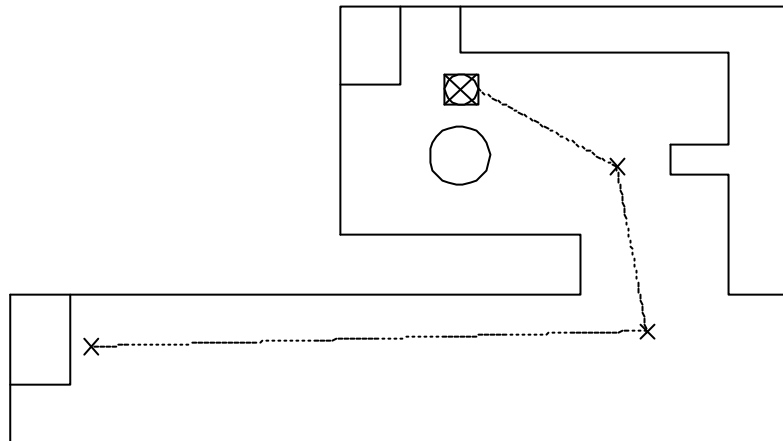


Figure 3. Part of the user's screen, with point to point control.

### **User Interface**

An Autocad drawing defines the space in which the robot base can be maneuvered. The drawing contains walls, doors, furniture, and other objects which limit the movement of the robot base (see Figure 3).

The user can move the robot base in two ways: in manual or automatic mode. In manual mode, the arrow keys on the keyboard are used. In automatic mode, the obstacle avoidance algorithm is active and menus are used to command the robot base to a target position. The program then calculates the best path to that position and moves the robot base according to that path [1, 2, 3, 4]. In automatic mode, it is also possible for the user to specify intermediate positions for the path of the robot base - point to point control.



## Sensor System

It is possible to connect three interface boards to the sensor system. Eight ultrasonic and eight infrared sensors can be connected to each interface board. The sensors on Walky are used for measuring distance. In the first phase of the project, we chose to use eight ultrasonic sensors [5, 6], (see figure 4). Phase 1 of Walky's sensor configuration was a modified variant of the IPAMAR [7] mobile robot. Tests showed that the information obtained from the sensors was limited and that more information was needed when the environment was partly unstructured and unknown.

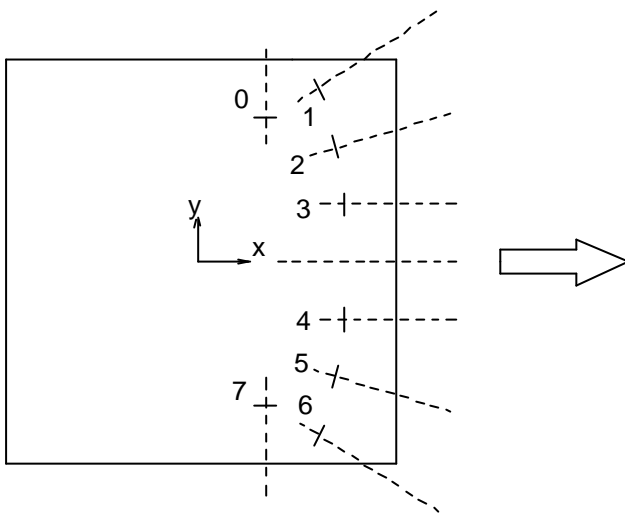


Figure 4. The sensor configuration phase 1.

Ultrasound sensing, based upon the speed of sound, depends on producing a high frequency sound wave (above 20 kHz), transmitting the sound wave, and then measuring the time interval from the sound burst until a reflection returns from a target surface. A problem with ultrasonic sensors is that the speed of sound is a function of temperature (see figure 5). The speed of sound also varies slightly with humidity, max 0.35% at 20°C. The Polaroid ultrasonic sensor [8] is capable of detecting the presence and distance of objects within a range of approximately 27 cm to 10.7 m. Other problems of ultrasonic sensing are false detection and the fact that an object must be non-porous in order to be detected.

We tested phase 1 of the sensor configuration in an office environment with respect to what the system could detect (1), what it sometimes could detect (2), and what it could not or very infrequently could detect (3).

1. Different dimensions of chair legs and desk chairs.
2. Table-edges and bookshelves (empty, half-full, and full) could sometimes be detected. Half-full and full

bookshelves could be easily detected, like a wall, but if the bookshelf contained few books or was empty, the result depended on the detection angle. The system could not detect a 25 mm standard table-edge, but it could detect a 25 mm standard table-edge with a 32 mm strengthening beam. The detection of bookshelves was satisfactory, while the detection of table-edges was unsatisfactory.

3. It was possible to detect an obstacle on the floor (a pen or a threshold) only if its height was over 45 mm.

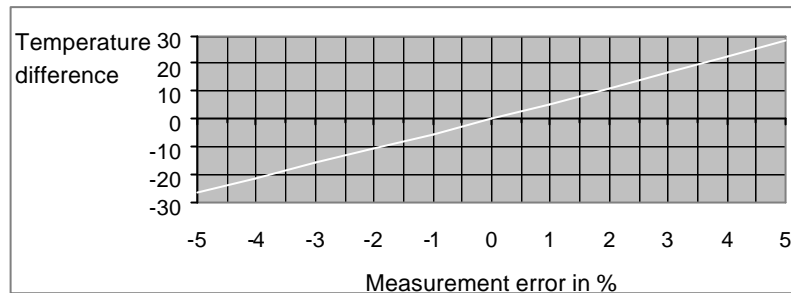


Figure 5. Measurement error in % for ultrasonic sensors when the temperature changes compared to the reference temperature.

The system needed one more sensor on each side to make wall-following easier. Moreover, to give Walky the capability to back up, additional sensors were required on its back, and a calibration sensor to detect temperature changes was also needed.

We have tried to solve the problems of sensor configuration 1 with an extended sensor configuration (phase 2). In this phase, we have added one interface board with eight ultrasonic sensors and we have developed this extended configuration further.

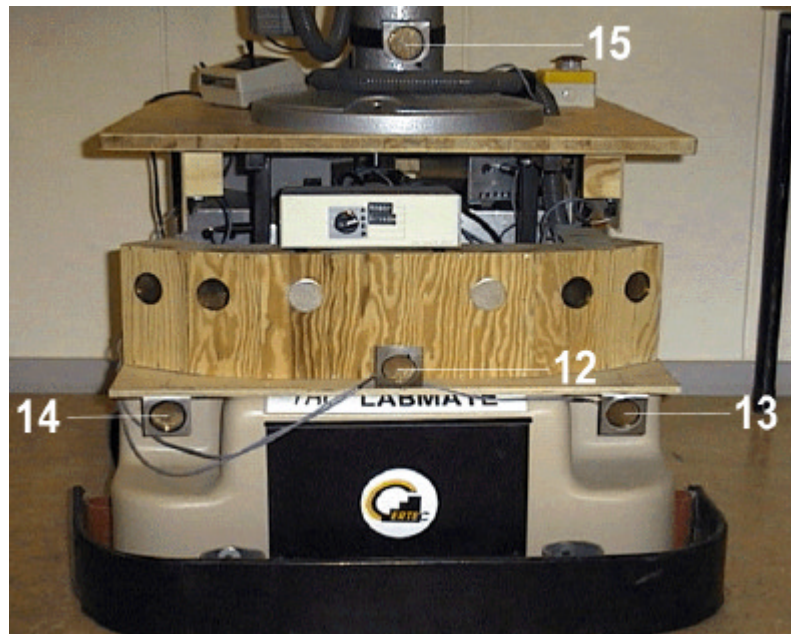


Figure 6. The front of Walky with the extended sensor configuration.

The problem of detecting table-edges has been solved with sensor 15 (see Figures 6 and 7), which has the same height as a normal table (73 cm).

The problem of detecting of an obstacle on the floor has been solved with sensors 12, 13 and 14 (see Figures 6 and 7). The extended system can detect an obstacle with a height of 3 mm. Sensors 13 and 14 also make it easier to measure the clearance on each side. Sensors 9 and 10 have been added to make it possible to detect obstacles behind the robot. Sensors 8 and 11 have been added for better wall-following.

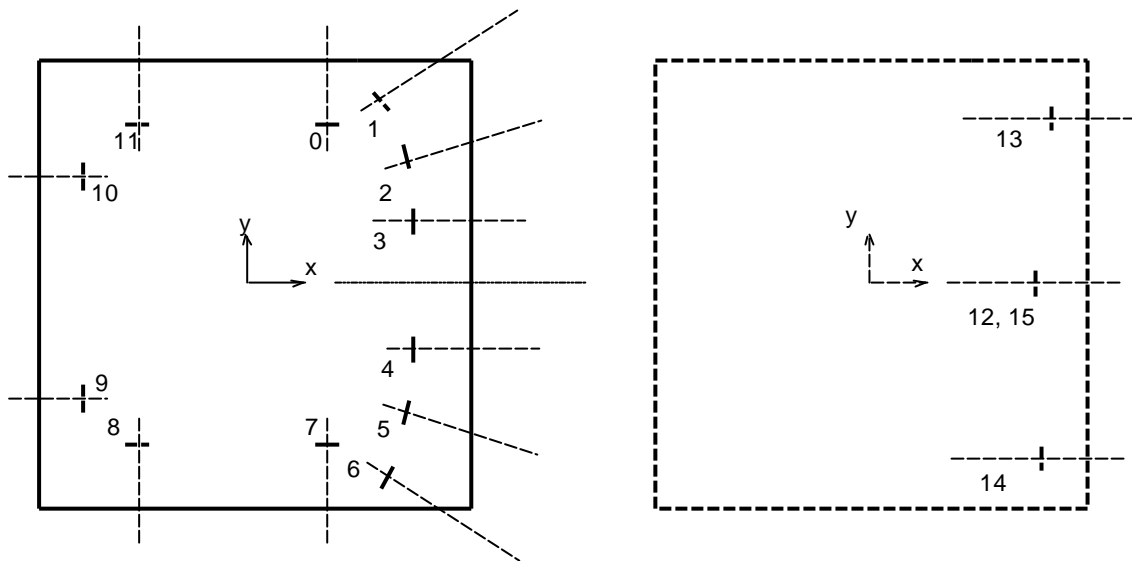


Figure 7. The extended sensor configuration.

Temperature changes will be calibrated by a sensor set to a fixed distance and placed on top of the mobile base. When the temperature (or the humidity) changes, it is easy to calibrate the distance measurement. We plan to add this sensor in the third phase of the project.

### Path Planning

As mentioned above (see USER INTERFACE), the user can move the robot base in manual or automatic mode. In automatic mode, two different methods of path planning can be used, both of which work without the sensors. The sensors are used for obstacle avoidance in order to cope with changes in the environment.

#### *Method 1*

The objects on the map (see Figure 2) are circles, lines, rectangles and polygons [7]. Obstacles are defined as "things which are not on the map".

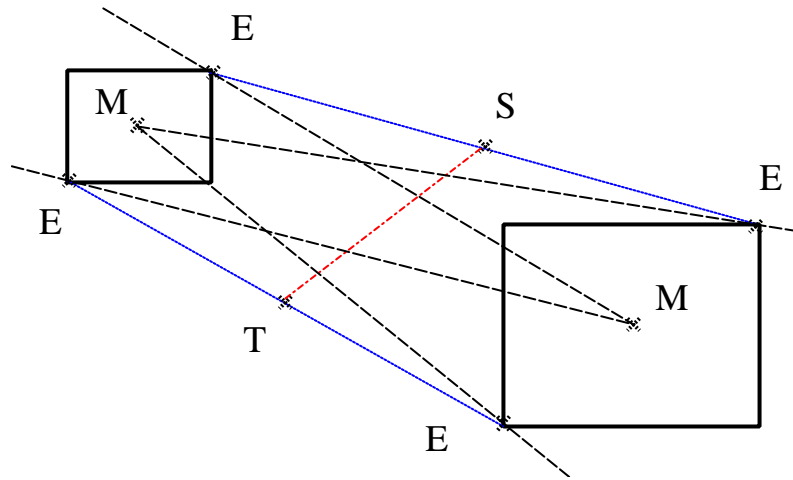


Figure 8. Calculating the start point ( $S$ ) and target point ( $T$ ) for the path between two objects.

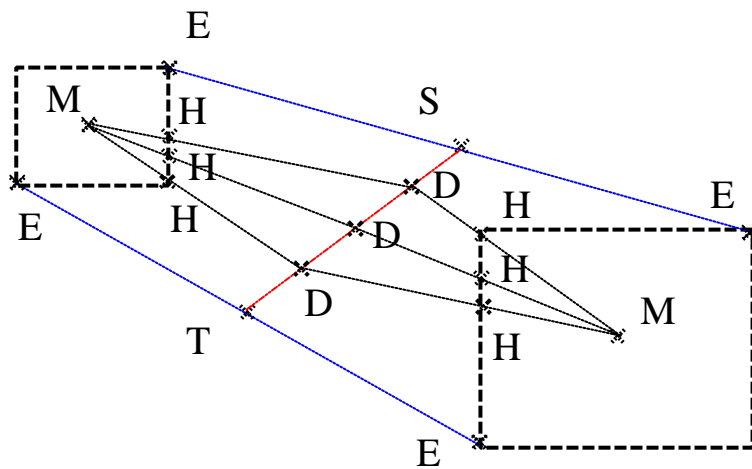


Figure 9. Calculating help points ( $H$ ).

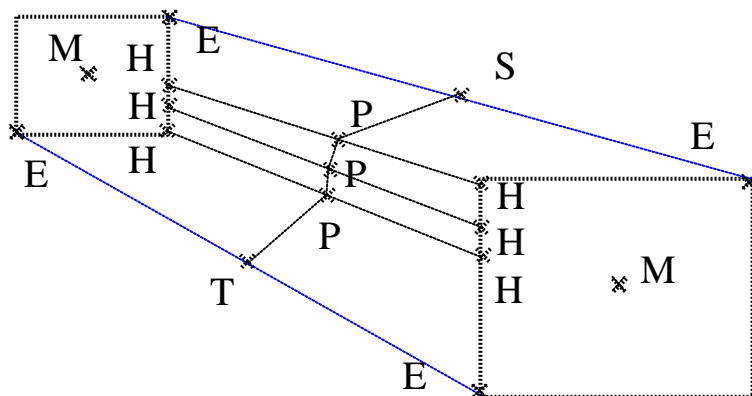


Figure 10. Calculating subtarget points ( $P$ ).

Segments of the path are created by building all possible pairs of the different objects and subsequently calculating the path between the two objects. The start point ( $S$ ) and target point ( $T$ ) are the mid points of the lines between the edge points ( $E$ ) of the two objects. The edge points ( $E$ ) of one object are defined as the

outermost points which can be observed from the mid point ( $M$ ) of the other object (see Figure 8). The line between the start point ( $S$ ) and the target point ( $T$ ) is divided into four segments of equal distance. By using three help points ( $D$ ) and the mid point ( $M$ ) of each object, three more help points ( $H$ ) are created on the edge of each object. (see Figure 9). The subtarget points ( $P$ ) are the mid points of the lines between the help points ( $H$ ) on the two objects. The path between the two objects is  $S-P-P-P-T$  (see Figure 10).

When combining all the paths into one path, we have chosen to use the  $A^*$  search algorithm [10]. This search starts by expanding the root node by one step to form a tree of depth two. The cost (length) of each path from the root to the subnodes is calculated. The cost of the set of new paths is also calculated. The costs of all paths (the old one-step paths and the new two-step paths) are compared and the path with the lowest cost is chosen. This process is repeated until the goal is reached.

### Method 2

In this method, we define subtargets in each room [11]. The subtargets can be defined automatically or manually. The number of subtargets depends on the area of the room. It is easy to add extra subtargets, for example around a doorway, to create a smoother path through geometrically complicated areas. All possible paths between the subtargets in one room and the subtargets in another room are precalculated and stored in Walky's onboard computer. The computer only calculates the path from the start point to the nearest subtarget and the path from the end point to the nearest subtarget (see Figure 11). These paths are calculated using method 1.

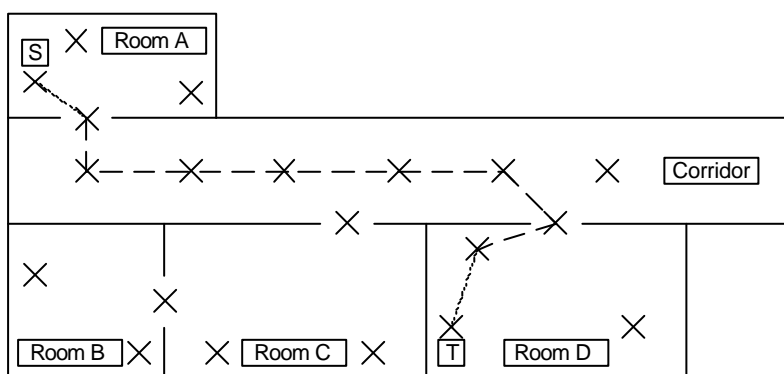


Figure 11. The path from the start point ( $S$ ) to the target point ( $T$ ). The precalculated path, which is stored in Walky's onboard computer, is indicated by dashed lines and the segments from the start point and the target point to the nearest subtarget are indicated by dotted lines.

The difference between the two methods is the waiting time when calculating the path. For method 1, the waiting time is measured in minutes but for method 2 it is in seconds. Of course, in method 1, the length of the path influences the waiting time. Method 2 requires some extra work when a new map is added.

When Walky's sensors detect an obstacle, at a distance of:

- 210 cm, nothing happens. (the ignore zone)
- 130-210 cm, Walky's speed is slowed down to 70% of the normal speed. (the obstacle detection zone)
- 40-130 cm, Walky's speed is slowed down to 50% of the normal speed and the obstacle avoidance algorithm starts. (the reflex zone)
- < 40 cm, Walky stops immediately. (the safety zone)

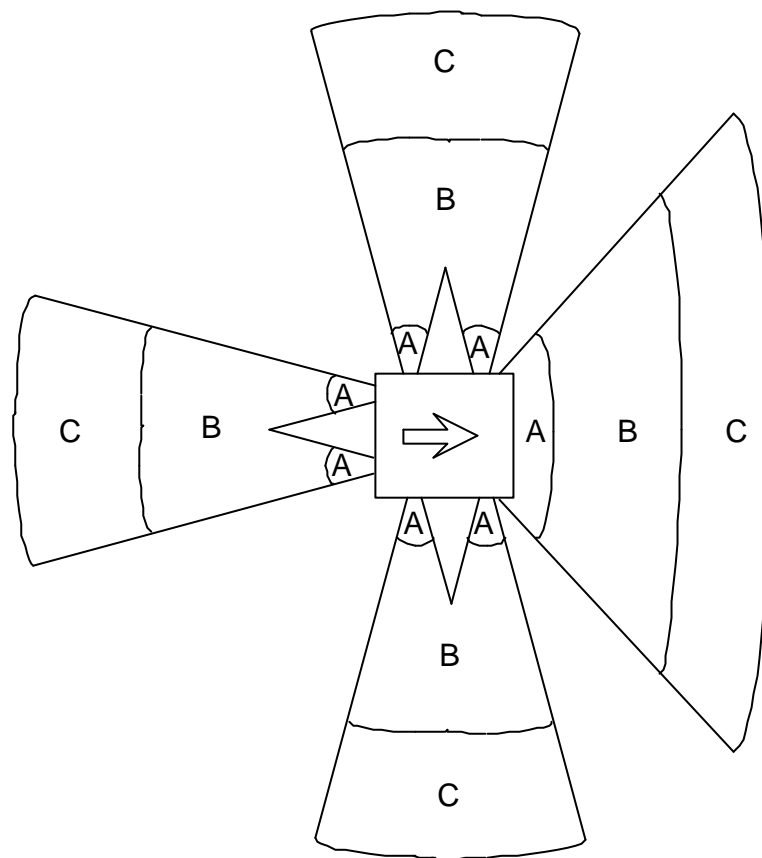


Figure 12. The detection zone, A= the safety zone, B= the reflex zone and C= the obstacle detection zone.

The obstacle avoidance algorithm uses the subtargets from the path planning algorithm. When Walky has bypassed an obstacle (see Figure 13, point A), it tries to go to the nearest subtarget and then continue along its path. If the nearest subtarget is too close and Walky has to turn at a large angle or if Walky has passed the subtarget, it will go to the next subtarget. Walky has an internal

system of co-ordinates and the map has a global system of co-ordinates. When these two systems of co-ordinates are compared, Walky's position and direction can be determined.

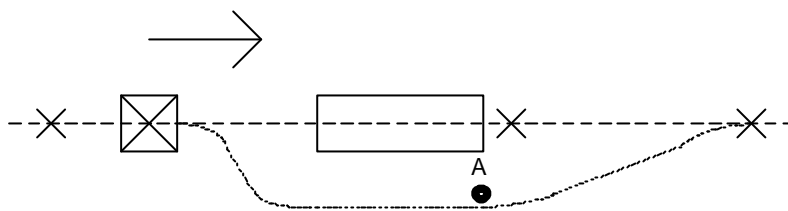


Figure 13. Walky's path around an obstacle. The precalculated path is indicated by dashed lines and the segment path around the obstacle, calculated with an obstacle avoidance algorithm, is indicated by dotted lines.

### Conclusion

Laboratory tests with users have shown that the waiting time, i.e. the calculation time for the path planning in method 1, is too long. Users feel that it is important to be able to see a quick result when sending a command to Walky. This was the reason for developing method 2. An experienced rehabilitation robotic user is wary of "what is happening around the corner". The user feels that he has no control over Walky, when he cannot see what it does.

Users find it very convenient that the robot system can be kept out of view behind a curtain when not in use. Another advantage of a mobile robot system is that it can serve more than one user compared to a RAID [12, 13] or DeVAR [14] type workstation.

In the next phase we plan to integrate a mini-camera into Walky. The user will be able to see the view from Walky on the screen. We are also planning to test Walky in a training apartment at a rehabilitation center. The purpose of the test is to collect user experience and subsequently develop Walky further.

### Acknowledgements

The financial support of the Foundation for the Support of Disabled Persons in Southern Sweden and the Swedish Work Environment Fund is gratefully acknowledged.

### References

- [1] McKerrow. *Introduction to Robotics*. ISBN 0-201-18240-8. Addison-Wesley Publishing Company.
- [2] Meystel. *Autonomous Mobile Robots*. ISBN 9971-50-088-4. World Scientific.
- [3] Latombe. *Robot Motion Planning*. ISBN 0-7923-9129-2. Kluwer Academic Publishers.
- [4] Iyengar, Elfes. *Autonomous Mobile Robots, volumes 1 and 2*. ISBN 0-8186-9116-6. IEEE Computer Society Press.

[5] Borenstein, Koren. *Tele-autonomous guidance for mobile robots*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 17(4) (1991): 535-539.

[6] Borenstein, Levine, Koren. *The NavChair-a new concept in intelligent wheelchair control for people with multiple handicaps*. Proceedings of the CSUN's Fifth Annual Conference on Technology and Persons with Disabilities 1990.

[7] Kacandes, Langen, Warnecke. *A combined generalized potential field/ Dynamic path planning approach to collision avoidance for a mobile autonomous robot operating in a constrained environment*. Proceedings of the International Conference of Intelligent Autonomous Systems, 11-14 December 1989 Amsterdam, The Netherlands.

[8] Biber, Ellin, Shenk, Stempeck. *The Polaroid ultrasonic ranging system*. Presented at the 67th AES Convention, 31 October-3 November 1980, New York, USA.

[9] Cox, Wilfong. *Autonomous Robot Vehicles*. ISBN 3-540-97240-4. Springer-Verlag.

[10] Hart, Nilsson, Rapael. *A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths*. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SSC-4, No 2, July 1968.

[11] Alayan, Jungert. *Object-oriented Incremental Mapgeneration for Mobile Robot Navigation*. ISSN 0347-3708. FOA Report.

[12] Dallaway, Jackson. *RAID - a Vocational Robotic Workstation*. Proceedings of the 1992 International Conference on Rehabilitation Robotics, 15-16 September, 1992, Keele University, Staffordshire, England.

[13] Bolmsjö, Efring. *RAID, Robotic end-effector development*. Proceedings of the 1st TIDE Congress, 6-7 April, 1993. Brussels.

[14] Van der Loos, Hammel, Leifer. *DeVAR Transfer from R&D to Vocational and Educational Settings*. Proceedings of the 4th International Conference on Rehabilitation Robotics, 14-16 June, 1994, Wilmington, Delaware, USA.





# Referenser

- [1] Jönsson, B, Philipson, L, Svensk, A, *Vad vi lärt oss av Isaac*, ISSN 1101-9956, 1998.
- [2] Jönsson, B, Magnusson, C, Efring, H, *Capturing better data*, UserTalk, Issue 6, pp 4-5, 1995.
- [3] Neveryd, H, *Christer Evaldssons robotiserade arbetsplats*, Internrapport från Certec-1:91, 1991.
- [4] Neveryd, H, *Utvärdering av tre robotiserade arbetsplatser för rörelsehindrade*, På uppdrag av AMV, 1992.
- [5] Mahoney, R M, *Robotic Products for Rehabilitation: Status and Strategy*, ICORR'97 International Conference on Rehabilitation Robotics, the Bath Institute of Medical Engineering, Bath University, UK, 1997.
- [6] Topping, M, Hegaty, J R, *The Potential of Low-Cost Computerised Robot Arms as Aids to Independence for People with Physical Disability*, The 1st International Workshop Domestic Robots and the 2nd Workshop on Medical&Healthcare Robotics, Newcastle upon Tyne, UK, 1989.
- [7] Hegaty, J, Topping, M, *'Handy 1' - a Low-Cost Robotic Aid to Eating*, The 1991 International Conference on Rehabilitation Robotics, Atlanta, Georgia, USA, 1991.
- [8] Whittaker, M, *Use of the Handy 1 Robotic Aid to Eating by 20 People with Severe disabilities*, The 1991 International Conference on Rehabilitation Robotics, Atlanta, Georgia, USA, 1991.
- [9] Topping, M, *Handy 1, a Robotic Aid to Independence for Severly Disabled People*, Technology and Disability 5 (1996) pp. 233-234.
- [10] Hegaty, J R, Pinnington, L L, *Preliminary Studies on the Acquisition of Eating Skills Whilst Using a Robotic Aid*, The 1992 International Conference on Rehabilitation Robotics, Keele University, Staffordshire, England, 1992.
- [11] Smith, J, Topping, M, *Study to determine the main factors leading to the overall success of the Handy 1 robotic system*, ICORR'97 International Conference on Rehabilitation Robotics, the Bath Institute of Medical Engineering, Bath University, UK, 1997.
- [12] Finney, R, Topping, M, *After sales care provision for the Handy 1 robotic aid to independence*, ICORR'97 International Conference on Rehabilitation Robotics, the Bath Institute of Medical Engineering, Bath University, UK, 1997.
- [13] Topping, M, Heck, H, Bolmsjö, G, *An overview of the BIOMED 2 RAIL (Robotic Aid to Independent Living) project*, ICORR'97 International Conference on Rehabilitation Robotics,

the Bath Institute of Medical Engineering, Bath University, UK, 1997.

[14] Hawkins, P, Topping, M *The Design and Development Process for the Handy 1 Robotic Aid to Eating and Drinking*, ICORR'97 International Conference on Rehabilitation Robotics, the Bath Institute of Medical Engineering, Bath University, UK, 1997.

[15] Bolmsjö, G, Topping, M, Heck, H, Hedenborn, P, Olsson, M, *RAIL - Project status and technical developments*, 1st Conference in Advancement of Assistive Technology, Thessaloniki, Greece, 1997.

[16] Leifer, L J, Michalowski, S J, Van der Loos H F M, *Development of an Advanced Robotic Aid: From Feasibility to Utility*, Proceedings of the 9th Annual RESNA Conference, Minneapolis, Minnesota, 1986.

[17] Lees, D, Crigler, B, Van der Loos, Leifer, L J, *Design of a second generation desk-top robotic aid*, Proceedings of the 10th Annual RESNA Conference, San José, CA, 1987.

[18] Van der Loos, M, Hammel, J, *Designing rehabilitation robots as household and office equipment*, 1990 International Conference on Rehabilitation Robotic, Wilmington, Delaware, 1990.

[19] Hammel, J, Hall, K, Van der Loos, M, Leifer, L, Perkash, I, *Clinical evaluation of a desktop robotic aid for severely physically disabled individuals*, Proceedings of the 11th Annual RESNA Conference, Montreal, Canada, 1988.

[20] Van der Loos, M, Hammel, J, Schwandt, D, Lees, D, Leifer, L J, Perkash, I, *Design and evaluation of a vocational desktop robot*, Proceedings of the 12th Annual RESNA Conference, New Orleans, Louisiana, 1989.

[21] Hammel, J, Hall, K, Lees, D, Van der Loos, M, Leifer, L, Perkash, I, *Clinical evaluation of a desk-top robotic assistant*, The Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol 26, No 3, 1989, pp. 1-16.

[22] Van der Loos, M, Hammel, J, Lees, D, Chang, D, Perkash, I, Leifer, L J, *A voice-controlled robot system as a quadriplegic programmer's assistants*, Proceedings of the 13th Annual RESNA Conference, Washington, DC, 1990.

[23] Hammel, J, Van der Loos, M, *The assessment and prescription of robotics technology for individuals with severe physical disabilities*, The 1991 International Conference on Rehabilitation Robotics, Atlanta, Georgia, USA, 1991.

[24] Hammel, J, Van der Loos, M, *Factors in the prescription and cost-effectiveness of a robot systems for high-level quadriplegics*, Proceedings of the 13th Annual RESNA Conference, Kansas City, MO, 1991.

- [25] Hillman, M, Pullin G, Gammie, A, Orpwood, R, Stammers, C, *Evolutionary Design: The Role of Clinical Trials in the Development of a Robotic Workstation*, The 1991 International Conference on Rehabilitation Robotics, Atlanta, Georgia, USA, 1991.
- [26] Detriché, J-M, Lesigne, B, *MASTER Technical Evaluation in Rehabilitation Centers*, Proceedings of the 15th Annual RESNA Conference, Toronto, Ontario, 1992.
- [27] Holmberg, L, Levin, S-O, Neveryd, H, *Robotics at HADAR and CERTEC*, Rehabilitation Robotic Workshop, Selwyn College, University of Cambridge, England, 1991.
- [28] Birch, G E, Fengler, M, *Experience with the Neil Squire Foundation/Regenesys Robotic Assistive Appliance*, Proceedings of the 15th Annual RESNA Conference, Toronto, Ontario, 1992.
- [29] Neveryd, H, *Utvärdering av tre robotiserade arbetsplatser för rörelsehindrade*, På uppdrag av AMV, 1992.
- [30] Fu, C, *An Independent Vocational Workstation for a Quadriplegic*, Proceedings of the 9th Annual RESNA Conference, Minneapolis, Minnesota, 1986.
- [31] Finlay, P, *Project final report, EPI-RAID;TIDE project 1024*, 1996.
- [32] Kwee, H H, Duimel, J J, *The Manus wheelchair-borne manipulator: System review and first result*, The 1st International Workshop Domestic Robots and the 2nd Workshop on Medical&Healthcare Robotics, Newcastle upon Tyne, UK, 1989.
- [33] Rosier, J C, van Woerden, J A, vander Kolk, L W, Kwee, H H, Duimel, J J, Hondred, G, Bryun, P M, *The Manus wheelchair-mounted manipulator: System design and implementation*, The 1st International Workshop Domestic Robots and the 2nd Workshop on Medical&Healthcare Robotics, Newcastle upon Tyne, UK, 1989.
- [34] Kwee, H H, Duimel, J J, Sits, J J, Tuinhof de Moed, A A, van Woerden, J A, vander Kolk, L W, Rosier, J C, *The Manus wheelchair-borne manipulator*, ECART I, European Conference on the Advancement of Rehabilitation Technology, Maastricht, The Netherlands, 1990.
- [35] Kwee, H H, *Rehabilitation Robotics: Softening the hardware*, 1990 International Conference on Rehabilitation Robotic, Wilmington, Delaware, 1990.
- [36] Bishop, J W, Verburg, G, Milner, M, Mifsud, M, *A command monitoring system for the Manus arm*, Proceedings of the 15th Annual RESNA Conference, Toronto, Ontario, 1992.
- [37] Driessen, B J F, van Woerden, J A, Nelisse, M W, Overboom, G R, *Rehabilitation Robotic Concepts - integrating Manus on a mobile platform*, 1st Conference in Advancement of Assistive Technology, Thessaloniki, Greece, 1997.

- [38] Øderud, T, *Experiences from the evaluation of a Manus wheelchair-mounted manipulator*, 1st Conference in Advancement of Assistive Technology, Thessaloniki, Greece, 1997.
- [39] Efrting, H, *Nationellt robotcentrum*, Rapport 1471-601 till Socialstyrelsen, 1997.
- [40] Øderud, T, Bastiansen, J E, *Integrating a Manus Manipulator and an Electric Wheelchair*, Proceedings of the 15th Annual RESNA Conference, Toronto, Ontario, 1992.
- [41] Verburg, G, Milner, M, Naumann, S, Bishop, J, *An evaluation of the Manus wheelchair-mounted manipulator*, Proceedings of the 15th Annual RESNA Conference, Toronto, Ontario, 1992.
- [42] Verburg, G, Kwee, H, Wisaksana, A, Cheetham, van Woerden, J, *Manus: The evolution of an assistive technology*, Technology and Disability 5 (1996), pp. 217-228.
- [43] Rathbone, R R, Valley, R A, Kindlmann, P J, *Beacon-Referenced Dead Reckoning: A Versatile Guidance System* Robotics Engineering, 8, pp. 11-16, 1986.
- [44] Moravec, H P, *The Stanford Cart and the CMU Rover*, Proceedings of the IEEE, 71, pp. 872-884, 1983.
- [45] Lozano-Perez, T, *Spatial Planning: A Configuration Space Approach*, IEEE Transaction on Computers, C-32, pp. 108-120, 1983.
- [46] Kambhampati, S K, Davis, L S, *Multiresolution Path Planning for Mobile Robots*, IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-2, pp. 135-145, 1986.
- [47] Tachi, S, Komoriya, K, *Guide Dog Robot*, Robotics Research: The Second International Symposium, MIT press, pp. 333-340, 1985.
- [48] Kacandes, Langen, Warnecke. *A combined generalized potential field/ Dynamic path planning approach to collision avoidance for a mobile autonomous robot operating in a constrained environment*. Proceedings of the International Conference of Intelligent Autonomous Systems, Amsterdam, The Netherlands, 1989.
- [49] Lindström, M, *Intelligent styrning av robotbas*, Dept. of Production and Materials Engineering, Lund University, 1993.
- [50] Efrting, H, *Robot Control Methods and Results from User trials on the RAID Workstation*, Proceedings of the Fourth International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), pp. 137-141, Wilmington, Delaware, USA, June 1994.

