LUND UNIVERSITY

Att göra för att förstå - konstruktion för rehabilitering

Breidegard, Björn

2006

Link to publication

Citation for published version (APA):
Breidegard, B. (2006). *Att göra för att förstå - konstruktion för rehabilitering*. [Doktorsavhandling (sammanläggning), Certec - Rehabiliteringsteknik och Design]. Certec, Lund University.

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.

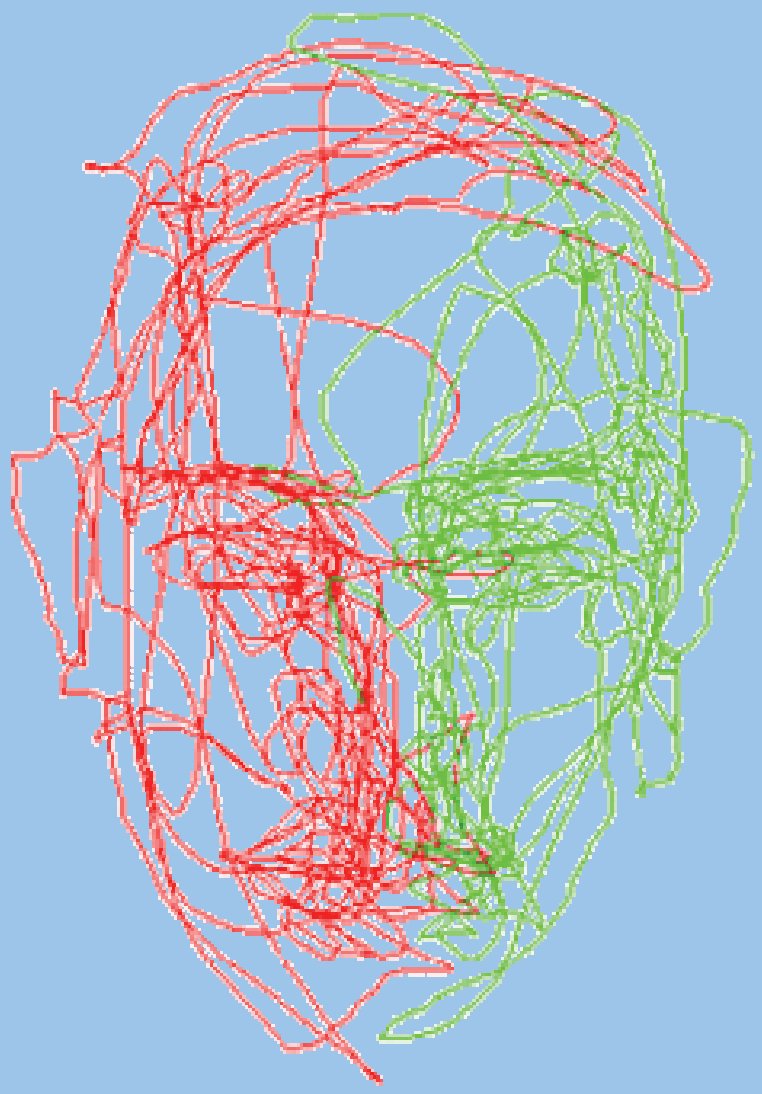
LUND UNIVERSITY

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

DOKTORSAVHANDLING CERTEC, LTH NUMMER 2:2006

Björn Breidegard

Att göra för att förstå - konstruktion för rehabilitering



Certec
Avdelningen för rehabiliteringsteknik
Lunds tekniska högskola

Summary

Based on the results of two rehabilitation engineering design projects, this thesis aims to present and analyze:

- What is required for genuine engineering knowledge and expertise to come into its own in rehabilitation engineering when the entire effort starts and ends with the person for whom it is intended.
- How the work of an engineer not only can improve the conditions for the actual doing, but can also contribute to the understanding of situations and people, their capabilities, desires and needs.

The two projects, *The Minimeter* and *Reading with Hands,* are both based on and contribute not only to rehabilitation but also to the engineering context. My thesis comprises the work of an engineer from the earliest idea stage up to the final results that are first realized when the implementations are used by other people and can be assessed by them.

The Minimeter is a communication tool for people with severe brain injuries. It enables communication, starting at the yes-no level, for people with exceedingly limited mobility and extensive cognitive difficulties. Standard hardware combined with specially designed software is used to detect even minor movements and for example to make them steer a rolling ball on a computer screen. This yes-no interface inspires the user to act and yields continuous feedback and control.

Reading with hands is a system for computer based recording and automatic tracking of finger movements when reading Braille and in tactile picture recognition. It makes it easy to analyze the process and to draw conclusions, among them pedagogical ones with implications for future tactile reading training for children or adults who are blind. For the first time it is possible to automatically follow how the fingers move over the Braille text while the person is reading (aloud or silently). The finger movements can be compared to sighted persons' eye movements while reading standard print. Comparisons can also be made between the finger exploration of a tactile face picture by a blind person and the corresponding eye movements by a sighted person.

The time-consuming intermediary step (manual measurements of finger positions – 25 per second recorded on video) is no longer necessary, which opens the door for research on reading styles, pedagogical analyses and remedial measures. Comparisons can be made between Braille reading and standard print reading of char-

Keywords

Braille, brain damage, brain injury, communication tool, design methodology, finger tracking, engineering knowledge, Minimeter, rehabilitation engineering, tactile pictures, top-down design.

acteristic data, such as the latency time between sensory decoding and the reading aloud voice.

The thesis describes how a top-down engineering methodology is considered the golden key to the resulting technical solutions, functioning on the human level. The overall intention that the final results are to be meaningful for the person in her setting served as the guiding principle, both when adding technical parts and when evaluating them. The work has been situated and the systems are individually adapted. Great portions of the individual implementations performed for one person have served as the starting technology for the next user involved. On the individual level, the learning results of a user can be objectively assessed.

This thesis includes four articles:

1. The Minimeter – modern, inexpensive communication technology for people with severe brain injuries

Björn Breidegard: "Minimetern - modern och billig teknik hjälper hjärnskadade människor att kommunicera", pp. 100-103, *Medikament*, Nr. 8 2002.

Excerpt from the article:

”The purpose of the Minimeter is to assist people with severe brain injuries to communicate by means of modern and inexpensive technology. The Minimeter has three components: an inexpensive TV camera focused on the user’s face; a modern, standard PC; and software that can easily be distributed and updated on a CD.”

“All the technological and pedagogical functionality has been implemented in specially designed software based on image processing that decodes human facial movements and assigns the movements a communicate significance for individually adapted control, including feedback.”

“The technological and pedagogical developments have been user steered. Developmental work has been iterative, coupled with ongoing user trials.”

2. Enlightened: The Art of Finger Reading

Björn Breidegard, Yvonne Eriksson, Kerstin Fellenius, Bodil Jönsson, Kenneth Holmqvist, & Sven Strömqvist, *Studia Linguistica.*

Excerpt from the article that published the breakthrough in its *linguistic* context with Björn Breidegard as the main author:

“For some forty years the eye-tracking technology has facilitated the study of eye movement patterns for sighted people during reading and other visual activities. Today – a newly developed automatic finger tracking system makes it possible to reconstruct blind people’s tactile reading in real time and to automatically analyze finger movements during Braille text reading and tactile picture recognition. In this case study, the very

first automatic finger tracking system is presented together with results indicating how Braille readers can increase awareness of their own reading styles. This opens up for future Braille education to become more evidence-based and, at the same time, for a new research field: contrastive studies of language in its auditory, visual and tactile manifestations."

3. Disclosing the Secrets of Braille Reading – Computer Aided Registration and Interactive Analysis

Björn Breidegard, Kerstin Fellenius, Bodil Jönsson, & Sven Strömqvist. *Visual Impairment Research*.

Excerpt from the article that published the breakthrough in its *blind and visually impaired* context with Björn Breidegard as the main author:

"The pilot project reported here utilized the first technology ever developed for computerized on-line registration and analysis of finger movements during Braille reading. Five congenitally blind subjects performed tactile reading of pedagogically carefully selected texts. Two specialists in visual impairments analyzed the computer registered reading activities using specially designed interaction software. The subjects themselves were interviewed and contributed to discussions about their own individual reading styles. The analyses of this first handful of subjects reveal a number of important strategies and preferences in on-line tactile reading. Further, the results challenge several assumptions and practices in Braille teaching. The pilot project lays the foundation for more comprehensive large-scale studies – both cross-sectional and longitudinal ones – studies long wanted in the domain of tactile reading."

4. Computer Based Automatic Finger and Speech Tracking

Björn Breidegard. *Behavior Research Methods.*

Excerpt from the article submitted to *Behavior Research Methods* on the technology of the finger reading project:

"Interactive software has been developed for registration (with two cameras and a microphone), MPEG-2 video compression and storage on disk or DVD as well as an Interactive Analysis Program to aid human analysis. An Automatic Finger Tracking System has been implemented which also semi-automatically tracks the reading aloud speech on the syllable level. This set of tools opens the way for large scale studies of blind people reading Braille or tactile images. It has been tested in a pilot project involving congenitally blind subjects reading texts and pictures."

Förord

Jag har en lång bakgrund som ingenjör – är för tillfället en bra bit över 50 år. Större delen av mitt liv har jag arbetat med renodlad teknik, företrädesvis datorteknik, elektronik och mekanik i olika applikationer. Jag har varit konstruktör, felsökare, reparatör, lärare, handledare, forskare och mentor.

För åtta år sedan (1998) tog jag med mig mitt omfattande ingenjörskunnande till Certec och mötte där en ny utmaning: att skapa tekniska möjligheter som kunde svara upp mot mänskliga behov, i synnerhet hos människor med riktigt stora funktionsnedsättningar.

I den här avhandlingen vill jag visa hur ett ingenjörskunnande kan komma till sin rätt, inte bara inom det rent tekniska från top-down-tänkande till detaljlösningar och slutligen till en fungerande helhet, utan också i det mänskliga samspel som behövs när den berörda människan själv ska avgöra vad som är av värde och vad som är ointressant, vad som fungerar bra och vad som ställer till problem.

Jag är ensamvarg i arbetet och föredrar att själv ha kontroll över de stora system jag skapar. För mig räcker det inte med en allmän överblick utan jag måste ha egna närkunskaper om tekniska helheter och delar och själv kunna bestämma över ordningsföljder och tidplaner. Detta är speciellt viktigt när arbete sker under hård tidspress.

Mitt stora kontaktnät av vänner och kollegor att fråga om råd har varit ovärderligt liksom mitt stora förråd av egna gamla lösningar på liknande problem. Kärninnehåll har kunnat återanvändas liksom tankar, strategier, strukturer och vanor.

Mina drivkrafter har varit nyfikenheten, själva görandet i sig och att få göra nytta, exempelvis genom att ge svårt hjärnskadade människor möjligheten att svara *Ja* eller *Nej*.

Jag har med glädje arbetat i tvärvetenskapliga forskningsprojekt. Också där har jag fått lov att vara ensam teknisk görare, och implementeringen av andras insikter i de tekniska lösningarna har varit en stor upplevelse, speciellt när alla upplevt delaktighet, förstått och kunnat använda.

När jag funderar över vilka som påverkat mig mest i denna avhandlings riktning är det min pappa som kommer allra först. Han skall därför ha ett speciellt tack. Det var han som satte mig på tekniksporet och som stöttade och uppmuntrade mig i allt, framförallt i min experimentlusta. Redan från tidig ålder försåg han mig med byggsatser, böcker, verktyg och allehanda tekniska apparater att undersöka och ”laga”.

Den största inspirationskälla som denna avhandling bygger på är svårt hjärnskadade människor (och deras anhöriga, assistenter, lärare och habiliteringspersonal) i behov av speciella kommunikationshjälpmedel och synskadade läsare i behov av punktskrift och taktila bilder. Också handikapprörelser, speciellt Hjärnkraft, och olika enheter som exempelvis Spenshults Reumatikersjukhus, DAHJM dataresurscenter i Lund och Anpassa AB i Malmö har tillfört mycket. Ett stort tack till er alla!

Stort tack också till alla mina arbetskamrater på Certec och allra störst till min handledare, professor Bodil Jönsson. Du har låtit mig agera under full frihet, på gott (för det mesta) och på ont (ibland). Dessutom har du varit så skapande delaktig i allt jag gjort.

Tack, professor Sven Strömqvist, docent Christian Balkenius och universitetslektor Kerstin Fellenius för inspiration, samarbete och hjälp, och för att ni alltid stöttat mig och oftast trott på mig.

Tack alla mina tidigare arbetskamrater på Informationsteknologi för allt vi har lärt oss tillsammans, och speciellt tack till min läromästare under tjugo år, professor Lars Philipson.

Tack, Eileen Deaner och Sofie Bogaeus för god språkgranskning på engelska respektive svenska.

Tack, Allmänna arvsfonden, FAS, KK-stiftelsen och Region Skåne för finansiellt stöd.

Lund, den 15 november 2006
Björn Breidegard

Sammanfattning

Två skilda rehabiliteringstekniska konstruktionsinsatser - *Minimetern* och *Att läsa med händerna* - utgör grunden för denna avhandling. Den omfattar ingenjörsarbetet från de allra tidigaste idéerna fram till de slutliga resultat som finns först när implementeringarna används av andra människor och kan värderas av dem.

Minimetern är en kommunikationsutrustning för människor med svåra hjärnskador. Den möjliggör kommunikation med en början på ja-nej-nivå, också vid starkt begränsad rörelseförmåga och vid omfattande kognitiva problem. Dess nyhetsvärde ligger i kombinationen att via standardhårdvara och specialkonstruerad programvara enkelt kunna fånga upp rörelser och att kognitivt inspirera till handling, ge kontroll och återkoppling genom t.ex. ett rullande klot på en bildskärm.

Att läsa med händerna är ett system för datorbaserad inspelning och automatiskt följning (eng. tracking) av fingerrörelser vid läsning av punktskrift och taktila bilder samt för analys av förloppen. Analysen leder i sin tur till slutsatser, bl.a. pedagogiska sådana för framtida lästräning med barn eller vuxna som är blinda. För första gången är det möjligt att automatiskt följa fingrarnas rörelser över punktskriftstexten medan personen läser (högt eller tyst). Det går nu också att jämföra både textläsning och bildläsning med händer respektive ögon (t.ex. att jämföra hur en bild av ett ansikte utforskas av fingrar respektive ögon). Att det inte behövs några tidsödande mellanled, såsom manuell uppmätning av fingerpositioner - 25 sådana per sekund inspelad video, öppnar för både självinsikter i den egna läsningen och för pedagogiska insikter, analyser och åtgärder. Karakteristiska data, exempelvis latenstider mellan sensorisk avkodning och högläsningsröst, kan jämföras för punktskriftsläsning respektive svartskriftsläsning (seendes bokstavsläsning).

Övergripande ingenjörsmässigt beskriver jag i avhandlingen hur top-down-metodiken gjort det möjligt för mig att skapa de stora system som de ovanstående implementeringarna utgör. Den övergripande intentionen, att slutresultatet skall vara meningsbärande för den berörda människan i hennes sammanhang, har hela tiden kunnat vara vägledande. Delar har successivt tillkommit och kunnat utvärderas utifrån denna helhet.

Arbetet har ofta varit situerat (utfört och utvecklat där huvudpersonen, den berörda människan, finns, lever och verkar) och individuellt anpassat men gett objektiva resultat på individnivå. Stora delar av den individuella implementeringen för den ena människan har kunnat fungera som utgångspunkt också för nästkommande. Avhandlingen baseras på fyra artiklar, här bifogade som appendix.

Nyckelord

Braille, finger tracking , hjärnskada, ingenjörskunnande, kommunikationshjälpmedel, konstruktionsmetodik, Minimetern , punktskrift, rehabiliteringsteknik, taktila bilder, top-down.

Innehållsförteckning

Summary **1**
Förord **5**
Sammanfattning **7**
1 Syfte **11**
2 Inledning **11**
2.1 Minimetern 11
2.2 Att läsa med händerna 15
2.3 Avhandlingens artiklar 17
3 Forskningspersoner **21**
3.1 Minimetern 21
3.2 Att läsa med händerna 24
4 Teori och metod **27**
4.1 Görande och empati 27
4.2 Med situerad teknik som språk 28
4.3 Det iterativa 29
4.4 Artefakter som förverkligade tankar 29
4.5 Teknik som frigörande pedagogik 30
4.6 Programvara är kondenserade tankar 35
4.7 Strukturerad konstruktion 35
5 Utfört arbete **45**
5.1 Minimetern 45
5.2 Att läsa med händerna 50
6 Resultat **59**
6.1 Minimeterns rullande klot 59
6.2 Fallstudier med Minimetern 62
6.3 Teknikkonceptet ”Att läsa med händerna” 66
6.4 Fallstudier inom ”Att läsa med händerna” 68
6.5 Fler ”Att läsa med händerna”-publikationer 70
7 Diskussion och slutsatser **71**
7.1 Artefakter och vetenskap 71
7.2 Teknik och rehabilitering 71
7.3 Teknik och pedagogik 72
7.4 Rehabiliteringsteknik som modell 72
7.5 En slutkontroll 73
7.6 Framtida möjligheter 73
Referenser **75**
Artikel 1: Minimetern – modern och billig teknik hjälper svårt hjärnskadade människor att kommunicera **79**
Artikel 2: Enlightened: The Art of Finger Reading **85**
Artikel 3 Disclosing the Secrets of Braille Reading – Computer Aided Registration and Interactive Analysis **93**
Artikel 4: Computer Based Automatic Finger and Speech Tracking **109**

1 Syfte

Denna avhandling syftar till att mot bakgrund av två större konstruktionsprojekt *Minimetern* och *Att läsa med händerna* presentera och analysera

- vad som krävs för att ett genuint ingenjörskunnande skall komma till sin rätt inom rehabiliteringsteknik när hela arbetet börjar och slutar hos den berörda människan.
- hur ett ingenjörsarbete inte bara kan förbättra förutsättningarna för ett görande utan också bidra till förståelsen av situationer och människor, deras förmågor, önskningar och behov.

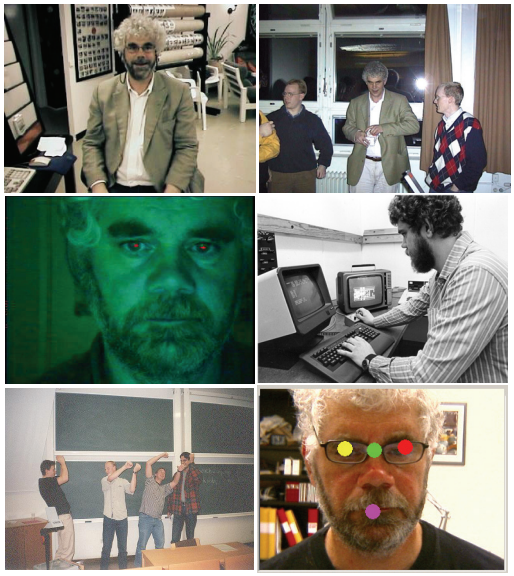
2 Inledning

Sedan treårsåldern har mitt liv varit uppfyllt av fascinationen av apparater och hur sådana fungerar. Jag har först plockat sönder apparater för att förstå hur de fungerar, sedan reparerat dem när de varit trasiga, lagt till funktioner, modifierat dem så att de fungerar ännu bättre med nya eller utökade funktioner eller konstruerat helt nya apparater från grunden. Kunskap och förståelse har hela tiden kunnat ackumuleras utifrån görandet.

Nu vill jag med denna avhandling presentera och analysera vad som krävs för att ett genuint ingenjörskunnande skall kunna komma till sin rätt, inte bara i rent tekniska sammanhang från systemnivån till de enskilda delarna och en fungerande helhet, utan också i de sammanhang då hela arbetet börjar och slutar hos den berörda människan.

Min licentiatuppsats *En datorexekverbar modell för lärande* (Breidegard, 2000) hade sina rötter i det rent tekniska, men med det uttalade syftet att studera mänskligt lärande. Modeller för mänskligt basalt lärande datorimplementerades i en höggradigt interaktiv, visuell och auditiv datorapplikation.

Arbetet därefter har stått på två ben: *Minimetern* och *Att läsa med händerna*.



Figur 1. Författaren i några av sina olika roller såsom konstruktör, felsökare, reparatör, lärare, handledare, forskare och mentor.

2.1 Minimetern

Att sakna förmågan att kommunicera är en av de svåraste funktionsnedsättningar en människa kan ha. Svårt hjärnskadade personer som inte kan prata eller uttrycka sig på annat sätt än genom t.ex. blinkningar, gapningar, huvudrörelser eller små fingerrörelser har behov av starkt individualiserade lösningar både för styrning och för återkoppling. Att få möjlighet att uttrycka sin vilja genom

Figur 2. Emma Nilsson styr datorn med sitt lillfinger.

att generera en eller två kommandosignaler t.ex. för att kunna svara *Ja* eller *Nej* är en drastisk förändring.

Jag började redan 1998 att utveckla kommunikationshjälpmedlet *Minimetern* till Emma Nilsson, se figur 2, www.certec.lth.se/minimetern och filmer på bifogad dvd-skiva. Hon hade då i allt väsentligt saknat kommunikationsmöjligheter sedan år 1990, då hon som nioåring sparkades i huvudet av en häst.

Genom åren har det sedan tillkommit cirka tio forskningspersoner som använder *Minimetern* anpassad för var och en.

2.1.1 Grundmetod

Teknik- och pedagogikutvecklingen har varit användarstyrd. Utvecklingsarbetet har skett situerat och iterativt under kontinuerlig provanvändning (Jönsson et al., 2005). Arbetet har utförts enligt följande metod:

- Att *tolka* mänskliga rörelser (t.ex. huvudvridningar)
- Att ge dessa rörelser en *kommunikativ betydelse.*
- Att låta dessa rörelser *styra* något meningsfullt för användaren, t.ex. att svara *Ja* eller *Nej*, styra ett bildspel, spela musik eller video, eller styra apparater i omgivningen.
- Att ge användaren en lämplig och individanpassad *återkoppling*, till exempel med bild och ljud för att underlätta kommunikationen och styrningen.

Tekniken utgör i sig en garanti för att det är den aktuelle användarens beteenden som faktiskt styr. Det utförda registreras automatiskt, och resultaten får därmed en annan objektivitet än vad de har när de bygger på mänskliga tolkningar eller förhoppningar från den närmaste omvärlden.

Många inom habilitering och rehabilitering har skapat metoder och strukturer av värde för kommunikation med människor med svåra hjärnskador, jämför (Beukelman, Yorkston, Reichle, 2000) och (Beukelman, Mirenda, 2005). Dessa har indirekt haft inflytande på mitt arbete, bland annat eftersom de finns med i tankegodset hos berörd habiliteringpersonal.

2.1.2 Implementering

Alla kommunikations- och styrmöjligheter är integrerade i en och samma produkt för att få en konsistent och välfungerande individualiserbar helhet. Jag bedömde det som ogörligt att integrera separata (kommersiella) program från olika områden, tillverkare och

med olika funktionalitet och utseende. I och med att jag har valt att göra allt från grunden, har jag fullständig kontroll, kan utöka funktionaliteten efter behov och snabbt reparera de fel (”buggar”) som alltid finns, såväl i hemkonstruerad som i kommersiell programvara.

De tekniska ansträngningarna har lagts på *en* specialkonstruerad programvara, utvecklad med Microsofts Visual C++ (Kruglinski, 1998) för Windowsdatorer. Programvaran utför den bildbehandling som behövs för att tolka mänskliga rörelser för styrning och återkoppling. Vidare har lämpliga styrningar och återkopplingar utformats och implementerats. Den tekniska grunden baseras på bildbehandling, mallpassning (eng. template matching) och stationärt Kalmanfilter (Brookner, 1998) samt multimediaprogrammering (Linetsky, 2001; Paesce, 2003). Se även figur 3 angående tekniska ansträngningar.

Figur 3. Jag har alltid dragits till stora tekniska utmaningar. Bilden från år 1998 visar en stillbild från en videosekvens överförd som ljud i digital form via en vanlig björntråd, se www.it.lth.se/courses/dsk/dsk98/www%5Fdocs/

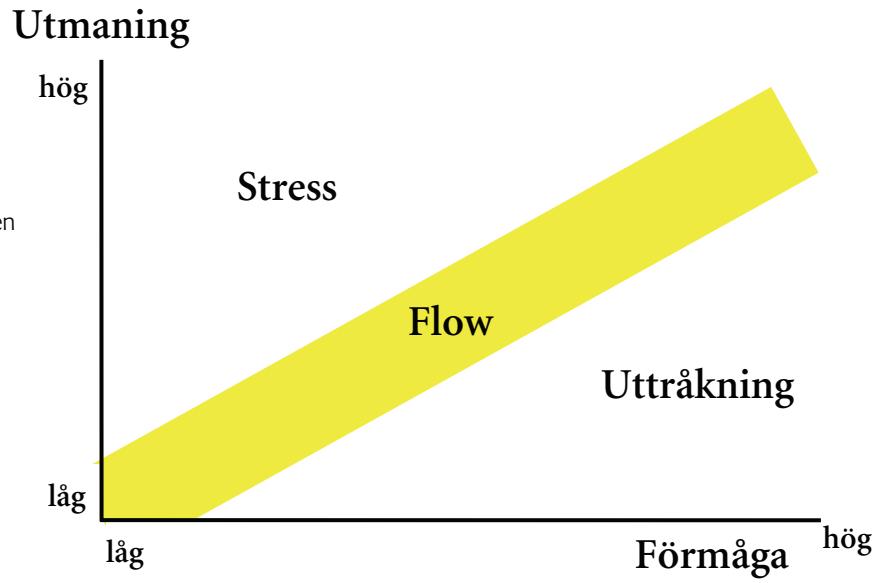
2.1.3 Det longitudinella

För hjärnskadade människor med stora funktionsnedsättningar är det orimligt att föreställa sig att forskning kan utföras genom jämförelse mellan interventionsgrupp och kontrollgrupp. I stället bör och kan var och en av forskningspersonerna ses som sin egen referens och ett longitudinellt perspektiv anläggas. Var och en är i praktiken delaktig i ett longitudinellt ”projekt”, sin egen habilitering/rehabilitering, där många och olika interventioner genom åren kommer och går. Vissa blir resultatlösa, andra ger övergående effekter medan åter andra leder till långsiktiga resultat.

Minimeterns betydelse i det enskilda fallet bör ställas i relation till vilken betydelse andra pedagogiska och/eller tekniska ansatser tidigare har haft för den berörda människan. Gör man det, blir det uppenbart att de resultat som vi uppnått inte kan förklaras främst genom uppmärksamheten och nyhetsvärdet i sig. Uppmärksamhet från många är en del av de här berörda människornas vardag, och det gör ingen större skillnad att nu ytterligare en eller två människor kommit in i den stora grupp som redan finns kring forskningspersonen. Själva *Minimeterns* nyhetsvärde i sig kan initialt ha utgjort en bidragande faktor till forskningspersonernas nyvunna uppmärksamhet och intresse, men detta kan inte förklara att intresset håller i sig, dag efter dag, vecka efter vecka, inte heller vederbörandes ökade förmåga att uttrycka sig och lära sig. Denna har nått genuint nya nivåer tack vare *Minimetern*, och utvecklingen bara fortsätter.

2.1.4 ”Flow”

Uppkomsten av ”flow” beror på att man är så starkt koncentrerad på en uppgift att man blir till ett med den, se (Csikszentmihalyi, 1991, s.74). Förutsättningarna för ”flow” beror på kombinationen



Figur 4. "Flow" kan uppträda då balansen mellan förmåga och utmaning är den rätta så att de fysiska, emotionella och mentala funktionerna smälter samman.

av *utmaning* och *förmåga*. Om utmaningen är för låg i förhållande till förmågan blir man bara uttråkad, om den däremot är för hög i förhållande till förmågan blir man i stället stressad. Det är i mellanområdet, där utmaning och förmåga balanserar varandra och där de kan växa i takt med varandra, som ”flow” kan uppkomma med ett så totalt fokus på uppgiften att de fysiska, emotionella och mentala funktionerna smälter samman (Csikszentmihalyi, 1991; Salen & Zimmermann, 2004). Jämför också (Petersson, 2006).

”Flow” är troligen inte det första man associerar till vad gäller svårt hjärnskadade människor. I omvärldens ögon kan människor med hjärnskada förefalla extremt passiva och ointresserade. Ändå vill jag föra in ”flow” som beteckning för det som inträdde vid Emmas (en av forskningspersonerna) första-upptäckt av att hon själv kunde bläddra bilder och efterhand rulla ja-nej-klotet. Ett annat exempel är Marigona (en annan forskningsperson) när hon på egen hand kunde sitta upp till en timme och koncentrerat bläddra bilder och musik, etc. Med hjälp av *Minimetern* kunde de båda tänja sig en bit utöver vad de annars skulle ha kunnat. De hamnade i en *möjlighetszon* som har stora likheter med Vygotskys ZPD, ”Zone of Proximal Development” (Vygotsky, 1978)

Figur 5. Marigona Gashi tillsammans med sin assistent Eva Strand.

Till Vygotskys ZPD kom barnet via stöd från föräldrar eller lärare, till möjlighetszonen här kommer forskningspersonerna via *Minimetern*. Analogierna är starka. Liksom Vygotsky engagerade sig i skillnaden mellan vad ett barn kunde lära på egen hand och vad det kunde lära med hjälp av en vuxen, engagerar vi oss i skillnaden mellan vad forskningspersonerna förmår och kan lära sig med och utan *Minimetern*. Både den vuxne och *Minimetern* är vad Bruno Latour kallar för *aktanter* (Latour, 1991) – de medverkar till

själva handlingen. Det är inte alltid meningsfullt att göra åtskillnad mellan stöd från människa och stöd från teknik.

Intressant att notera är att ”flow” även kan uppträda i området med låg förmåga och låg utmaning. Det gäller bara att balansen är den rätta. Marigona började med låg förmåga – att med svårighet kunna svara *Ja* eller *Nej*, och att bläddra bilder och musik. Utmaningen var anpassad till detta och låg på samma nivå. Numera har hennes förmåga att svara *Ja* eller *Nej* ökat markant, t.ex. kan hon välja att omväxlande svara med de röda och gröna tryckknapparna eller med huvudvridning. Utmaningen har också höjts, hon kan delta i samtal med flera sammanhängande ja-nej-frågor.

När det är människor som är aktanter i en svårt hjärnskadad människas närhet, kan det ibland bli svårt med växelverkan, speciellt vid riktigt svaga förmågor eller långa fördröjningar. *Minimetern* har däremot inga problem med att tillåta arbete i den berörda människans takt och på hennes villkor.

2.2 Att läsa med händerna

Blinda läsare läser med känseln och använder system för taktil skrift, huvudsakligen punktskrift (Braille), se figur 6. Taktil läsning innebär många begränsningar och strategier som gör den annorlunda än visuell läsning. Ett viktigt angreppssätt för att förstå den taktila läskonsten är att analysera hur den uppenbarar sig i realtid.

Figur 6. Stig Becker, en av forskningspersonerna, läser punktskrift.

Den ökande tillgängligheten till datorer och informationsteknologi som forskningsverktyg i slutet på 70-talet och tidigt 80-tal innebar ett genombrott för studiet av språkbeteenden i realtid. Detta har lett till ett ökat intresse för den vetenskapliga analysen av grundläggande språkfärdigheter – lyssna, tala, läsa och skriva. Denna nya forskningsgren har kraftigt bidragit till att artikulera samspelet mellan språk och kognition. Felaktiga hypoteser om läs- och skrivprocesserna har kunnat vederläggas. Forskningen om funktionshindrade människor såväl som om diagnostiska metoder för att identifiera läs- och skrivsvårigheter har vitaliserats. Inom forskningen om läsning och bildtolkning hos seende människor finns en etablerad och växande forskning baserad på ögonrörelsemätning (eng. eye tracking). I avsaknad av en motsvarande datorbaserad teknik för att studera blinda läsare, har forskningen om de temporala och spatiala egenskaperna hos taktil läsning i realtid hittills varit knapp och studiet av taktil läsning har inte kunnat integreras i det moderna psykolingvistiska och kognitiva paradigmet.

Detta har resulterat i att punktskriftsläsarna inte kunnat dra nytta av en viktig källa för kunskap om sitt eget läsande. Att studera skillnader i språk i dess auditiva, visuella och taktila manifesta-

tioner erbjuder därför ett hittills outforskat fönster mot både språk, perception och kognition.

2.2.1 Tidigare arbeten

Tidigare har inspelnings- och analysmetoder baserats på ren videoteknologi. Bertelson och Mousty konstruerade en inspelningsutrustning baserad på två videokameror, en mikrofon, en digital timer, en videokombinerare och en videobandspelare och utförde två studier (Bertelson, Mousty, & D'Alimonte, 1985; Mousty & Bertelson, 1985). Videodata kombinerades och spelades in på en videobandspelare. Syftet var att ta reda på hur läshastigheten påverkades av handanvändning (bara vänster hand, bara höger hand eller båda händerna) och typ av text. Analyserna utfördes genom att inspelningarna spelades upp för forskarna på en tv-skärm.

Susanna Millar (Millar, 1988, 1997) utförde också en (icke datorbaserad) pionjärstudie liknande Bertelson and Moustys. Millar använde transparenta läsark och filmade handrörelserna underifrån. Detta gav extremt god bildkvalitet på tv-skärmen (se likartat resultat med vår utrustning på figur 32 och 33). Läsbeteendena analyserades genom att manuellt mäta upp fingrarnas positioner på läsarket delbild för delbild (25 delbilder per sekunds läsning). Millars övergripande syfte med sin studie var: "att ta reda på mer om hur punktskriftsläsningen försiggår som ett medel för att förbättra villkoren för dess inlärning".

2.2.2 Implementering

De tekniska ansträngningarna har liksom i *Minimeter*-projektet lagts på specialkonstruerad programvara. Samma verktyg och liknande algoritmer för mjukvarukonstruktion har kommit till användning här. Stora delar av mitt C++klassbibliotek har återanvänts och ytterligare generaliserats för att tillfredsställa kraven i detta projekt. Nyvunna förbättringar har sedan förts tillbaka till det parallellt löpande *Minimeter*-projektet, förutom den för detta projekt speciella hårdvaran i form av läsbord med kameror, belysning etc.

Vårt pågående flervetenskapliga pilotprojekt är först i världen med att använda datorbaserad inspelning av fingerrörelser under taktil läsning för att sedan interaktivt eller automatiskt analysera inspelningarna. Inom detta projekt har jag utvecklat teknik och metoder för att datorbaserat videoinspela blinda människors läsning till hårddisk för att sedan kunna analysera (interaktivt och automatiskt) de väsentliga rörelsemönstren. Metoden gör det bland annat möjligt att studera fingerrörelser vid punktskriftsläsning på motsvarande sätt som man sedan länge gjort med ögonrörelser vid svartskriftsläsning (vanliga bokstäver på papper). Också taktil bildtolkning har studerats. Ett antal intressanta resultat har

```
double CBBCorrelation::Correlate(
  CBBBitmap *p_template_bitmap,
  CBBBitmap *p_image_bitmap,
  int        resolution,
  TCorrMatch corr_match,
  int        template_x,
  int        template_y,
  bool       void_pixels_flag) {
  ASSERT(corr_match==CM_Y);
  double Correlation;
  int x, y;
  int WT = p_template_bitmap->Width;
  int HT = p_template_bitmap->Height;
  int WI = p_image_bitmap->Width;
  int HI = p_image_bitmap->Height;

  for (y=0; y<HT; y+=resolution) {
    for (x=0; x<WT; x+=resolution) {
      if ((template_x+WT<=WI) &&
          (template_y+HT<=HI)) {
        pIBM->pYN[(y)*WT + x] =
          p_image_bitmap->pY[(template_y+y)*WI+
          template_x+x];
      }
    }
  }

  pIBM->Normalize(resolution,
                  p_template_bitmap,
                  void_pixels_flag);
  Correlation = pIBM->NormalizedVectorProduct(
                  p_template_bitmap,
                  resolution,
                  void_pixels_flag);
  return Correlation;
}
```

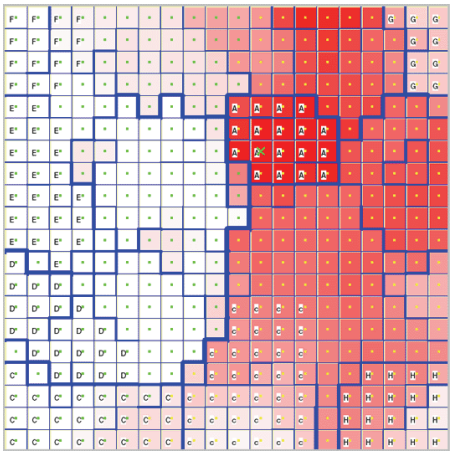
Figur 7. Ett stycke programkod i C++, gemensam för de båda projekten.

framkommit, och tack vare den automatiserade analysen kan framtida studier i större skala genomföras.

Arbetet utfördes under ett pilotprojekt med begränsade ekonomiska och tidsmässiga ramar. Grundteknik och metoder kan, efter en kvalitetshöjande iteration, användas för framtida större studier. Arbetet har varit (och är fortsatt) ett samarbete med Institutionen för lingvistik och Humanistlaboratoriet vid Lunds universitet. Se illustrativa filmer och diagram på: www.certec.lth.se/taktillasning/analys1

2.3 Avhandlingens artiklar

Den licentiatuppsats som utgjorde den första delen av mitt doktorandarbete (behandlad på licentiatseminarium) hade titeln *En datorexekverbar modell för lärande*. Den kan läsas i sin helhet på: www.certec.lth.se/dok/datorexekverbarmodell/



Figur 8. Omslagssidan på min licentiatuppsats. En SOM (Kohonens Self-Organizing Map) har självorganiserat efter tonerna i en C-durskala.

Föreliggande avhandling är baserad på fyra artiklar:

1. Minimetern - modern och billig teknik hjälper hjärnskadade människor att kommunicera
Björn Breidegard. s. 100-103, *Medikament*, Nr. 8 2002.

Utdrag ur artikeln:

”Minimeterns syfte är att med hjälp av modern och billig teknik hjälpa svårt hjärnskadade människor att kommunicera. Minimetern har tre delar: en billig tv-kamera riktad mot användarens ansikte, en modern standard-pc och programvara som enkelt distribueras och uppdateras på cd-skiva.

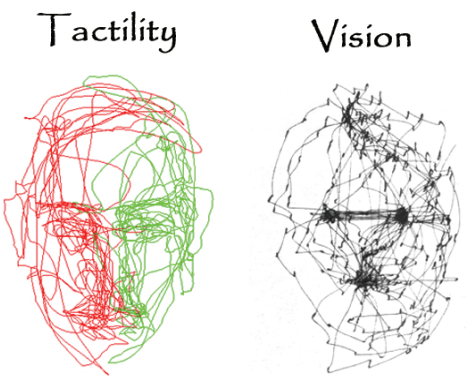
All teknisk och pedagogisk funktionalitet har implementerats i specialdesignad mjukvara baserad på bildbehandling som avkodar mänskliga ansiktsrörelser och ger rörelserna en kommunikativ betydelse för individanpassad styrning, inklusive återkoppling.

Teknik- och pedagogikutvecklingen har varit helt användarstyrd. Den individuella människan har varit drivkraften. Utvecklingsarbetet har skett iterativt med kontinuerlig provanvändning.”

En snarlik artikel mer inriktad på tekniska läsare publicerades 2002 i tidskriften *Elektronik i Norden*, d.v.s. *Minimetern* har bedömts som intressant från både medicin- och elektronikhåll.

Figur 9. Emma provar *Minimeterns* rullande klot. Genom huvudvridningar rullar hon klotet på bildskärmen till höger eller vänster. När klotet kommit till endera kanten hörs ett distinkt *Ja* eller *Nej* i datorns högtalare, och hela skärmen blir grön eller röd. På detta vis kan Emma svara *Ja* eller *Nej*.

2. Enlightened: The Art of Finger Reading
Björn Breidegard, Yvonne Eriksson, Kerstin Fellenius, Bodil Jönsson, Kenneth Holmqvist, Sven Strömqvist. *Studia Linguistica* (accepterad för publicering mars 2006, publiceras under 2007).



Figur 10. Den vänstra bilden visar hur vänster (rött) och höger (grönt) pekfinger förflyttat sig över den taktila bilden. Den högra bilden hur ögonen utforskar en bild av ett ansikte (Foto: S. Fridyland, från (Yarbus, 1967)). Både fingerrörelserna och ögonfixeringarna anhopas kring ögonen, munnen och näsan – kritiska delar för att kunna klassificera bilden som ett ansikte.

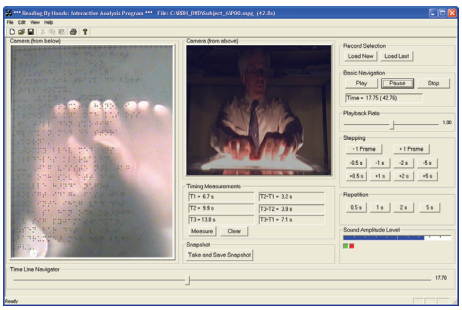
Min andel i denna artikel berör framförallt den tekniska konstruktionen från grundidéer till genomförande och då speciellt den automatiska fingerföljningen (av de båda pekfingrarna) som lade grunden för de automatiska analyserna av både punktskriftsläsande och tolkande av taktila bilder. Jag tog initiativet till de första automatiska analyserna av radläscykeln indelad i fyra faser och beräknade tidsandelar och uppskattning av lässtilar hos de fem forskningspersonerna. Jag konstruerade även olika visualiseringar och tog fram den unika bilden som visar hur en blind forskningsperson utforskar en taktil bild av ett ansikte, se figur 10, 39, 41 och omslaget.

Utdrag ur artikeln där den nya metoden presenterades i sitt *lingvistiska* sammanhang med mig som huvudförfattare:

”I cirka fyrtio år har ögonrörelsemätningstekniken möjliggjort studier av seende människors ögonrörelsemönster under läsning eller andra visuella aktiviteter. Idag finns ett nyutvecklat automatisk fingerföljningssystem (eng. automatic finger tracking system) som möjliggör rekonstruktion av blinda människors taktila läsning i realtid och automatisk analys av fingerrörelser vid läsning av punktskrift och taktila bilder. I denna fallstudie presenteras detta allra första fingerföljningssystem tillsammans med resultat som visar hur punktskriftsläsare kan öka sin medvetenhet om sina egna lässtilar. Därmed öppnar sig nya möjligheter att göra framtida punktskriftsundervisning mer baserad på faktiskt läsbeteende. Samtidigt läggs grunden för ett nytt forskningsområde: kontrastiva studier av språk som det manifesterar sig i sin auditiva, visuella och taktila form.”

3. Disclosing the Secrets of Braille Reading – Computer Aided Registration and Interactive Analysis

Björn Breidegard, Kerstin Fellenius, Bodil Jönsson, Sven Strömqvist. *Visual Impairment Research* (accepterad för publicering juni 2006, publiceras i slutet av 2006 – början av 2007).



Figur 11. Med hjälp av specialkonstruerad interaktiv programvara kunde forskarna inom punktskriftspedagogik och taktila bilder analysera datorinspelningar av blinda människors läsning av punktskrift och taktila bilder.

Min andel i denna artikel berör huvudsakligen konstruktionen av det interaktiva analysprogrammet från grundidé till färdig implementering. Detta möjliggjorde för två forskare inom punktskriftspedagogik och taktila bilder att genomföra detaljerade analyser (utforska lässtilar) och mätningar (hastighetsuppskattningar) på de tidigare gjorda inspelningarna. Forskaren inom punktskriftspedagogik och jag själv ansvarade för arrangemangen kring alla inläsningarna med forskningspersoner.

Utdrag ur artikeln där den nya metoden presenterades i *blind- och synskadesammanhang* med mig som huvudförfattare:

”I pilotprojektet som beskrivs här utnyttjades den första tekniken någonsin för datorbaserad inspelning i realtid och automatisk analys av fingerrörelser under punktskriftsläsning. Fem från födseln blinda läsare utförde taktil läsning av pedagogiskt väl valda texter. Med hjälp av speci-

alkonstruerad interaktiv programvara analyserade två forskare inom punktskriftspedagogik och taktila bilder de datorinspelade aktiviteterna. De taktila läsarna blev sedan intervjuade och bidrog själva till diskussioner om sina individuella lässtilar. Analyserna av denna första lilla grupp av taktila läsare avslöjade viktiga strategier och preferenser angående den taktila läsningen. Vidare utmanade resultaten åtskilliga antaganden och praxis inom punktskriftspedagogiken. Pilotprojektet lägger grunden för studier i större skala – både tvärsnitts- och longitudinella studier som länge varit efterlängtade inom området taktil läsning."

4. Computer Based Automatic Finger and Speech Tracking

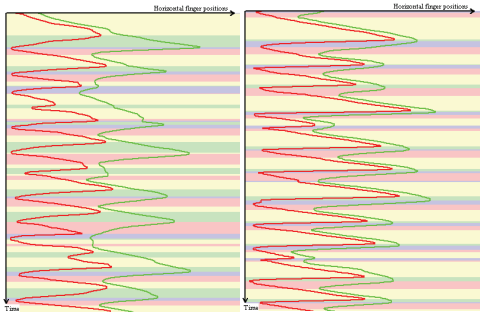
Björn Breidegard. *Behavior Research Methods* (insänd oktober 2006).

Här berörs framförallt den tekniska konstruktionen från grundidéer till genomförande, den konstruktionsmetodik jag använde, samt de visualiseringar jag skapade för genomförande, felsökning och användning av tekniken. Den automatiska fingerföljningen beskrivs och även den halvautomatiska högläsningsföljningen på stavelsenivå. Dessutom presenteras visualiseringar för att tidsrelatera högläsningen till de läsande fingrarnas positioner på läsarket.

Denna artikel har skickats till *Behavior Research Methods*, en tidskrift som publicerar det avskalat tekniska.

Utdrag ur artikeln:

"Denna artikel presenterar den allra första teknik som tagits fram för on-line inspelning och interaktiv och automatisk analys av fingerrörelser under taktil läsning (punktskrift och taktila bilder). Interaktiv programvara har utvecklats för inspelning (med två videokameror och en mikrofon), MPEG-2-videokomprimering och lagring på hårddisk eller dvd-skiva såväl som ett *interaktivt analysprogram* som underlättar mänsklig manuell analys. Ett *automatiskt fingerföljningsprogram* som även halvautomatiskt följer högläsningen på stavelsenivå har konstruerats. Denna verktygslåda gör det möjligt att genomföra en rad olika typer av studier av blinda människors punktskriftsläsning och läsning av taktila bilder – inte minst studier i större skala. Verktygslådan har testats i ett pilotprojekt med fem forskningspersoner, samtliga blinda från födseln, som läser punktskrift och taktila bilder ."



Figur 12. Bilderna visualiserar två olika lässtilar för punktskrift. Den vänstra bilden visar en läsare som läser i s.k. åtskild stil (eng. disjoint), och den högra bilden en läsare som läser i s.k. blandad (eng. mixed) stil. Det automatiska fingerföljningsprogrammet har skapat de båda bilderna.

3 Forskningspersoner

I det nedanstående presenterar jag de sex personer som deltagit mest i *Minimeter*-projektet respektive de sju personer som var de viktigaste provanvändarna i *Att läsa med händerna*-projektet. Bästa sättet att få inblick i forskningspersonernas olika situationer är att först titta på bifogad dvd-skiva (gör sig bäst på tv-skärm).

Antalet berörda personer är vad gäller *Minimetern* betydligt större än sex. Kring varje person med svår hjärnskada finns det ofta många nära aktörer (föräldrar, barn, personliga assistenter och lärare) som alla använder kommunikationsutrustningen, fyller den med innehåll (t.ex. bilder och musik) och följer upp resultaten. Därtill kommer att *Minimetern* genom åren i sina olika skepnader också provats av andra grupper, dock under kortare tid. På reumatismområdet deltog 22 personer i jämförande studier av *Minimetern* och på marknaden existerande för gruppen användbara datamusvarianter.

I båda projekten har jag arbetat i etikprövningslagens anda. Eftersom rekrytering och deltagande skett helt på frivillig basis, i åtskilliga fall enligt forskningspersonens eller dennes omgivnings egna förfrågan, har jag inte ansökt om forskningsetiskt tillstånd. Informationen har varit noggrann och följts upp med skriftligt samtycke, för *Minimetern* i samtliga fall av god man, ofta förälder. Forskningspersonerna med hjärnskada kan inte själva ge sina formella medgivanden, men reellt gör de det genom att de antingen medverkar eller inte medverkar. God man har gett tillstånd att testa och använda *Minimetern* och att använda autentiskt namn, bilder, video m.m. Man har inte sett några skäl till sekretess, däremot till dess motsats: publicitet (Fält & Jönsson, 1999). Mediauppmärksamheten har uppskattats och ansetts vara till gagn för våra forskningspersoner och spridandet av information om projektets existens så att nya forskningspersoner kan få tillgång till *Minimetern*.

3.1 Minimetern

Den första personen i detta projekt var Emma Nilsson. Hennes föräldrar tog direktkontakt med Bodil Jönsson på Certec 1998. Övriga tillkommande personer företrädesvis i Skåne men även från övriga landet har tagit kontakt med mig direkt. Information om projektet har nått fram till dem via andra föräldrar i samma situation, Certecs webb, Certecs nätbaserade kurser, ”Certec informerar”-dagar, Hjärnkraft, barnhabiliteringar, Rehabcentrum Lund-Orup (Region Skåne), dagspressen, handikapptidskrifter, radio och tv. Oftast har det varit föräldrar som tagit kontakt men även

lärare, personliga assistenter och annan vårdpersonal har varit aktiva.

FP 1: Emma Nilsson, född 1981

Figur 13. Emma Nilsson.

Emma Nilsson råkade 1990, strax före sin nioårsdag, ut för ett olycksfall med en häst. Hon skadades svårt i huvudet och har sedan dess endast med yttersta svårighet kunnat kommunicera med ett fåtal personer i omvärlden. Hon har omfattande förlamningssymtom, talar inte och är rullstolsburen.

Emma bor hemma hos sin mamma och har personliga assistenter dygnet runt. Hon kommer inom en snar framtid att flytta till eget boende. Hennes intressen är ridning, bad, djur, natur och musikprogram på tv.

Hon kan troligen viljestyrt, och med svårighet, röra sitt högra lillfinger, vänstra ögonbryn och sin högra fot. Dessa rörelser har använts som tecken för *Ja* (eller bekräftelse). Inget tecken fanns för *Nej*. Numera kan Emma (tack vare god sjukgymnastik) vrida huvudet åt höger och åt vänster. Dessa rörelser används nu som tecken för *Ja* respektive *Nej*.

Emma har i olika perioder sedan 1998 använt *Minimetern* för att välja bilder och musik och att svara *Ja* eller *Nej*. Nu pågår planering för att integrera *Minimetern* med bild-ljud-musik-video-uppspelning på storbilds-tv och ljudanläggning i hennes blivande boende.

FP 2: Anders Hansson, född 1979

Anders blev år 1995 påkörd av en bil när han cyklade. Han fick omfattande förlamningssymptom, han talar inte och är rullstolsburen. Han hör och förstår utmärkt, men hur mycket han ser och uppfattar av vad han ser är ovisst.

Han bor utanför Malmö tillsammans med sin familj och hans stora intressen är musik (hårdrock) och att titta på sport både i tv och på riktigt. Han tycker om god mat hemma såväl som på restaurang.

Anders har genom åren övat upp förmågan att trycka sin tumme mot handen vilket han gör snabbt och säkert. Med hjälp av en tryckknapp (placerad i tumgreppet) ansluten till en liten apparat som ”piper’” svarar han *Ja* och *Nej* genom ett kort ”pip” respektive två korta ”pip” i följd. Han kan även bokstavera fram ord genom att t.ex. hans assistent muntligt bokstaverar ”A, B, C, D…” och Anders väljer bokstav genom att ”pipa” med tryckknappen. Han kommunicerar på ett övertygande vis genom att svara *Ja* eller *Nej* på frågor, eller att själv bokstavera fram vad han vill, önskar eller tycker.

Anders är på aktivitetscentret Fröet i Malmö fyra dagar i veckan där han använder *Minimeterns* ”bokstaverande skrivmaskin” ett par gånger i veckan.

FP 3: Magnus Andersson-Jardby, född 1987

Magnus föddes med omfattande hjärnskador vilket är anledningen till att han har svåra förlamningssymptom, felställningar i kroppen, inte talar och är rullstolsburen.

Han bor i familjehem utanför Teckomatorp och går sista året i gymnasiet på träningsskolan Karlslundskolan i Landskrona.

Magnus tycker om att umgås, är intresserad av högläsning, musik, tv och video och även simning och ridning. Han spelar datospel med hjälp av en tryckknapp och har även en *Playstation* (en tv-spelskonsol tillverkad av Sony) som kan styras med rörelser.

Magnus kan med huvudvridningar idag svara *Ja* eller *Nej* på ett övertygande sätt med hjälp av *Minimeterns* rullande klot. Hans uppmärksamhet har ökat sedan han fick *Minimetern* och han har börjat frambringa flera olika ljud (med tonande stämband). Två av hans lärare och personliga assistent sköter träning och kommunikation med *Minimetern* i skolan två gånger i veckan.

Figur 14. Magnus provar *Minimetern* för första gången. Han utbrast i ett glädjetjut när han bläddrat fram i bildspelet till en bild av en lustig ”tant” med gult hår.

FP 4: Erika Torsténi, född 1970

Efter en bilolycka år 1994 fick Erika omfattande förlamningssymptom, hon talar inte, är rullstolsburen och har stora besvär av epilepsi. Hon ser och hör troligen normalt.

Erika bor i en servicelägenhet och har assistenthjälp dygnet runt. Erikas mamma och yngre bror finns i närheten.

Hennes intressen är snygga killar, att lyssna på radio och titta på tv (gärna Baywatch). Hon bakar gärna (hjälper till med det som hon kan) och hon tycker om när det kommer folk på besök. Hon har två katter.

Erika använder dagligen *Minimetern* för att med huvudvridningar svara *Ja* eller *Nej* och bläddra i sina personliga bild- , siffer- och musikspel. Hennes förmåga att använda *Minimetern* varierar från dag till dag. Erika förstår vad man säger och förstår troligen att hon kan svara *Ja* eller *Nej* med hjälp av sina huvudvridningar. Hon har viss rörlighet i sina armar och händer som kan användas för att styra tryckknappsfunktioner.

FP 5: Marigona Gashi, född 1993

Marigona var ett friskt barn tills hon insjuknade i kikhosta vid sexton månaders ålder. Olyckliga omständigheter med syrebrist som följd ledde till omfattande hjärnskador. Hon har omfattande förlamningssymtom, talar inte och är rullstolsburen. Fram till denna händelse var hon normalt utvecklad och med för åldern normalt ordförråd och hon kunde gå. Hon ser och hör troligen normalt.

Figur 15. Marigona är på väg att svara *Ja* med det rullande klotet.

Marigona bor med sin mamma och pappa och tre syskon utanför Ängelholm. Hon går dagligen i träningsskolan Sockerbruksskolan i Ängelholm där hennes lärare och personliga assistent sköter undervisningen.

Marigona använder *Minimetern* varje skoldag för att med rullande klotet svara *Ja* eller *Nej* och bläddra i *Minimeterns* personliga bild-, siffer- och musikspel, se figur 15. Detta gör hon övertygande och har insett att hennes svar gett henne möjlighet, mening och vinst att *påverka*, att kunna *bestämma*, att kunna *välja* och *vilja*.

Hon har börjat använda sin röst till att säga *Ja*. Hon jollrar också mycket, gärna till musik. Hon kan numera utnyttja sina armar och händer för att styra två talande stora tryckknappar, en för *Ja* och en för *Nej*. Hon har tryckknapparna med sig i olika sammanhang, och hon kan idag delta i samtal genom en följd av ja-nej-svar.

FP 6: Carola Karlsson, född 1971

Carola skadades i augusti 2003 svårt i en bilolycka. Hon fick svåra förlamningssymtom, talar inte och är rullstolsburen.

Hon bor utanför Växjö med sin familj som förutom maken också består av två söner i elva-tolv-årsåldern. Hon har personlig assistans dygnet runt.

Carola tycker om att titta på tv, är engagerad i kyrkan, uppskattar musik, och hon tycker om att se pojkarna spela fotboll.

Hennes syn och hörsel bedöms som bra. Carola har en kramfunktion i handen som hon ett tag med hjälp av en elektrisk tryckknapp använde för att bläddra bland bilder i datorn med. Hon har sedan dess utvecklat förmågan att vrida huvudet och har nyligen fått en egen *Minimeter*-utrustning.

Med *Minimetern* svarar hon, om än med svårighet, *Ja* eller *Nej* på ett trovärdigt sätt och bläddrar bland bilder och musik. Maken, de båda barnen och fem personliga assistenter utbildades i att sköta utrustningen, och Carola använder *Minimetern* dagligen för att kommunicera.

3.2 Att läsa med händerna

Det finns cirka 1500 människor i Sverige som läser punktskrift (enligt uppgift från Synskadades Riksförbund, se: www.srfriks.org/tillganglig/punktskrift.htm). Forskningspersonerna i detta projekt har rekryterats med hjälp av Punktskriftsnämnden, syncentraler och forskare inom punktskriftspedagogik. Alla deltar frivilligt och efter informerat samtycke.

FP 1: kvinna, född 1938

- Synförmåga: blind från födseln
- Läsutbildning: punktskrift på Tomtebodaskolan (specialskola för synskadade)
- Utbildning: gymnasium
- Sysselsättning: sekreterare, håller punktskriftskurser (pensionerad)
- Hänthet: höger
- Bästa läshand: läser enbart med höger hand
- Lässtil: enhänt

FP 2: kvinna, född 1952

- Synförmåga: blind från födseln
- Läsutbildning: punktskrift på Tomtebodaskolan
- Utbildning: gymnasium
- Sysselsättning: verksamhetsledare
- Hänthet: höger
- Bästa läshand: jämbördig , lite övervikt för höger
- Lässtil: åtskild (eng. disjoint). Händerna läser *åtskilt*, företrädesvis läser vänster hand vänstra halvan av läsarket och höger hand den högra halvan.

FP 3: kvinna, född 1962

- Synförmåga: blind från födseln
- Läsutbildning: punktskrift på Tomtebodaskolan
- Utbildning: gymnasium
- Sysselsättning: punktskriftsbiblioteksassistent.
- Hänthet: höger
- Bästa läshand: höger
- Lässtil: blandad (eng. mixed). Händerna läser *förenat* (intill varandra) under en stor del av textraden.

FP 4: Stig Becker, född 1946

- Synförmåga: blind från födseln
- Läsutbildning: punktskrift på Tomtebodaskolan
- Utbildning: ryska, statskunskap, statistik, numerisk analys och automatisk databehandling
- Sysselsättning: avdelningschef
- Hänthet: tvåhänt (ambidexter)
- Bästa läshand: vänster
- Lässtil: blandad

FP 5: man, född 1976

- Synförmåga: blind från födseln
- Läsutbildning: punktskrift i grundskola på hemorten (ordinarie klasslärare)
- Utbildning: fil. kand., magisterexamen i statskunskap, högskolestuderande
- Sysselsättning: studerande
- Hänthet: höger
- Bästa läshand: vänster
- Lässtil: blandad

FP 6: man, född 1979

- Synförmåga: synrester, har tidigare kunna läsa uppförstorad svartskrift
- Läsutbildning: punktskrift och svartskrift i grundskola på hemorten (ordinarie klasslärare)
- Utbildning: religionshistoria, religionsvetenskap, statskunskap, journaliststuderande
- Sysselsättning: studerande
- Hänthet: höger
- Bästa läshand: höger
- Lässtil: höger pekfinger läser större delen av texten (vänster pekfinger används för navigering och läser de två, tre första tecknen på varje rad).

FP 7: man, född 1979

- Synförmåga: synrester, har möjlighet att läsa uppförstorad svartskrift.
- Läsutbildning: punktskrift i grundskola på hemorten (ordinarie klasslärare)
- Utbildning: gymnasium, folkhögskola
- Arbete: datatekniker (utprovar synanpassningshjälpmedel)
- Hänthet: höger
- Bästa läshand: höger
- Lässtil: blandad (men höger pekfinger utför merparten av läsandet)

4 Teori och metod

Denna avhandling bygger teoretiskt och metodiskt på inflytanden från tre olika håll:

1. Kommunikation med svårt hjärnskadade människor
2. Lingvistiska och pedagogiska strukturer
3. Teknikteorier och metoder

De två förstnämnda punkterna behandlas i avhandlingens inledning och i dess artiklar. I detta kapitel uppehåller jag mig enbart vid teorier och metoder för teknikkonstruktion.

I boken *Människonära design* (Jönsson et al., 2005), där jag är medförfattare, redovisas Certecs teoretiska och metodiska grunder. Ur boken har jag hämtat ett antal punkter som har relevans för mitt arbete. Jag exemplifierar dem och utvidgar dem nedan.

4.1 Görande och empati

Inom rehabiliteringstekniken ligger sällan prioriteringar eller avståndstaganden i öppen dager från början. Att ”bara” göra en kravspecifikation är inte så bara – om en sådan över huvud taget kan göras är det allra svåraste därmed gjort.

Vad gäller *Mimimetern* och *Att läsa med händerna* hade intervjuer och enkäter gett ytterligt begränsad vägledning till hur dessa skulle ha konstruerats. Det var i stället själva *görandet*, handlingarna, och det konkreta samspelet i själva situationerna som behövdes för lösningarnas validitet, d.v.s. för att de skulle kunna lösa det de var avsedda att lösa. Somligt kan över huvud taget inte uttryckas i ord utan bara i handlingar (Vygotsky, 1930). Se också Peter Bruséns *Livet en gång till* (Brusén, 2005) med många och tankeväckande exempel, stora och små. Hans barn kunde inte förstå hur svårt skadad han var förrän han faktiskt fanns på plats hemma – det var då proportionerna kom. Han naglar fast hur *en förståelse byggd på empati kräver handling*. I det lilla kan det handla om att göra något åt de där antennsladdarna som hänger ner framför skåp i sjukrum. I det större kan det handla om att ibland ifrågasätta vad som är professionellt, också inom exempelvis handikappbyråkrati och handläggning. Johan Cullberg gör ett klockrent tillslag i sitt företal till Peter Bruséns bok när han skriver: ”Den nödvändiga reflekterande empatin kan bytas mot en skyddsmur av sval objektivitet som ofta förväxlas med professionalism”.

Figur 16. Emma Nilsson och författaren vid Minimetern. Emma har svarat *Ja* med det rullande klotet.

Jag själv har inte velat vara professionell med en skyddsmur runt mig utan i stället eftersträvat att leva upp till att vara en *människa* som är forskare inom rehabiliteringsteknik. Det är troligen tack vara denna ståndpunkt som jag åtminstone till vissa delar

lyckats hjälpa ett fåtal svårt hjärnskadade människor att kommunicera via mitt *Minimetern*-koncept. Teknikkunnandet har hela tiden funnits där som en solid, självklar och alltid tillgänglig bakgrund, och tack vare detta kunnande har idéer för att skapa användbar teknik eller att få den att fungera i praktiken aldrig varit något problem. Jag har helt kunnat koncentrera mig på den aktuella forskningspersonens förmågor och troliga behov. För att steg för steg komma fram till dessa har jag samrått med föräldrar, personliga assistenter, lärare m.fl. och använt mig av min empatiska förmåga i största möjliga utsträckning.

4.2 Med situerad teknik som språk

Det är bra, ofta bäst, om relevant information kan fångas situerat, där de berörda människorna finns (Dourish, 2001; Hutchins, 1996). För att kunna börja hos människan – i hennes behov, önskningar och drömmar – och sluta hos människan – med något hjälpmedel som funktionsförstärkare – kan man ha nytta av teknik på vägen. Teknik kan fungera som ”cultural probes”, kulturella sonder eller rentav som ett språk. Den kan användas både för att fråga med och svara med (Jönsson, 1997a). Fantasifulla tidiga småsaker att prova (”är det något sådant här du menar?”) kan visa om man är på rätt spår. Konstruktionen av tekniska lösningar innefattar i praktiken en tolkning av de bakomliggande problemen och gör det på ett språk som bygger på teknikens egna uttrycksmedel.

Det gäller inte bara att *vara där*, att vara *situerad*, utan också att fånga skeendena i sitt sammanhang, inte omedelbart abstrahera och intellektualisera (Mandre, 1999, 2002). Frågan är inte egentligen ”hur *är* det?” utan ”vad skall vi *göra* för att kunna få syn på…?” Genom att agera kan man på ett tidigt stadium hitta många av de faktorer som man annars kunde ha missat (Suchman, 1991). Tekniken själv kan fungera som en katalysator och tvinga fram reflexion, svara på existerande frågor men samtidigt skapa nya (Jönsson, 1997a).

Figur 17. Stig Becker läser punktskrift vid läsbordet. Till vänster författaren och i mitten forskaren inom punktskriftspedagogik Kerstin Fellenius.

I de båda projekten *Minimetern* och *Att läsa med händerna* uppstod många frågor och insikter ”i stunden” - när det utfördes, när det provades något nytt, när det spontant uppstod kommunikation, se figur 17. Detta skedde när vi alla var där: på samma plats och vid samma tillfälle. När det gällde *Minimetern* var min och forskningspersonens samtidiga närvaro oundgänglig. Utan att *vara där* och *direkt få återkoppling* hade utvecklingen av *Minimeter*-konceptet steg för steg i den rätta riktningen varit omöjlig. *Minimetern* har inte tillkommit via någon renodlad kravspecifikation gjord av de tilltänkta användarna. Den har inte heller tillkommit som en ”teknikpryl” utvecklad av mig i en isolerad miljö och sedan

ändrad efter instruktioner av anhöriga och personal kring forskningspersonen.

Minimetern handlar till stor del om pedagogikkonstruktion understödd av den oundgängliga tekniken. En treenighet bestående av mig (konstruktören), användaren (i sin vanliga vardag) och datorn (här som kommunikationshjälpmedel) möjliggjorde en meningsfull steg-för-steg-utveckling.

4.3 Det iterativa

Donald Schön var den som med sin bok *The reflective practitioner* (Schön, 1983) synliggjorde utveckling genom görandet: göra och reflektera, göra och reflektera, om och om igen. Genom reflexionen kan man inom rehabiliteringsteknik och teknikkonstruktion få veta mycket om en människa. Det framgångsrika görandet förutsätter det öppna reflekterandet – och vice versa.

Konstruerandet – skapandet – kan leda till att det kommer fram en mängd *olika* specialprodukter för olika ändamål för en och samma grupp människor. Jag har valt att utgå från *en* väl integrerad och sammanhållen produkt som baseras på byggblock som var för sig kan modifieras till en fungerande helhet för människor med olika förmågor och olika intressen. Genom iterativ förbättring (testa - få återkoppling - ändra) har funktionaliteten successivt förbättrats. Nya forskningspersoner har medverkat till att fler iterativa förbättringar kunnat göras. Generaliseringseffekter kan vara starka: det är inte ovanligt att det som visar sig passa för *en* människa kan vara användvärt också för flera efter smärre modifieringar.

Iterationer har också förekommit över projektgränser. Programvarudelar konstruerade för *Minimetern* har kunnat återanvändas i *Att läsa med händerna* där den förbättrats och generaliserats för att sedan åter föras tillbaka till *Minimetern* etc.

4.4 Artefakter som förverkligade tankar

Artefakter gör tankar (eller brist på tankar) både synliga och robusta. Detta kan ha ett speciellt värde för människor med funktionsnedsättningar, eftersom artefakter kan fungera som frigörande pedagogik. Konkreta ansatser kan i tidiga stadier av en konstruktionsprocess fungera utmärkt som en bakgrund mot vilken man kan bli tydlig och tänka nytt (”Det var inte *så* jag menade, jag vill ha något mer…!”). Bruno Latour gör ingen distinkt åtskillnad mellan människan och hennes teknologi – han kallar bådadera för *aktanter* och fokuserar framför allt på växelspelet mellan aktanter (Latour, 1991). I mina båda projekt har aktanterna varit forskningspersonen, den sammanknytande tekniken (kommunika-

tionshjälpmedlet *Minimetern* eller *Att läsa med händernas* läsbord tillsammans med datorn och dess programvaror) samt konstruktören och andra involverade personer.

Givet är också att teknik inte kan introduceras i någon subkultur om den inte redan från början är åtminstone något så när accepterad. Den behöver inte vara i samklang med kulturen men den måste vara tolererad (Castells, 2000). Vad gäller *Minimetern* var detta framförallt till en början ett problem. *Minimetern* kräver ”allmän” datorvana, vilket inte alltid varit fallet hos de speciallärare och arbetsterapeuter som har haft kommunikationsansvaret i skolor eller dagverksamheter. Ett personalbyte inom samma yrkeskategori kunde få förödande verkningar på användningen av *Minimetern*.

4.5 Teknik som frigörande pedagogik

I samband med Isaac-projektet utvecklades tio utsagor (Jönsson, Philipson, & Svensk, 1998). De är generellt viktiga och jag återger dem här med mina egna kommentarer och tillämpningar:

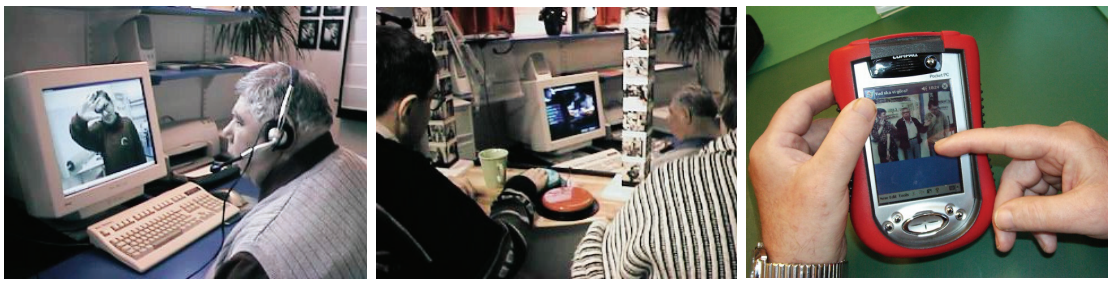
1. *Man kan inte förlita sig på att behov formuleras av sig själv bara för att de finns. Teknik kan vara ett mycket bra sätt, ibland det enda, att genom en lösning visa att problemet finns och vilket det är.*
   För flertalet av *Minimeter*-användarna visste man från början så lite, och det man visste, det visste man inte med säkerhet. När det gäller en människa som är berövad möjligheten att kunna svara *Ja* eller *Nej* är det mycket svårt att få veta saker om henne. Ser hon, hur bra ser hon, ser hon färger, behöver hon glasögon, hur vet man att glasögonen är rätt? Förstår hon det talade språket? Hur mycket av de kognitiva förmågorna finns kvar? Hur mår hon? Har hon ont? Önskar hon något? Frågelistan kan göras mycket lång, och ofta får hennes närmaste omgivning gissa sig till svaren genom eventuella ansiktsuttryck eller rörelser hos t.ex. ögonbryn, fingrar eller fötter.
   Minimetern har sedan sitt första utförande (som Emma Nilsson styrde med sitt lillfinger) kunnat ge svar på många av dessa frågor. Emma kunde ju tända lampan på uppmaning, så visst hörde och förstod hon vad som sades. Hon tittade koncentrerat på personnära bilder, vissa endast kort tid och vissa längre tid. Detta mönster upprepade sig dag efter dag. Så visst såg och upplevde Emma bilder. Magnus utbrast i ett glädjetjut när han bläddrat fram till en bild av en ”tant” med gult hår, så visst såg han, upplevde och kunde visa glädje. Marigona, som kommit längst i

sin *Minimeter*-användning, kan idag med sina säkra *Ja* och *Nej* i flera steg uttrycka sin vilja och sina önskningar.

2. *Man kan inte veta förrän man provat.*
   När jag bestämt mig för att konstruera den första *Minimetern* som Emma skulle styra med sitt lillfinger var den stora frågan: vad skulle hända när Emma rörde sitt lillfinger? Att det skulle ske med ljud (från datorns högtalare) och bild (på datorns stora och ljusstarka bildskärm) var bestämt. Några ja-nej-styrningar konstruerades, t.ex. nedåtrörelse av lillfingret gav ett stort grönt Ja över skärmen, och en distinkt kvinnoröst sade *Ja* i högtalaren, och på motsvarande sätt gav en uppåtrörelse ett *Nej*. Möjligheter fanns att räkna: ett, två, tre, att summera, att bokstavera till E som i Emma eller att bläddra bland inskannade bilder från fotoalbumet. Och naturligtvis att tända lampan med en lillfingerrörelse.
   Det gick enkelt och snabbt att implementera alla dessa styrningar, det var bara att programmera datorn. När Emma sedan fick prova alla styrningarna fick vi reda på mycket – vi fick återkoppling: hon kunde tända lampan på uppmaning, hon kunde räkna och troligtvis summera. Bokstaveringen gav inget resultat och tyvärr behärskade Emma inte ja-nej-styrningarna. Den största reaktionen kom när Emma fick titta på bilder av släktingar och vänner. Hon kunde själv med sin lillfingerrörelse bläddra framåt bland bilderna. Emmas blick var koncentrerad inom bildskärmen, hon såg glad ut och visst log hon emellanåt, också med ögonen. Emma blev starkt känslomässigt påverkad av bildspelet.
   Detta hade inte kunnat förutses – vi kunde inte veta förrän vi hade provat. Beslutet togs sedan att till en början helt satsa på bildkommunikation. Det senare framtagna rullande klotet för ja-nej-styrning genom huvudvridningar blev en oväntad succé – vilket ju också var omöjligt att veta på förhand.

3. *Forskaren är ofta så styrd av sina inre bilder, att slutresultatet blir förbluffande likt den inre ursprungsbilden. Man bör därför försöka göra sin inre bild synlig så tidigt som möjligt, t.ex. i form av en mock-up, så att också andra kan se den och kritisera den så tidigt som möjligt.*
   Mock-up-modellen var i *Minimeter*-projektet helt virtuell. Jag och Bodil Jönsson satt och samtalade och böjde under samtalets gång omväxlande våra högra lillfingrar och uppfann på cirka fem minuter gemensamt styrningarna. Några

dagar senare var de alla implementerade i datorn, vi kunde nu prova dem själva på riktigt, och en del förbättringar gjordes.
Det rullande klotet som senare kom att användas som ja-nej-styrning med hjälp av huvudvridningar hade en annan förhistoria. Det uppenbarade sig bara som en mock-up ”framför” mina egna ögon en kväll. Nästa dag var den nya styrningen implementerad i datorn.



Figur 18. Under hela min tid på Certec har jag också haft mycket kontakt med den dagliga verksamheten Tryckolera i Lund. *Minimetern* byggdes ut med taligenkänning så att Thomas på Tryckolera kunde titta på bilder genom att i mikrofonen säga namnet på den person han ville titta på, i detta fallet Stig. Med hjälp av de stora röda och gröna tallrikstryckknapparna kunde Stig navigera runt i sin bilddatabas. Medan jag hjälpt till med att göra Isaac (www.certec.lth.se/isaac) mobil, se högra delbilden, har de lärt mig mycket om hur kognitiva svårigheter kan bemästras med hjälp av teknik.

4. *Går en idé från en forskarens high-tech-miljö till en produkt i användarens no-tech-miljö (utan att ens passera en low-tech-miljö) och hittar sin plats där, kan det hända nästan vad som helst. Men det kräver sin datorvaktmästare och sitt idéplank. Hela tiden.*
   Bland dagens unga är datorn fullständigt accepterad som ett naturligt arbetsredskap, t.ex. är de personliga assistenterna (ofta unga flickor) ofta de bäst lämpade att sköta kommunikationen med *Minimetern*. De är orädda inför tekniken och duktiga datoranvändare. De är kreativa och utmanande och vågar anpassa *Minimeterns* bild/ljud/musik-innehåll till forskningspersonens intressen.
   Även på den dagliga verksamheten Tryckolera har teknik-satsningar kunnat ge oväntade och positiva resultat, se figur 18.

5. *Om lösningen medverkar till användarens "empowerment", kan den bli använd och ett mäktigt förändringsverktyg. Om inte, blir insatsen i det närmaste resultatlös.*
   Marigona lärde sig att med hjälp av *Minimeterns* rullande klot svara *Ja* eller *Nej*. Hennes svar var fullt rimliga. Hon har insett att hennes svar gett henne möjlighet att *påverka*, att kunna *bestämma*, att kunna *välja* och *vilja*. Hon kan nu delta i samtal genom en sekvens av ja-nej-svar. Hon har efter detta börjat använda sin röst till att säga *Ja*. Hon kan numera utnyttja sina armar för att styra två talande stora tryckknappar, en för *Ja* och en för *Nej* – troligen för att hon insett meningen och vinsterna med att kunna svara *Ja* eller *Nej*.

6. *Teknikutvecklingen går alltid mycket snabbare än man kan föreställa sig. Och så blir den en helt annan!*
   Den snabba teknikutvecklingen har gagnat båda projekten. Datorerna blir fortfarande snabbare och kraftfullare för varje år vilket möjliggör att implementera bättre algoritmer för följning och styrning och gör det enklare att implementera multimediaapplikationer. Videokameratekniken har blivit ännu billigare och mer lättanvänd tillsammans med dator. De bärbara datorerna är idag så kraftfulla och med så högupplösta bildskärmar att de ersätter de stationära, vilket ju ökar mobiliteten för användarna genom att utrustningen är så lätt att ta med sig. Teknikutvecklingen har också banat vägen för en framtida portabel inspelningsutrustning till *Att läsa med händerna*-projektet.

7. *Empowerment och initiativförmåga hänger nära samman. De digitala bilderna och deras mångfald visar sig dra igång något tidigare oåtkomligt i användarnas inre.*
   Det som skett med speciellt en av *Minimeter*-användarna, Marigona, kan exemplifiera detta. Jag citerar ur Resultatkapitlet: hon bläddrar säkert i *Minimeterns* personliga bild-, siffer- och musikspel. Hon har insett att hennes svar gett henne möjlighet, mening och vinst att *påverka*, att kunna *bestämma*, att kunna *välja* och *vilja*.
   Hon har även börjat använda sin röst till att säga *Ja*. Hon kan nu också utnyttja sina armar för att styra två talande stora tryckknappar, en för *Ja* och en för *Nej* – hon kan välja att omväxlande svara med de röda och gröna tryckknapparna eller svara med huvudvridning.

8. *Språket i en alternativ kommunikation skall helst vara verksamt och gå att hitta också utanför den egna specifika miljön.*
   Minimetern, som är själva basen i denna alternativa kommunikation, finns visserligen inte tillgänglig per automatik i den yttre miljön. Men den går att ta med sig och den är tillräckligt tydlig och lättinstruerad för att kunna finnas med först och främst i skolan och hemma, senare kanske också i andra sammanhang.

9. *Bildens betydelse bakåt i användarens liv kan inte nog betonas.*
   Emma har visat detta genom sitt tydliga intresse för bilder från familjefotoalbumet och sin bilddagbok. Detta är inget som skiljer henne från oss andra utan tvärtom något som förenar. I vanlig mänsklig kommunikation refererar vi under merparten av tiden till det förflutna: vad vi tänkte, vad vi gjorde, etc. Det omvända gäller i många omsorgssammanhang: det är det kommande, inte det förflutna, som dominerar samtalet: den kommande utflykten, den kommande maten, etc. Men rimligen behöver människor med hjärnskada minst lika starkt stöd som vi andra i att ständigt bygga upp och bygga om sin identitet utifrån det som *har* varit. *Minimetern* ger möjlighet till detta – bilder från tidig barndom lika väl som från i förmiddags ger möjlighet att peka och på så sätt samtala.

10. *Ett hjälpmedel (i detta fall de digitala bilderna) kan få en djupgående effekt på användarna. Kanske som ett pedagogiskt hjälpmedel som man efterhand klarar sig utan, kanske som ett kompensatoriskt som man behöver hela tiden. Det blir då viktigt att samma teknik finns med överallt, hemma och under semestrar och lov lika väl som på arbetet.*
    Att bilder verkligen kan påverka visade en tidigare *Minimeter*-användare M.M. Han kunde med stor svårighet och under kort tid svara *Ja* eller *Nej* med det rullande klotet. Vi gav upp kommunikationsförsöken och lät istället hans huvudstyrningar bläddra fram bilder av ”vackra sångarflickor” eller att bläddra fram olika Michael Jackson-låtar. Nu visade han betydligt större intresse och koncentration. Och både Emma, Magnus och Marigona har blivit påverkade av bildanvändning. Vad gäller Marigona kan ett framtida kommunikationshjälpmedel för henne baseras på en bildhierarki där hon successivt väljer sig fram genom t.ex. sina huvudvridningar (alternativt ett antal tryckknappar hon manövrerar med sina händer/armar).

4.6 Programvara är kondenserade tankar

Programvarukonstruktionens första funktion är att den tvingar systemskaparen och alla berörda att synliggöra sina tankemönster. Detta inbjuder till konkreta pedagogiska samtal på ett tidigare oanat sätt och man får tillgång till varandras *sammanhangsföreställningar.* Det var bara genom de tidiga ansatserna som Emma Nilsson, hennes anhöriga och/eller personal och jag *tillsammans* kunde prova oss fram till något användvärt. Alla våra gemensamma sammanhangsföreställningar byggdes in (våra tankar kondenserades) i *Minimeterns* programvara.

På samma sätt skedde i *Att läsa med händerna*-projektet en så konkret samverkan mellan blinda forskningspersoner, språkvetare, pedagoger, kognitionsvetare och mig som aldrig hade varit möjlig utan tekniken som aktant. Tekniken med sina inbyggda analysmetoder drog fram tankar och idéer som tidigare inte alltid varit medvetna och garanterat inte kommunicerade.

4.7 Strukturerad konstruktion

Här lämnar jag anknytningen till *Människonära design* och utvecklar den top-down-metodik jag använder i mitt arbete och även i övriga livet och som bl.a. lett till en uppenbar likhet mellan de båda arbeten som redovisas i denna avhandling. Parallelliteten mellan såväl användarinflytandet som de resulterande tekniska lösningarna har varit påfallande.

Ett effektivt görande gagnas av en konsekvent och uttalad konstruktionsmetodik. Top-down-metodiken med sitt hierarkiska tänkande och utgående från helheten ger struktur, överskådlighet och gör komplexiteten i stora system hanterbar samtidigt som den erbjuder ett bra underlag för dokumentation.

Jag innefattar både tekniska och mänskliga aspekter och deras samverkan i min konstruktionsmetodik och försöker vara strukturerad och konsekvent hela vägen från interaktionen med forskningspersoner och deras omgivning ned till detaljer såsom satskonstruktioner i programspråket C++. Därmed minimeras riskerna för missuppfattningar och oväntade händelser och överenskomna och utförda saker blir tydligare och lättare att komma ihåg.

4.7.1 Allmän teknikkonstruktion

I det rena tekniska sammanhanget handlar det mycket om artefakter (saker i den fysiska verkligheten) i ett sammanhang av arte-

fakter. Människan och det mänskliga stör och försvårar inte här – även om tekniken ändå ofta kommer att beröra människan.

Top-down-metodiken ger ett strukturerat angreppssätt att planera och förstå problemet och den blivande lösningen. Konstruktionsrymden utforskas genom intelligenta gissningar baserade på tidigare erfarenheter av (snar)lika problem. Ett fungerande system kan implementeras på ett tidigt stadium även om många delar endast innehåller minimal funktionalitet. Flera lösningsförslag kan på detta sätt provköras. Även enkla beteendesimulatorer kan skrivas för att förstå uppgiften, för att kunna formulera om problemet, för att se andra lösningsrymder och för att förstå de först funna enkla lösningsförslagen. Det man tror på och väljer ut förfinas sedan successivt tills alla funktions- och prestandakrav är uppfyllda.

Då denna typ av teknikkonstruktion kan ske utan att människan är en del av systemet har man stora friheter. Systemet kan startas om från samma kända begynnelsetillstånd flera gånger. Hårdvarudelar är ersättningsbara och ibland kan man chansa på att någon del skall hålla. Går den sönder gör det ingenting, man köper en ”starkare” som ersättning.

4.7.2 Teknikkonstruktion för människor

Mycket av det ovanstående gäller även vid konstruktion av teknik som direkt berör eller berörs av människor. Då handlar det om människan *och* tekniken – artefakter tillsammans med människor och i mänskliga sammanhang vilket ställer andra krav på konstruktionsprocessen – *människan är nu en del av systemet.* Många utmaningar med nya svårigheter och restriktioner tillkommer.

Certecs forsknings och arbetsmetoder handlar om människa, teknik, pedagogik och artefaktkonstruktion i ett funktionshinderperspektiv. Vi arbetar strikt *situerat* (utgående från den berördes perspektiv och arbetet bedrivs i dennes livssituation) och utgår från det upplevda funktionshindret. Inom rehabiliteringstekniken utgår man tydligare från mänskliga behov, önskningar och drömmar (ännu tydligare än vad gäller ren teknik generellt) och det viktigaste prestandamåttet här är användarens och omgivningens upplevda nöje och nytta. Tekniken skall bara finnas – och fungera. Inom rehabiliteringstekniken anpassas tekniken till människan och inte tvärtom, det skulle inte fungera alls här. Att människan måste anpassas till tekniken förekommer understundom och förorsakar onödigt lidande och frustration även om dåligt konstruerad teknik kan fungera för ickefunktionshindrade människor.

Människan är ofta oförutsägbar, reagerar inte förutbestämt som man förutsatt, och gör inte heller som konstruktören tänkt sig att hon ska göra. Ofta kan man inte veta förrän man provat. I mänskliga sammanhang, särskilt när det gäller handikappade människor, och i synnerhet svårt hjärnskadade människor (som

inte kan tala och därmed svara på frågor) är det svårt att på förhand förutse hur tekniken skall göras och fungera ihop med människan. Man vet ofta så lite om dessa människor: deras intressen och förmågor. Det är svårt, intill omöjligt, att skriva en kravspecifikation. Det enda som fungerar är ”intelligenta gissningar” (bredsåning) och *situerad teknikkonstruktion* (tekniken specificeras, byggs, testas och itereras i växelverkan med den aktuelle användaren).

För att hitta en inkörsport här, t.ex. för att konstruera ett kommunikationshjälpmedel, måste man alltså bredså: spekulera, gissa intelligent (den styrda slumpen) och framkoppla. Empati och tidigare erfarenhet är viktiga för att kunna göra så intelligenta gissningar som möjligt. Detta är en trial-and-error-metodik. Man testar, man observerar och drar slutsatser – och man får återkoppling. Sedan bedömer man resultaten, förkastar vissa, medan vissa är värda att satsa vidare på. Man modifierar dessa ansatser, testar och observerar igen i ett iterativt förbättringsförfarande.

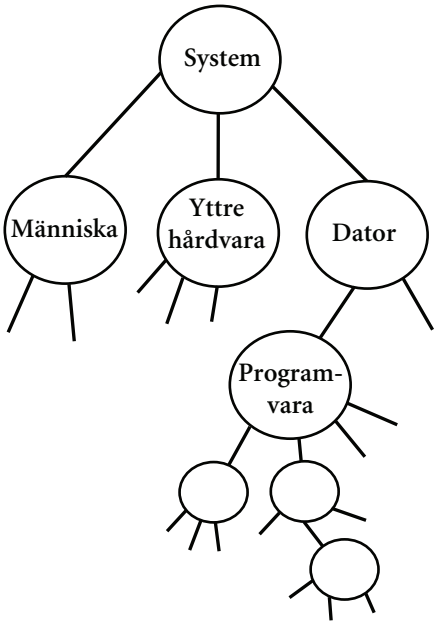
Top-down-metodiken fungerar också här med en första uppdelning: ofta i människa, hårdvara och dator/programvara. Det är svårare, ibland omöjligt att modellera mänskliga reaktioner och simulera människors beteenden. Man kan inte återstarta en människa från samma kända begynnelsetillstånd, och det går inte att vrida tiden tillbaka som det gör i ren teknikkonstruktion.

Etiska restriktioner begränsar handlingsfriheten, och man kan inte experimentera fritt. Samtidigt upplever jag att etiska restriktioner också medför en skärpning i förhållningssättet – man måste tänka efter före, också vad gäller skeendens konsekvenser, på ett sätt som man inte alltid gör i ren teknikkonstruktion. Och eftertanke i förväg är alltid av godo.

Speciellt för människor är också att de dessutom förändras med tiden, deras förmågor ökar exempelvis ofta genom rehabiliteringstekniska insatser, vilket ånyo kräver anpassning av teknik och pedagogik.

4.7.3 Top-down-konstruktion

Jag har under de senaste tjugofem åren använt metoder för strukturerad konstruktion både vad det gäller hårdvara och programvara. Dessa har baserats på hierarkiska beskrivningar av de första lösningsförslagen fram till den slutliga implementeringen. En hierarkisk beskrivning ger en struktur som framförallt hjälper konstruktören att hantera komplexiteten i stora system. Man behöver då bara hålla aktuell delkomponent och dess underkomponenter aktuella i minnet. Den kognitiva belastningen på konstruktören minskar, det blir lättare att minnas en hel konstruktion, att byta mellan olika konstruktionsprojekt, och att återanvända delar mellan olika projekt. Även förståelse, planering och dokumentation



Figur 19. De översta nivåerna i konstruktionshierarkin, ofta med de tre huvudkomponenterna människa, yttre hårdvara samt dator med specialkonstruerad programvara.

underlättas. Den hierarkiska beskrivningen skapas top-down, utgående från helheten (överst) som sedan bryts ner i delkomponenter, vilka i sin tur bryts ner i fler delkomponenter o.s.v., se figur 19.

Jag beskriver nedan den konstruktionsmetodik som vägleder mig och som jag samlat på mig, influerad av kollegor inom datorsystemkonstruktionsområdet, under de gångna tjugofem åren:

Utforskning av konstruktionsrymden. Från början är kunskapen och förståelsen av ett konstruktionsprojekt liten. Vi måste ta reda på och förstå en del för att kunna börja implementera och ibland även för att för att förstå problemställningen. En skur av lösningsansatser skapas (ofta undermedvetet) för att utvärderas – konstruktionsrymden utforskas. Problemställningen kan formuleras om flera gånger för att finna nya lösningsrymder. Experiment utförs för att prova och vinna kunskap, se t.ex. figur 20 och 22.

Ett antal försökslösningar skapas som top-down-hierarkier utan detaljer (2-3 nivåer med tomma delkomponenter) för att få en strukturell överblick av det tänkta systemet. Ett antal tänkta lösningar skapas på detta sätt och utvärderas (provkörs) mentalt. De flesta lösningar förkastas, men en del duger att arbeta vidare på (trial-and-error). Till hjälp skapas enkla modeller (som kan provköras i datorn) eller mock-up-modeller i den ”riktiga” världen. Med detta iterativa förfarande vinns förståelse och kunskap, och ett antal rimliga lösningsförslag kommer fram.

Tidigt i *Att läsa med händerna*-projektet studerades genom videofilmning en blind människa som läste ett punktskriftsark. Detta experiment gav en hel del insikter angående läsark, rörelser, hastigheter, kameraavstånd, belysning, sittning, skakningar o.s.v.

Stegvis förfining. De kvarvarande lösningsförslagen detaljeras sedan till en del, och en favoritlösning väljs och utvecklas sedan gradvis (top-down) genom en sekvens av konstruktionsbeslut, ”stepwise refinement” (Wirth, 1971). Det handlar om att dela upp, lägga till och detaljera delkomponenterna. I denna fas kan grundidéerna förbättras, nya idéer uppkomma, och svagheter i specifikationen avslöjas och leda till en förbättrad specifikation. Funktionaliteten ökar och så många beslut som möjligt senareläggs för att hålla dörrarna öppna för framtida ändringar, utvidgningar och överraskningar. I detta steg inräknas också iterativa förbättringar: prova, utvärdera, backa tillbaka, och förbättra.

Fungerande från start. Den blivande implementeringen har grundläggande funktionalitet redan från början. T.ex. gick det från första stund i *Att läsa med händerna*-projektet att visa kamerabilderna på bildskärmen, spela videofiler och spara inspelningar på hårddisk. Genom att ha ett fungerande system redan från början

löser man successivt ”sammankopplingsproblemet”, man är tvungen att, i viss mån, detaljera förbindningar, datastrukturer och dataflöden mellan delkomponenterna. En sådan grundläggande och fungerande ”Hello World”-applikation är en näst intill magisk språngbräda för att gå vidare. Att i detalj färdigkonstruera ett antal kommunicerande delkomponenter för att mot slutet koppla samman dessa (bottom-up-implementering) kan leda till (o)väntade problem och stor omkonstruktion av delkomponenterna.

Utbyggbarhet. Generella lösningar föredras för att tolerera och underlätta senare planerade eller oplanerade utvidgningar av grundkonceptet. Exempelvis konstruerades den första *Minimetern* redan från början med möjlighet att ansluta flera magnetgivare, vilket ju inte behövdes enligt kraven, men som senare ändå behövdes.

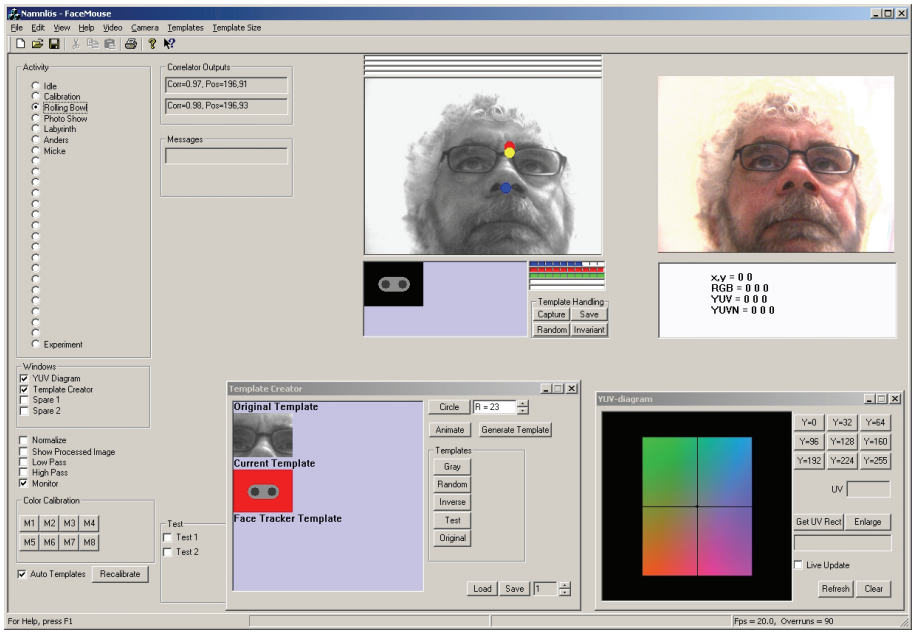
Återanvändning av existerande delkomponenter. Tidigare utvecklad (eller inköpt) hård- och programvara återutnyttjas för att spara både konstruktions- och felsökningstid. I mitt fall har jag samlat cirka trettio års programmerande och algoritmkunnande i ett mångsidigt C++klassbibliotek innehållande klasser för bl.a. audio-video-infångning och för att visa ljud, bild, grafik, bild-ljud-signalbehandling, följning m.m. Klassbiblioteket har utvecklats kontinuerligt från projektet till projekt, utökats, generaliserats, prestandaförbättrats etc. Genom att man under top-down-processen hela tiden sneglar åt den hårdvara och färdiga programvara som kan vara lämplig att använda så styrs top-down-tänkandet av ett visst bottom-up-tänkande. Delkomponenterna nederst i hierarkin måste passas in i helheten.

Tonvikt på användargränssnitt och audio-visuell återkoppling redan från början. All programvara konstrueras med ett interaktivt gränssnitt från början med tonvikt på visuell och auditiv återkoppling. Gränssnittet är anpassat för konstruktören (testa, experimentera, utveckla, förstå och felsöka) för att sedan mer och mer anpassas för slutanvändaren, se figur 20 och 21. Ofta sker användartestning under tiden utvecklingsarbetet pågår.

Inbyggd felsökning. Användargränssnitt och audio-visuella återkopplingar konstrueras som en del av utvecklingsarbetet för att underlätta felsökningen.

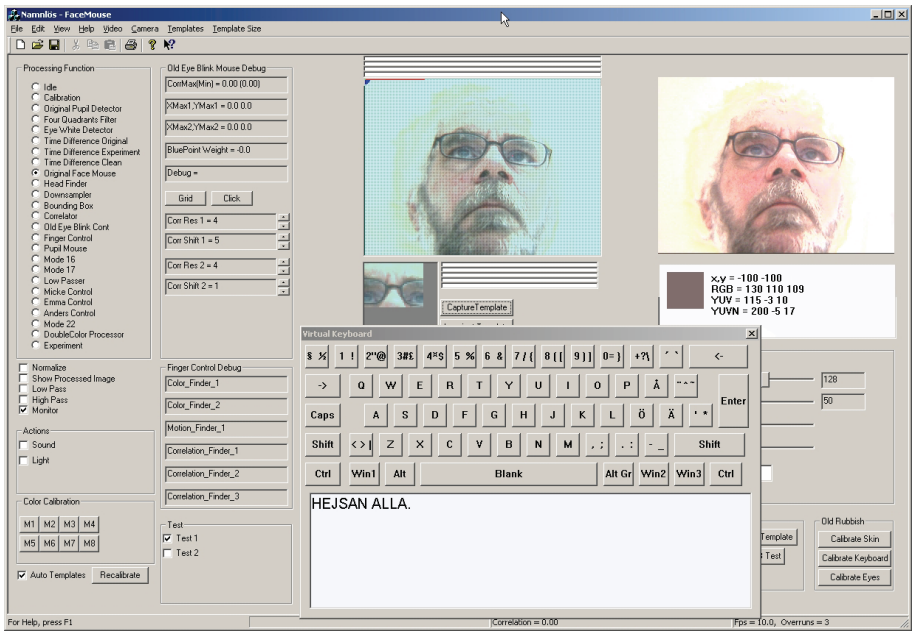
Säkerhet genom konsekvens och försiktighet. Konservativa implementeringsstrategier, en konsekvent och standardiserad implementeringsstil, sund skepticism till nya ”finesser”. Arbetsmetodi-

ken skall vara enkel, generell och rakt på sak men ändå vara öppen för nya idéer.



Figur 20. Utvecklingsexperiment i *Minimeter*-projektet. Användargränssnittet anpassas efter experimenten och interaktiva visualiseringar underlättar. Den gula fyllda cirkeln följer användarens näsrot med hjälp av av en förfångad mall över näsrotsområdet. Den blå cirkeln följer näsborrsområdet med hjälp av en automatgenererad dynamisk mall för detta område. I övrigt innehåller användargränssnittet mängder av funktioner (främst visuella) för att utveckla, testa och felsöka.

Tonvikt på programvara. Så stora delar som möjligt av systemet implementeras i egenutvecklad programvara. Fördelen är att programvara är relativt billig att implementera (jämfört med priset att köpa eller konstruera mer eller mindre specialiserad hårdvara). Med programvara är det enkelt och snabbt att testa nya idéer och algoritmer och man slipper spilla för mycket tid på idéer som visar sig inte leda någonstans. Programvara är flexibel, lätt att ändra och utöka, medan hårdvara är mer oflexibel, dyr att ändra, underhålla och laga.



Figur 21. Här ses en variant under utvecklingsexperimenterandet med ett virtuellt tangentbord som styrning-återkoppling. Genom att vrida ansiktet vänster-höger och upp-ned flyttas en markör över tangentbordet. En accentuerad ögonblinkning trycker ned den valda tangenten och på så sätt kan man skriva meddelanden, t.ex. HEJSAN ALLA. Denna "ansiktsmus" styrd av huvudrörelser och blinkningar var tänkt att kunna ersätta den konventionella musen.

Förflytta dig till framtiden och blicka bakåt. I början av ett projekt är kunskapen låg men många viktiga beslut måste tas. Dessa har en stor betydelse för projektets vidareutveckling och är svåra att ändra senare. Om man försöker att mentalt förflytta sig till framtiden när projektet är klart och ”ser” den färdiga konstruktionen i sin användning, kan man faktiskt ”se” många saker som annars inte hade avslöjats förrän det varit för sent. Denna ”backcasting” kan också underlätta planeringen – om man i sitt inre ställer sig där framme, kan man lättare inse hur tidsplaneringen måste se ut för att allt ska bli färdigt i tid.

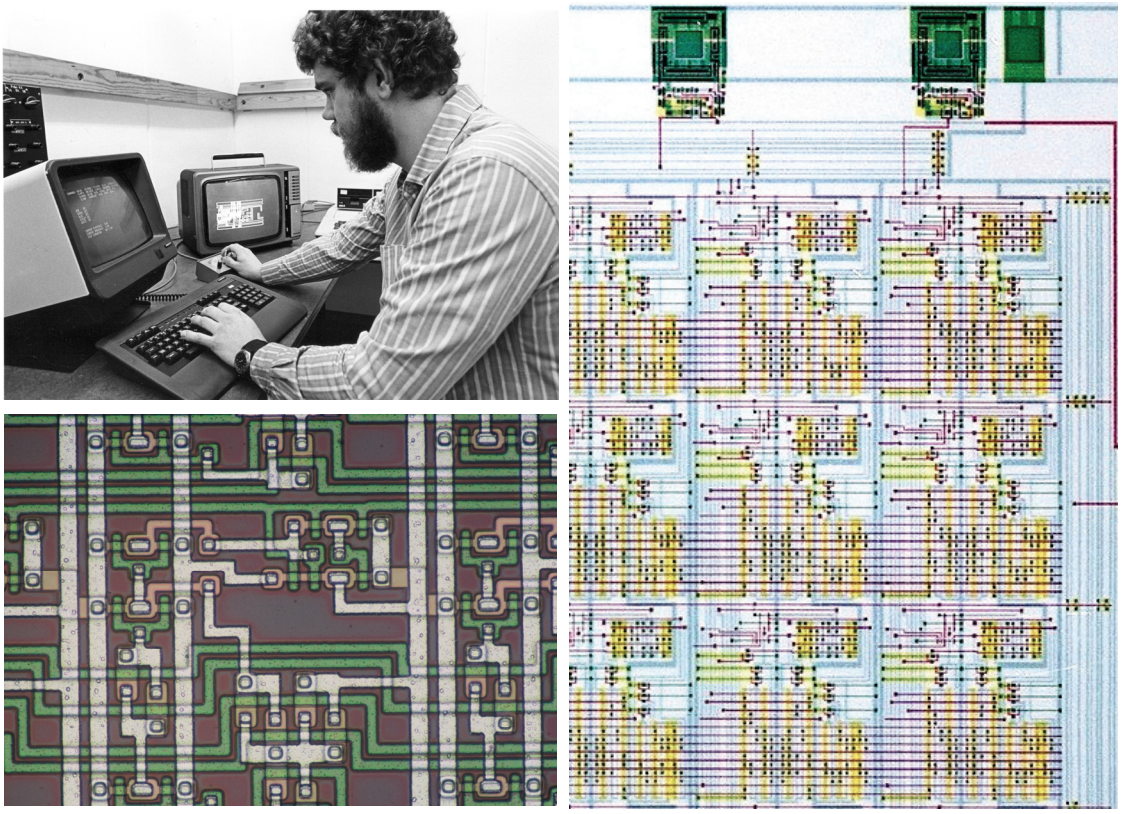
Figur 22. Ett annat *Minimeter*-experiment. Datorns program följer blicken (de röda datorgenererade markeringarna). Med enkel och billig teknik kan blickpekning (med låg upplösning) kanske användas för att t.ex. svara *Ja* eller *Nej*.

Strukturerad konstruktion - några tidigare exempel

Under min tid på Institutionen för Informationsteknologi, LTH arbetade jag med systematiska och strukturerade metoder för hårdvarukonstruktion, både som konstruktör, lärare, kursutvecklare och konstruktör av datoriserade hjälpmedel för hårdvarukonstruktion.

Redan år 1981 utvecklade jag metodik och undervisning för konstruktion av mikrochip och konstruerade kretsar som sedan skickades för tillverkning, se figur 23. De strukturer och mönster som utgjorde den layout som sedan tillverkades på kisel genererades genom att hela konstruktionen beskrevs hierarkiskt som ett program i programmeringsspråket Pascal och sedan exekverades. Det då genererade mönstret, se högra delen av figur 23, utgjorde underlaget för kiseltillverkningen. Mönstret uppvisar en mycket regelbunden struktur, samma byggblock upprepas hela tiden, och sammankopplingen mellan blocken sker helt enkelt genom att lägga dem kant till kant. Att komma fram till detta repetitiva mönster var absolut inte självklart, problemställningen formulerades om flera gånger innan denna regelbundna lösning hittades. Sedan genererades hela strukturen enkelt genom två stycken ”for”-slingor i Pascal (den ena inuti den andra).

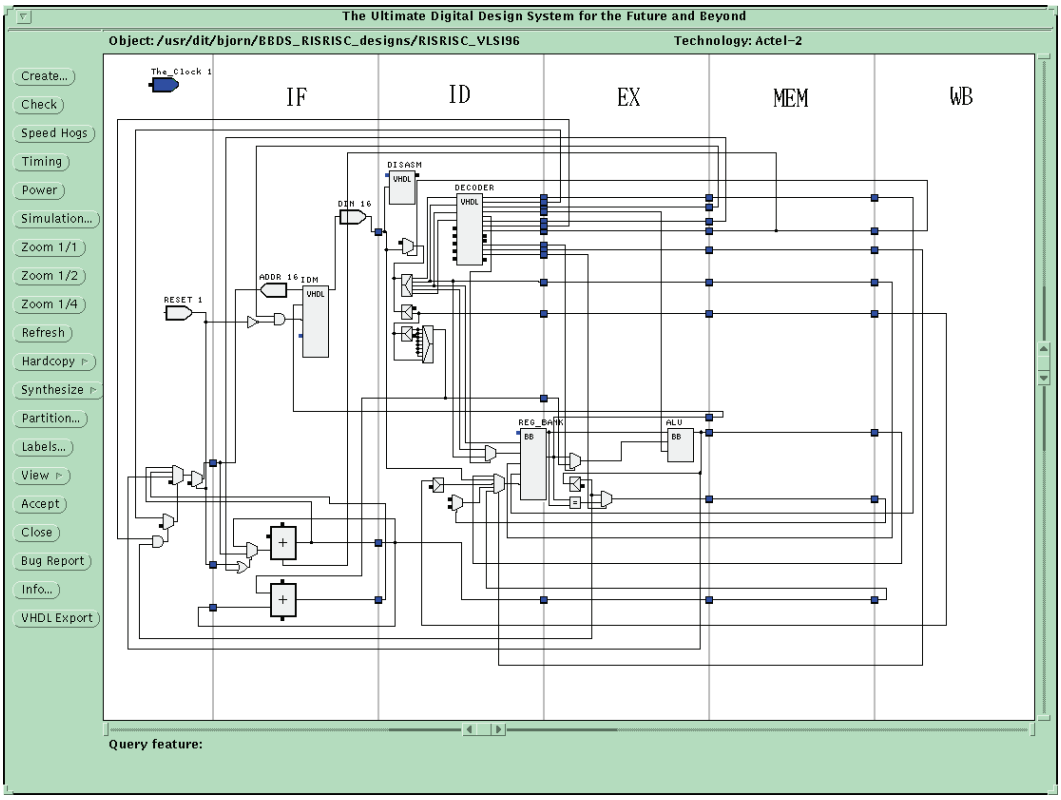
Under 1990-talet konstruerade jag CAD-systemet BBDS (Breidegard & Andersson, 1992) ett konstruktionssystem för komplexa digitala system (inkluderande programvara). BBDS byggde på Wernerdiagram - en grafisk konvention för att beskriva synkrona pipelinade system (Werner et al., 1992), se figur 24. Det fanns förutom de vanligaste standardkomponenterna att bygga med även s.k. hierarki-komponenter för att underlätta hierarkisk konstruktion. Det fanns även s.k. C-komponenter, vars beteenden beskrevs i programspråket C. Detta öppnade stora möjligheter t.ex. för att, via datornätverket, kommunicera med andra datorers BBDS-konstruktioner som via sina C-komponenter t.ex. kunde kommunicera med ”riktig hårdvara”. Stora system kunde på detta vis byggas, kopplas samman och simuleras.



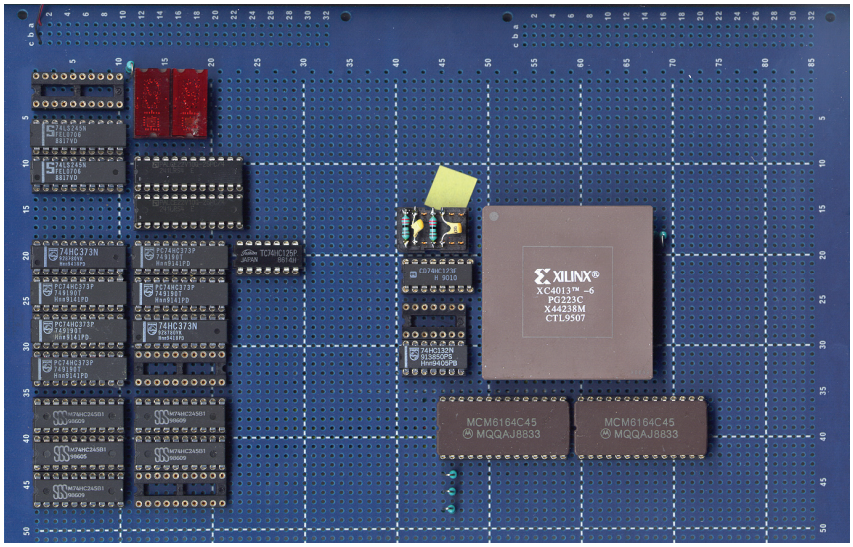
Figur 23. Författaren vid en arbetsplats på LTH avsedd för kretskonstruktion i undervisningen. Redan år 1981 utvecklade jag med denna utrustning metodik för konstruktion av mikrochip och konstruerade kretsar som sedan skickades för tillverkning. Den största kretsen innehöll 15 000 transistorer, ett på den tiden uppseendeväckande stort antal. Till höger visas en delbild av mönstret till den 15 000-transistorskrets som jag och en kollega konstruerade år 1981. Nederst till vänster syns en detalj ur en mikroskopbild av ett färdigtillverkat mikrochip, konstruerat år 1981 på LTH.

Exemplet i figur 24 visar en enkel RISC-processor som användes som övningsuppgift i undervisningen. Efter att ha konstruerat, simulerat, ändrat och förbättrat kunde processorn provköras på riktigt – i riktig hårdvara. Konstruktionen ”brändes” till en hemprogrammerbar grindmatriskrets och placerades i ett testkort som jag byggt och som också innehöll minne och kommunikation till pc-dator, se figur 25. Jag hade även konstruerat en assembler som möjliggjorde att skriva egna program till processorn.

Konstruktionen för parallellportskommunikation med pc-dator som jag konstruerade här (1996) återanvändes sedan i den första versionen av *Minimetern*.



Figur 24. BBDS – ett CAD-system för konstruktion av komplexa digitala system. Den grafiska schemakonventionen (Werner-diagram) underlättar hierarkisk konstruktion av synkrona och pipelinade system. Komponenterna "REG_BANK" och "ALU" är hierarkikomponenter och utgör egna Wernerdiagram på underliggande hierarkinivå.



Figur 25. Testkort för RISC-processorn. Här testades den konstruktion som tidigare konstruerats i CAD-systemet BBDS "på riktigt".

5 Utfört arbete

Se gärna de fyra filmerna på bifogad dvd-skiva (de gör sig bäst på tv-skärm)

- Emma Nilsson och *Minimetern*
- Marigona och *Minimetern*
- Stig Becker läser punktskrift (originalvideo)
- Stig Becker läser punktskrift (automatisk finger- och talföljning)

Minimetern startade år 1998, pågår och kommer att fortsätta framöver. Inom detta projekt har min arbetstid till 75 % bestått i växelverkan med forskningspersoner och deras omgivning och 25 % på teknikkonstruktion.

Att läsa med händerna startade år 2003, pågår och kommer att fortsätta att vidareutvecklas mot fullskaliga studier och automatiska analyser. Här är proportionerna de omvända för hur jag fördelat min tid: 75 % på teknikkonstruktion och 25 % på forskningspersoner och samverkan med övriga forskare.

5.1 Minimetern

Minimeter-projektet tog sin början år 1998 med uppgiften att skapa teknik och pedagogik för *en enda* människas mycket speciella behov. Den första veckan använde jag för att lära känna Emma, hennes föräldrar, assistenter och övrig personal såsom massör, sjukgymnast och logoped. Jag ställde många frågor angående Emmas förmågor och intressen – men ingen kunde ge några säkra svar. De trodde och hoppades att Emmas små rörelser var medvetna och hade en konsekvent betydelse, men det gick inte att vara riktigt säker. Mängder av frågor fick bli obesvarade till vidare.

5.1.1 Steg 1 - muskelspänningsgivare

Lillfingerrörelsen valdes för att styra den dator som skulle bli Emmas kommunikationshjälpmedel. Ett enkelt experiment iscensattes. Emma skulle tända taklampan i sitt rum med sin fingerrörelse. Som givare (för att kunna avkänna lillfingerrörelser) valdes en muskelspänningsmätare (EMG-apparat). Två elektrodplattor placerade på huden ovanpå den muskel som böjer lillfingret registrerade de elektriska spänningar som musklerna genererar då de arbetar.

Muskelspänningsmätaren anslöts via hemkonstruerad elektronik till taklampan och ett första kommunikationssystem var klart: en liten lillfingerböjning tände taklampan i några sekunder. Jag testade först på mig själv, sedan testade Emmas mamma i hemmil-

jö och placerad i Emmas rullstol. Hon tände lampan upprepade gånger, allt fungerade väl. Systemet var så känsligt att det inte krävdes någon synlig lillfingerböjning, eller som Emmas mamma uttryckte det: *det räckte att tänka på att tända lampan, så tändes den!*

Emma fick sedan testa. Hon fick instruktioner att tända taklampan genom att böja lillfingret och det gjorde hon sedan flera gånger på uppmaning. Men efter en stund såg vi att Emmas lillfinger rörde sig, men utan att taklampan tändes. Det visade sig nu att Emma rörde fingret på ett annorlunda sätt, inte bara med hjälp av den muskel där vi placerat elektrodplattorna. Att placera elektrodplattor vid alla de muskler som kunde komma ifråga var orimligt, så denna lösning övergavs. Men *Minimetern*, ett enkelt styrdon, var född i sin första version.

5.1.2 Steg 2 – magnetgivare

Att konstruera en tillförlitlig givare för Emmas lillfingerrörelser var inte trivialt. En givaranordning som reagerade på små fingerrörelser i alla riktningar konstruerades. En känslig (och billig) magnetgivare anslöts via hemkonstruerad elektronik till datorn. Programvara konstruerades som visualiserade magnetgivarsignalen som ett stapeldiagram på datorns bildskärm. En ”gummitutt” (sådan som t.ex. används vid sedelbläddring) med en liten påklistrad permanentmagnet sattes på lillfingret, se figur 2. Minsta rörelse i godtycklig riktning visade sig som en förändring av datorskärmens blå stapel som visade riktning, hastighet och storlek hos rörelserna. Givarkonstruktionen fungerade väl, den var robust och krävde ingen svår kalibrering. Inga opraktiska sladdar, plattor och tejp anslutna till användaren behövdes.

Ett antal styrningar baserade på bild och ljud togs fram. Eftersom vi hade vaga kunskaper om Emmas förmågor och intressen var detta steg svårt. Det gällde helt enkelt att försöka gissa så bra som möjligt. Tester med Emma fick sedan utvärdera hur bra gissningarna var.

Det fanns möjlighet att med lillfingerrörelsen tända en lampa, att räkna: ett, två, tre, att summera, att bokstavera till *E* som i Emma och att bläddra bland inskannade bilder från familjefotoalbumet. Dessa styrningar implementerades genom programvara i datorn.

De inledande testerna videodokumenterades i februari 1999. Emma tände lampan flera gånger, och flera dagar i följd på uppmaning. Lampan tändes några sekunder och datorns kvinnoröst sade: *Du tände lampan Emma!* Vi fick återkoppling, vi fick veta att Emma hade förstått våra instruktioner och kunde tända lampan på uppmaning. ”Kan du räkna till tre Emma?” Emma ”klickade” sig sakta fram till talet tre med lillfingret. Datorn gav hela tiden åter-

koppling: ”Ett”, ”Två” och ”Tre” både på bildskärmen och i högtalarna. ”Vad är 4 + 2 Emma?” Emma ”klickade” sig sakta till talet sex. Svaren var ofta rätta.

Flera ja-nej-styrningar konstruerades, t.ex. nedåtrörelse av lillfingret gav ett stort *Ja* över skärmen, och en distinkt kvinnoröst sa *Ja* i högtalaren, och på motsvarande sätt gav en uppåtrörelse ett *Nej*. Men ja-nej-styrningarna fungerade inte alls. Emma kunde inte utföra två olika rörelser med sitt lillfinger: en för *Ja* och en för *Nej*.

Den stora reaktionen kom då Emma tittade på bilder på släktingar och vänner. Emma kunde bläddra bland dessa med hjälp av sina lillfinger-klick. Emmas blick var koncentrerad inom bildskärmen. Det största och mest glädjande resultatet var de munrörelser Emma gjorde då personnära bilder började växla på skärmen. Emma såg glad ut och visst log hon emellanåt, också med ögonen. Emma blev starkt känslomässigt påverkad (videodokumenterat) av bildspelet. Jämför gärna den tio år gamla Certec-rapporten över *Datorns attraktionskraft* (Jönsson, 1996).

5.1.3 Man kan inte veta förrän man provat

Med nyvunnen kunskap om Emmas intressen inriktades arbetet helt på bilder. En digitalkamera köptes in, och ett nytt skannande användargränssnitt konstruerades till Emma, så att hon kunde navigera bland sina bilder som var indelade i bilderböcker med olika teman, se figur 26.

Emma var nu i centrum och hade initiativföreträde. Hon visade bildsekvenser för sina föräldrar, assistenter och kompisar. Detta kom att betyda mycket för både Emma, familj och vänner.

Efter ett års daglig kommunikation med *Minimetern* hade Emmas lillfingerrörelser blivit större och exaktare. Hon hade nu även en fristående rörelseförmåga i höger tumme och kunde vippa med högerfoten. Med fingertutten (med magnet) på tummen eller högerfoten kunde Emma styra allt hon tidigare kunnat bara med sitt lillfinger.

Frågor ställdes till Emma, och hon hade nu möjligheten att svara *Ja* (med lillfingret) och *Nej* (med foten). Det fungerade inte alls. Emma kunde inte utnyttja två olika rörelser för att svara *Ja* respektive *Nej*. Inte kunde hon heller sätta igång respektive stänga av en lampa eller en radio. Emma var under denna tid i dålig kondition, olika medicinska problem störde troligen hennes koncentration och vakenhet.

Figur 26. Emmas skannande användargränssnitt. En gul blinkande ram flyttade sig sakta från bilderbok till bilderbok. Hon valde bok med sin lillfingerrörelse när den gula ramen befann sig på önskad bilderbok. Emma bläddrade sedan i boken med lillfingerrörelser. När boken var slut kunde hon välja en ny, etc.

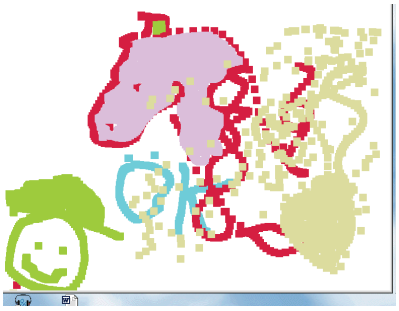
5.1.4 Steg 3 – Luftmusen på Spenshult

Figur 27. Den tvådimensionella luftmusen. Här används en penna med en fastsatt permanentmagnet till att styra. Den vita dosan till vänster innehåller de båda magnetgivarna.

Certec och Spenshult Reumatiker- och Rehabiliteringssjukhus arbetade tillsammans (år 1999-2001) med att vidareutveckla, provanvända och dokumentera styrdonet *Minimetern-2* för att utröna dess potential att ersätta existerande användbara versioner av konventionell datormus. Den tidigare (magnetgivarbaserade) *Minimetern* skulle utvecklas till en tvådimensionell luftmus. Små fingerrörelser i luften styrde musmarkören på skärmen, se figur 27. Projektet syftade till att utveckla nya instrument och tekniker för att kompensera de funktionsinskränkningar (i form av små rörelser och kraftlöshet) som reumatiker ofta är drabbade av.

Projektet *Minimetern*-2 genomfördes helt enligt den uppgjorda planen och gav ett mycket tydligt utslag. Av 22 provanvändare föredrog 11 standardmus, 7 ville ha en mousetrapper, 3 en trackball och bara 1 (en) föredrog *Minimetern*. Tekniken i sig fungerade väl, men det fanns helt enkelt inte någon nisch för den i detta sammanhang. Dock hade det under tiden tillkommit många nya tankar som kom att leda fram till nästa version av *Minimetern* inriktad på att effektivt ta vara på *minimala* kroppsrörelser på ett så *generaliserbart* sätt som möjligt.

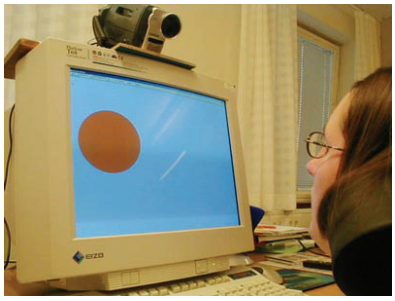
5.1.5 Steg 4 – Videokamerateknik och rullande klotet



Figur 28. Med *Minimetern-2*:s ritprogramvara kunde man göra enkla teckningar.

Minimetern genomgick efter några år (år 2001) ett teknologibyte och blev helt baserad på billiga kommersiella apparater såsom datorer och videokameror. Specialkonstruerad programvara användes för att tolka mänskliga rörelser och att utföra styrning och återkoppling.

Emma hade under åren som gått tack vare god sjukgymnastik tränat upp sin förmåga att vrida huvudet åt vänster och höger. Huvudvridning åt vänster fick betyda *Nej* och åt höger *Ja*. Ett stort gult klot på bildskärmen följde minsta huvudvridning och gav kontinuerlig återkoppling. När Emma vridit huvudet en bit till vänster blev klotet rödare och rödare och då hon rullat klotet ända till skärmens vänsterkant blev hela skärmen röd och ett *Nej* hördes från högtalaren. På samma sätt blev klotet grönare och grönare ju mer hon vred åt höger, och till sist blev skärmen grön och det hördes ett *Ja*, se figur 29.

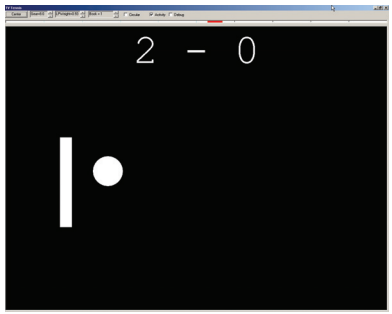


Figur 29. Emma och det rullande klotet.

Emma lärde sig snabbt att svara *Ja* och *Nej* på frågor som ställdes till henne. Hon fick svara både på faktafrågor och frågor om önskningar och behov, t.ex.:

> Vill du ha chokladpudding när du kommer hem? Hon svarade *Ja* – och hon fick följaktligen chokladpudding då hon kom hem. Denna fråga avslutade fortsättningsvis varje övningspass – och hon svarade *Ja* varje gång. Efter ett antal gånger så svarade hon oväntat *Nej*. En del av de närvarande i rummet

reagerade starkt: det måste vara något fel på utrustningen – svaret var ju inte ”rätt”. Emma fick frågan igen och svarade åter *Nej*. Efter ytterligare några minuter ställdes frågan: Är du trött på chokladpudding, Emma? Hon svarade *Ja*.



Figur 30. Enkelt ”TV-tennisspel” som kan styras med huvudrörelser.

5.1.6 Steg 5 – En skrivmaskin till Anders

Anders Hansson har omfattande förlamningssymtom och talar inte. Han har genom åren övat upp att trycka sin tumme mot övriga handen. Han kan bokstavera fram ord genom att t.ex. hans assistent ljudligt bokstaverar ”A, B, C, D…” och Anders väljer bokstav genom att ”trycka till” med sin tumme. I *Minimeter*-konceptet ingår idag styrningen ”Anders skrivmaskin” som är helt individanpassad för Anders behov och utvecklas i takt med honom. Anders har en elektrisk tryckkontakt, ansluten till *Minimetern*, placerad i sitt tumgrepp. Baserat på Anders knappnedtryckningar och talsyntes gör *Minimetern* det möjligt för honom att bokstavera fram ord, och i nästa skede kanske meningar.

5.1.7 Minimetern ger makt och mening

Marigona är idag 13 år. Hon var ett friskt barn fram till 1½-årsåldern. Olyckliga omständigheter med syrebrist ledde då till omfattande hjärnskador.

Marigona använder nu *Minimetern* varje skoldag som ett naturligt inslag i sin vardag. Hon styr, väljer och påverkar sitt liv genom att med *Minimeterns* rullande klot svara *Ja* och *Nej*. Detta gör hon med huvudvridningar på ett övertygande sätt. Hon bläddrar också gärna i bild- och musikspel.

Hon har dessutom, efter att varit utan talat språk i nästan tolv år, börjat att säga *Ja* med sin egen röst. Hon har börjat frambringa många jollerljud (gärna till musiken) och förväntningarna inför nästa ord är stora.

Hennes assistent Eva Strand säger: *Tänk att efter elva år få göra sin röst hörd och tala om vad hon vill. En oerhörd utveckling som öppnar för oanade möjligheter!*

Marigona har nu också lärt sig att med handen hantera två talande tryckknappar: en *Ja*- och en *Nej*-knapp. Med sina båda tryckknappar på rullstolens bord har hon blivit mobil och kan kommunicera i betydligt fler sammanhang.

5.1.8 Referensgrupp

Från och med år 2005 har *Minimeter*-projektet haft en referensgrupp bestående av föräldrar, professionella och representanter för Hjärnskadeförbundet Hjärnkraft, DAHJM dataresurscenter (Region Skåne) och Furuboda KompetensCenter. Även om de flesta övervägandena skett i samarbete med varje enskild *Minimeter*-

användare, har också de gemensamma träffarna varit av stort värde för arbetets framväxt.

5.2 Att läsa med händerna

Vid ett inledande möte våren 2003 med representanter från olika områden (lingvistik, rehabiliteringsteknik, kognitionsforskning, specialpedagogik och konst- och bildvetenskap) drogs riktlinjerna upp för pilotprojektet *Att läsa med händerna*. Visionen var att utveckla teknik och metoder för att effektivt kunna studera blinda människors läsning av punktskrift och taktila bilder. Det ultimata målet var att konstruera teknik för datoriserad automatisk fingerföljning för framtida automatiserade analyser. Att även automatiskt kunna följa högläsning och tidsrelatera denna till fingerläsningen var ett önskemål, men ansågs inte realistiskt att genomföra. Verkligheten kom emellertid att överträffa visionen, eftersom också en halvautomatisk högläsningsföljning på stavelsenivå möjliggjordes, se film på bifogad dvd-skiva.

5.2.1 Grundmetod

Färdigköpta standardkomponenter såsom datorer och videokameror utnyttjades i görligaste mån. Så stor del som möjligt av funktionaliteten implementerades med egenkonstruerad programvara utvecklad med Microsoft's Visual C++ och DirectShow (lämpat för multimediaapplikationer). Mitt egenutvecklade C++klassbibliotek, utvecklat under många år och projekt, kom till stor nytta. C++klasser för mönsterpassning (eng. template matching) och följning (eng. tracking) som utvecklats under tidigare *Minimeter*-projekt kom till återanvändning och vidareutvecklades.

Läsbord med glasplatta och videokameror för filmning underifrån och snett ovanifrån byggdes ihop med komponenter från bygg- och inredningsvaruhus, glasmästeri etc. Eget hantverkskunnande resulterade i en fungerande enhet.

5.2.2 Inledande experiment och idégenerering

Inledande tester och experiment utfördes för att få en första grundkunskap om blinda personers punktskriftsläsning, rörelsemönster, läs- och radåtergångshastigheter m.m. att arbeta vidare från. En blind forskningsperson läste punktskrift högt från vanligt papper. Utförandet videofilmades snett ovanifrån. Detta inledande moment gav en första insikt, känsla för och identifiering av många av de problem som skulle lösas framöver.

Grundläggande teknik testades. Två videokameror och mikrofon anslöts till datorn, program konstruerades för direktvisning på skärm, bildspegling och beskärning, videokomprimering och spar-

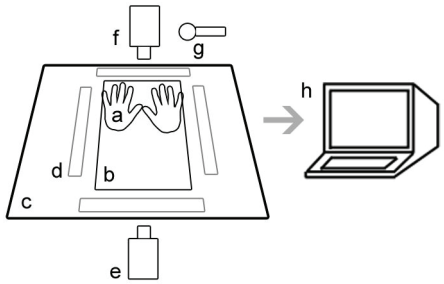
ning som en sammansatt (två videoströmmar och en ljudström) fil på datorns hårddisk.

Under denna inledande experimentfas mognade idéerna för hur resten av systemet skulle utföras.

5.2.3 Grundkonstruktionen genomfördes

Jag gjorde ett rektangulärt hål i ett motordrivet höjochsänkbart bord och satte fast en kraftig glasplatta över hålet. Fastsättningsanordning för punktskriftsarken (i plast) konstruerades. Det skulle gå lätt att byta ark och de skulle sitta säkert fast under läsningen.

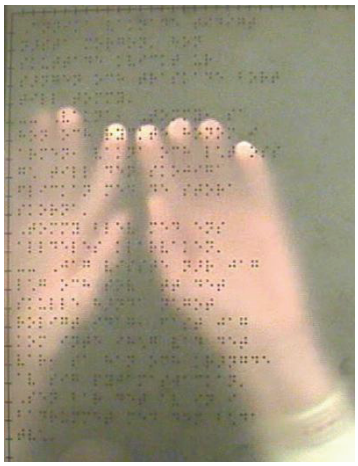
Videokameror och mikrofon sattes fast vid bordet samt anslöts till datorn, se figur 31. Program för direktvisning av bilden från videokamerorna på bildskärmen implementerades och användes i det fortsatta konstruktions- och utvärderingsarbetet. Då bilden från den underifrånfilmande kameran blev spegelvänd, och punktskriftsläsningen då såg ut att ske från höger till vänster, spegelvändes bilden programmässigt i den vertikala axeln (vänster blev höger och vice versa). Bilden beskars också. Många beslut angående kameraplaceringar, bildupplösningar m.m. togs och låstes.



Figur 31. **a.** Läsande händer. **b.** halvtransparent läsark **c.** Kraftig genomskinlig glasskiva, också del av bordet **d.** Belysning riktad upp mot läsarket **e.** Uppåtriktad kamera för inspelning av fingerrörelserna underifrån **f.** Kamera för inspelning av händerna snett uppifrån **g.** Mikrofon. **h.** Dator för inspelning, komprimering och lagring av de båda videoströmmarna och ljudströmmen.

Olika plastfilmer utvärderades. Vi ville få fram en lämplig transparens och en vitgörande effekt som gjorde bilden vit där fingertopparna rör vid plastarket medan man ändå kunde se punkterna i svart under fingertopparna, se figur 32. Övriga delar av handen såsom resten av fingrarna och handflatorna syntes betydligt svagare. Detta gav en gratis optisk databehandling som vi hoppades skulle förenkla för den framtida automatiska fingerföljningen.

Plastarket skulle belysas jämnt underifrån genom glasskivan för att uppnå bästa bild. Framtagning av jämn belysning var svårt, många varianter prövades, videofilmningsexpert inkallades. Sex riktade lampor med avlång ljusöppning (tavelbelysningsmodell) placerades på tre sidor av bordet.



Figur 32. De läsande händerna sedda underifrån. Lägg märke till vitningseffekten som uppkommer där fingrarna ligger an mot läsarket.

5.2.4 Inspelningsprogrammet konstruerades

Inspelningsprogrammet fyllde två funktioner. Dels skulle det underlätta kamerajusteringar genom att kontinuerligt visa kamerabilderna på bildskärmen, dels utföra själva inspelningen av läsningarna. De båda videoströmmarna från kamerorna och ljudströmmen från mikrofonen spelades in okomprimerade till en förallokerad kontinuerlig fil på datorns hårddisk. Efteråt utfördes MJPEG-komprimering och slutlig sparning skedde till hårddisk med namngiven fil i avi-filformat. Detta steg tog förhållandevis lång tid (ca fem minuter för en enminuts inspelning) och kunde innebära ett störande moment under inläsningarna med forskningspersonerna. Numera sker inspelning

med MPEG-2-komprimering och sparning i hårddisk i realtid vilket eliminerar nyss nämnda problem.

5.2.5 Generalrepetition med blind forskningsperson

Inför det första riktiga inspelningstillfället med sju forskningspersoner utfördes en planerad och regisserad generalrepetition med två försöksledare med väldefinierade roller (jag såsom teknikskötare och en forskare inom punktskriftspedagogik) samt en forskningsperson.

5.2.6 Första inspelningstillfället

Under tre inspelningsdagar i maj 2004 utfördes drygt hundra inspelningar med sju forskningspersoner. Jag själv, en forskare inom punktskriftspedagogik och en resursperson (som tog hand om, ledsagade och underhöll forskningspersonerna före och efter läsningarna) ansvarade för hela arrangemanget.

Allt var noga planerat och fungerade väl både mänskligt och tekniskt. Varje forskningsperson utförde ca fjorton läsningar med olika texter (tyst eller högt) och en taktil bild (högt) efter varierande läsinstruktioner. För att få en homogen grupp koncentrerade vi oss på de fem, sedan födseln blinda, personerna som aldrig läst svartskrift. Det var dessa fem personers läsningar som analyserades i det fortsatta arbetet.

Komprimerings- och sparningstiden efter varje läsning utnyttjades till intervjuer av forskningspersonen, både med förberedda frågor och spontana frågor som naturligt uppstod under försökets gång. Intervjuerna behandlade frågor såsom utbildning, sysselsättning, läsvanor, intressen hand/finger-preferenser m.m. Efter avslutade läsningar fortsatte och kompletterades intervjuerna.

Nya idéer kom fram när forskaren inom punktskriftspedagogik och jag själv ohöljt ifrågasatte varandras områden utifrån våra egna utgångspunkter. Det låg experimentlusta i luften - hos experimentledare såväl som hos forskningspersoner. En del av de uppkomna hypoteserna utgör framtida forskningsfrågor.

Avslutningsvis konverterades inspelningarna till MPEG-2-format och brändes till dvd-skivor som distribuerades till projektmedlemmarna. Skivorna kunde sedan spelas upp på valfri dvd-spelare och leda till fortsatta reflexioner.

5.2.7 Självinsikter hos forskningspersonerna

Genom det experimentella upplägget och spontana frågor och diskussioner under försöken väcktes en medvetenhet hos forskningspersonerna om sin egen läsning. Många hade aldrig tidigare reflekterat över sitt läsande, t.ex. vad de olika fingrarna gjorde när de rörde sig över läsarket.

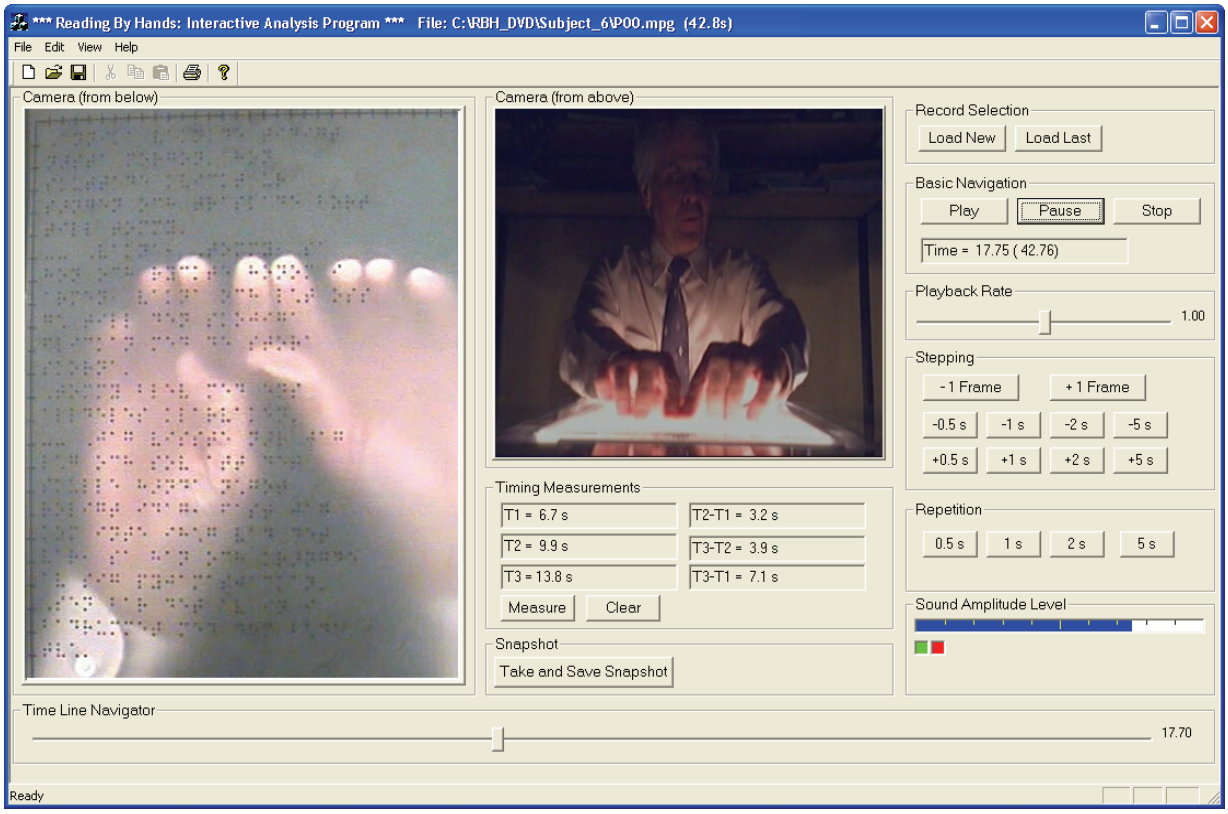
När vi studerade Stig Beckers, en av våra forskningspersoner, lässtil uppmärksammade vi att hans vänstra pekfinger (pekfingrarna är troligen de viktigaste läsfingrarna) ofta hoppade över första tecknet på varje ny rad. Vi undrade om han gissade rätt ord utan att bry sig om första bokstaven. Vid närmare studium noterades att han använde vänster långfinger för att läsa det första tecknet på varje rad. När vi berättade detta för honom blev han uppriktigt förvånad och intresserad och sade: ”Gör jag verkligen så?”

Tummarna deltar normalt inte i avkodningsprocessen av punkttecken. I ett experiment fick forskningspersonerna pröva att läsa punktskrift med enbart en tumme. Många kunde avkoda punkttecknen även om det gick långsamt. De hade aldrig tidigare använt tummen för avkodning.

5.2.8 Interaktiv analys

I den följande analysfasen gjorde två forskare (en inom punktskriftspedagogik och en inom taktila bilder) detaljerade analyser och mätningar på inspelningarna. En vanlig dvd-spelare var inte tillräckligt funktionell för dessa interaktiva analyser. Ett specialgjort interaktivt analysprogram, ”en avancerad dvd-spelare”, konstruerades som uppfyllde forskarnas krav och önskningar.

Det interaktiva analysprogrammet spelade film från de båda kamerorna i två fönster på bildskärmen, inspelningsljudet hördes i högtalarna, och grundläggande funktioner fanns såsom val av inspelning, spela, pausa, stoppa och navigera, se figur 33. Förutom dessa grundläggande funktioner fanns val av uppspelningshastighet, repetition av valda sekvenser, stegning på delbildsnivå, manuell tidtagningsfunktion och möjlighet att spara och skriva ut valda delbilder (snap shots) för dokumentationsändamål. Nya funktioner kunde enkelt läggas till då behov uppstod.



Figur 33. Det interaktiva analysprogrammets användargränssnitt. Den vänstra bildrutan visar videobilden från den underifrånfilmande kameran. Det syns tydligt vilka fingrar som ligger an mot läsarket genom att fingertopparna blir vita då. Den högra bildrutan visar videobilden från den andra kameran som filmade snett uppifrån. Övriga delar är användarkontroller för att förenkla den interaktiva analysen såsom val av inspelning, navigering, variabel uppspelningshastighet, stegning, repetering, manuella tidmätningar m.m. Stillbilder från analysen kan sparas och skrivas ut för dokumentation.

Tidmätningar gjordes av forskarna för att uppskatta läshastigheter, och lässtilar bestämdes och beskrevs. Detaljanalys av lässtilar, felläsningar etc. förenklades genom att samma sekvens kunde repeteras om och om igen i låg uppspelningshastighet (slow motion).

Både den andra kameran, som filmade händerna snett ovanifrån, och den inspelade högläsningen var till hjälp i analyserna genom att ge en bild av övergripande rörelsemönster, läsrytm, såväl som speciella finger/handställningar.

De båda forskarna analyserade och utvärderade inspelningarna med hjälp av det skräddarsydda interaktiva analysprogrammet under två dagar. Programmet fungerade väl. Användaråterkoppling resulterade direkt i genomförda förbättringar.

5.2.9 Automatisk fingerföljning

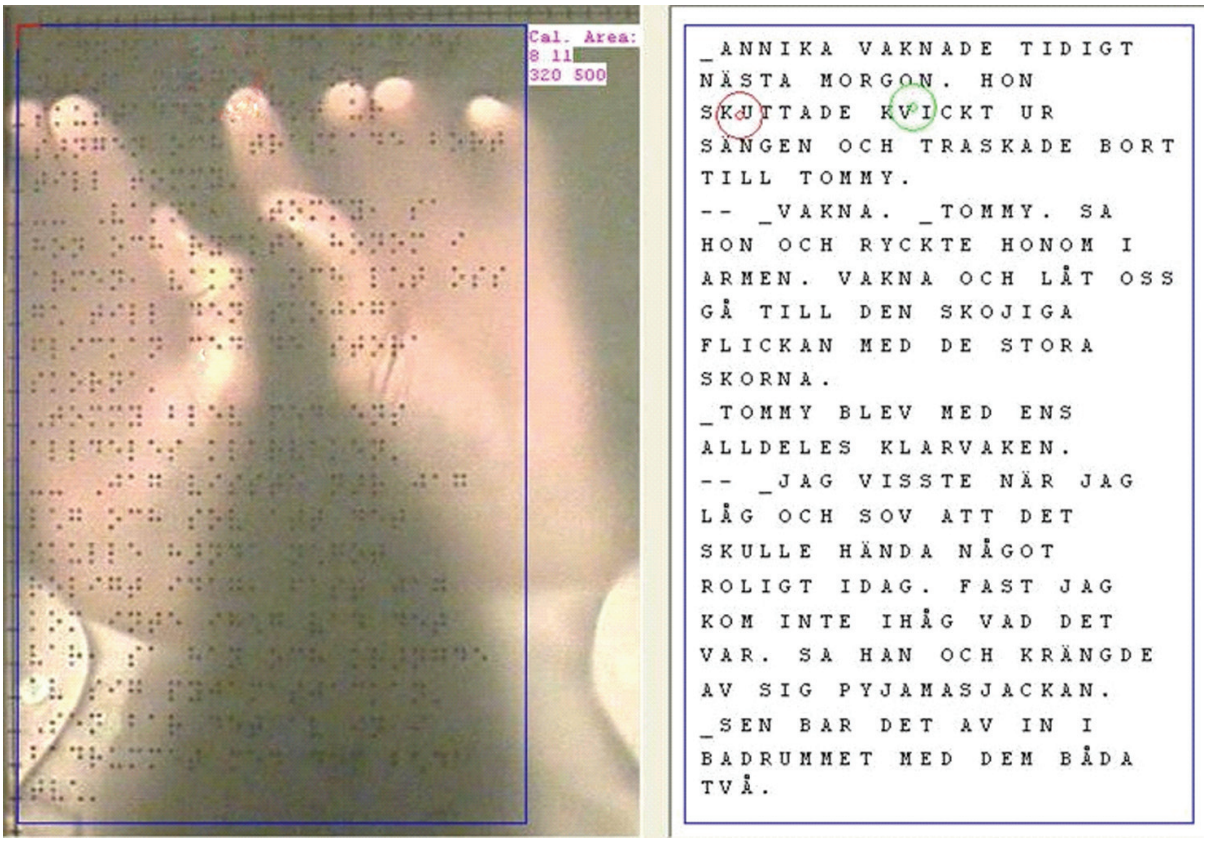
Målet att, utgående från de gjorda inspelningarna, automatiskt kunna följa fingrarna under läsning skulle uppfyllas. Som ett inledande steg utfördes först automatisk översättning (av videobilden)

av en sida punktskrift till svartskrift (skrift med vanliga bokstäver) för att underlätta analysen för de personer som inte läser punktskrift visuellt. Tekniskt skedde detta med hjälp av mallpassning (eng. template matching) och heuristiska algoritmer för att kompensera svårigheter orsakade av kameraoptikens spatiala distorsion.

Programvara för följning (eng. tracking) av de båda pekfingrarna utvecklades. Följningen baserades på mallpassning och stationärt Kalmanfilter. Koordinaterna för de båda pekfingrarna räknades ut 25 gånger per sekund och sparades som en textfil på datorns hårddisk. Denna positionsfil användes sedan av det interaktiva analysprogrammet för att visa punktläsningsförloppen som en röd och grön cirkel som rörde sig över en svartskriftstext, se figur 34.

Positionsfiler kunde även genereras i ett format, lämpligt för t.ex. programvara som används vid ögonrörelsestudier (för t.ex. beräkning av hastighetsprofiler vid läsning och radåtergång).

Med den automatgenererade positionsfilen som indata utveck-

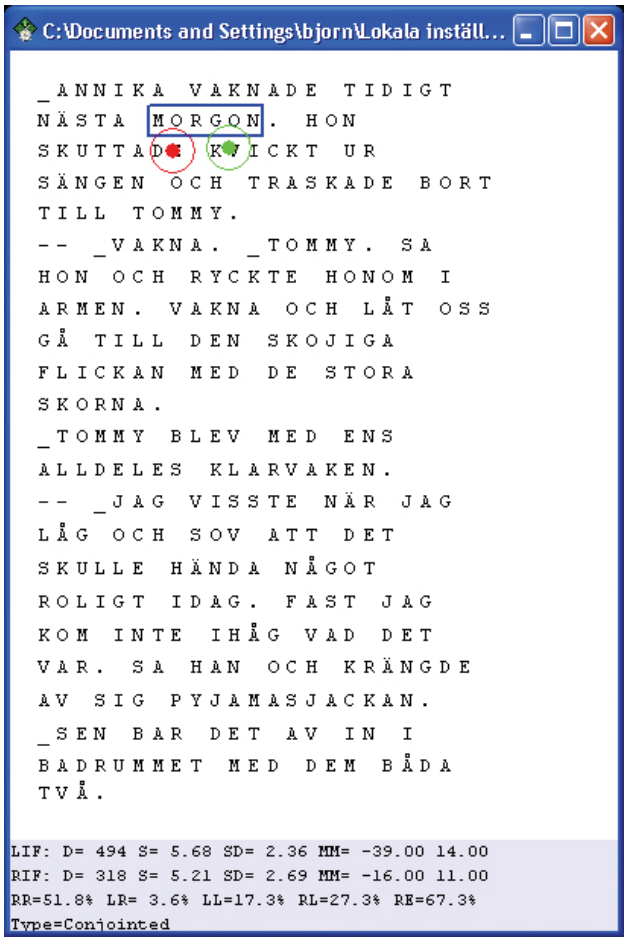


Figur 34. Bild från det interaktiva analysprogrammet som nu visar både originalbilden (till vänster) och bilden (till höger) erhållen med hjälp av den automatiska analysen. Här ses punktskriften som vanliga bokstäver, och de röda och gröna cirklarna visar aktuell position hos vänster respektive höger pekfinger.

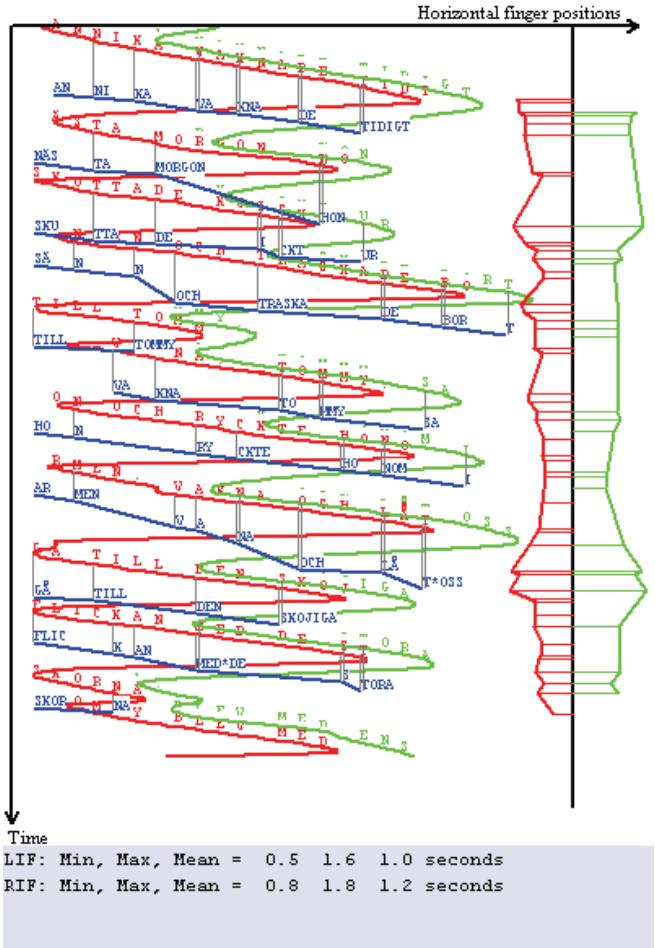
lades snabbt programavsnitt för statistikgenerering över läsningarna och många illustrativa visualiseringar skapades, se figurerna 34, 35, 36, 40 och 41.

5.2.10 Automatisk följning av högläsningen på stavelsenivå

Intresse fanns för att även följa högläsningen och att tidsmässigt relatera högläsningen till de båda pekfingrarnas positioner i texten. Att göra detta helautomatiskt ansåg jag vara för svårt inom projektets ramar. Det hittills utvecklade programsystemet var numera så välutvecklat och funktionellt att det var enkelt att utföra enkla experiment. Med några sådana som bas utvecklades och implementerades en halvautomatisk metod som följde talet på stavelsenivå. Ytterligare visualiseringar gjordes: förutom att kunna studera hur en röd och en grön cirkel rörde sig över läsarket följde nu även en blå rektangel högläsningen på stavelsenivå, se figur 35. Diagram som visade tidsskillnader (hur långt fingrarna låg före talet) mellan talet och fingrarnas läspositioner, och hur tidsskillnaden varierade under läsningen, konstruerades, se figur 36.



Figur 35. Den blå rektangeln följer högläsningen på stavelsenivå.



Figur 36. Variationen hos läsfingrarnas (grönt och rött) framförhållning i förhållande till högläsningen (blått).

5.2.11 Ytterligare två inspelningstillfällen

En läsdag med tre personer läsande kombinerade punktskrifts- och taktila bilder genomfördes.

En läsdag med blinda forskningspersoner från Danmark genomfördes med förbättrad inspelningsteknik i form av videokomprimering och sparning till hårddisk i realtid. Inga störande pauser mellan läsningar behövdes längre. Utrustningen var nu kompletterad med en rörelseföljare (eng. motion tracker, Qualisys ProReflex från Qualisys AB) som med fyra (upp till åtta) videokameror och ca 32 små infraröda reflektorer fastsatta på ovansidan av de läsandes händer automatiskt genererade tredimensionella koordinater med hög spatial upplösning (ca 1 mm) och tidsupplösning (240 Hz).

Denna utrustning kan för övrigt bli ett bra komplement till den utrustning jag utvecklat.

Mitt koncept kan vidareutvecklas till att bli mer mobilt och det är betydligt billigare att sätta upp hos andra intressenter än den dyra rörelseföljaren.

6 Resultat

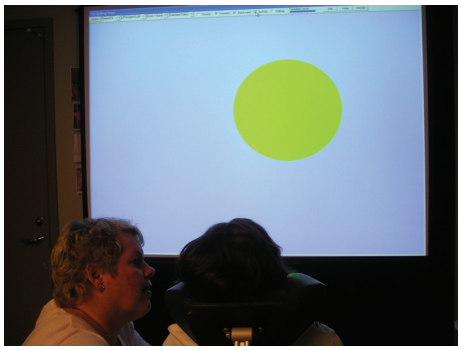
Denna avhandling läggs fram inom ett naturvetenskapligt/tekniskt paradigm där det enda forskningsresultatet värt namnet är *ny kunskap.* För att bedöma vad som är nytt måste man tillräckligt kvalificerat kunna ringa in existerande gammal kunskap. Detta är problematiskt inom det rehabiliteringstekniska området där dokumentation ofta är bristfällig.

Vid sidan om de rent vetenskapliga resultaten nedan finns de mänskliga för anhöriga, personliga assistenter, lärare m.fl. De har genom *Minimeter*-projektet fått in ny variation, nya meningsfulla arbetsuppgifter, nya rutiner och nytt hopp. Betydelsen av detta kan inte nog framhållas. Bieffekterna när en lärandespiral drar igång hos den berörda huvudpersonen så att omgivningen får återkoppling är många, t.ex. att samspelet blir mer meningsfullt och utvecklande och det blir lättare att fortsatt orka och göra.

Genom *Att läsa med händerna* har somliga blinda deltagare ökat sin medvetenhet om hur de läser och nya frågor har tillförts punktskriftspedagogiken. Det ligger nu nära att grundläggande föreställningar om läsmetodik kan ifrågasättas genom faktiska fullskalestudier.

6.1 Minimeterns rullande klot

Redan under arbetet som ledde fram till min licentiatuppsats (Breidegard, 2000) funderade jag över hur beroende perceptionen och kognitionen kan vara av att ha många ömsesidigt förstärkande kommunikationskanaler. För de svårt hjärnskadade människor som varit forskningspersoner här, har det i vissa fall före projektet varit omöjligt att avgöra huruvida det alls gick att kommunicera med dem. Att tillföra *många* inkanaler och därmed redundans har varit ett konstruktionsmål i sig, se (Jönsson et al., 2005, s. 160). Det jag använt är synkrona och starka syn- och hörselingångar. Detta har gällt både för det rullande klotet med dess starka ljus- och ljudeffekter och för applikationer med fotografier, bilder på siffror, bokstäver, enkla geometriska figurer, mänskligt tal och musik. Även andra har understrukit hur kombinationen av ljud och bild i dessa sammanhang är överlägset enbart ljud eller enbart bild, se exempelvis (Brooks & Petersson, 2005; Brooks et al., 2002).



Figur 37. Det rullande klotet visas i storbild på väggen.

Det rullande klotets styrkta förmåga att fungera som styr- och återkopplingsartefakt för svårt hjärnskadade människor är ett vetenskapligt resultat i sig. Varken etiskt eller praktiskt har det varit rimligt att systematiskt prova om någon av forskningspersonerna kunde ha klarat sig lika bra vid exempelvis en annan rörelseutväx-

ling på klotet eller en utebliven färgeffekt vid klotets rörelse eller en utebliven ljudeffekt när man nått fram till *Ja* alternativt *Nej*. Det viktiga i denna första omgång har varit att åstadkomma en styr- och återkopplingsartefakt som ger forskningspersonen lust att styra och tydlig återkoppling på vad hon faktiskt gör.

Det rullande klotet ”uppfanns” ursprungligen för en enda person, nämligen Emma Nilsson, men det har sedan visat sig fungera för en handfull andra forskningspersoner. Det finns en tydlighet och en enkelhet i den abstrakta visualiseringen av en rullande boll (en näst intill arketypisk artefakt, använd sen tidig barndom, något som rullar och rör sig så jämnt och fint) och en helfärgad bakgrund som byter färg då svar ges (rött för *Nej* och grönt för *Ja*). Klotet ändrar också sin färg: är gult i mitten av skärmen men blir rödare eller grönare ju längre ut mot respektive kant det kommer. Ytterligare återkoppling fås när klotet når kanten: helfärgad skärm och en distinkt och tydlig röst säger då *Ja* eller *Nej*.

Det rullande klotet kan individanpassas genom modifiering av två parametrar: tyngd och utväxling. Tyngden kan ändras från en lätt ”fladdrig” ballong till ett tungt bowlingklot. En lagom tyngd filtrerar bort korta oavsiktliga huvudrörelser. Det tar lite tid för klotet att accelerera från stillastående, och hela tiden ser användaren vad klotet gör och kan direkt modifiera sin egen rörelse. Användaren kan ändra sig flera gånger innan svar ges. Utväxlingen kan ändras mellan ena ytterläget att millimeterstora vridningar av huvudet ger stora förflyttningar av klotet och det andra där det krävs betydligt större huvudvridningar för att flytta klotet. Vid förstagångsförsöken är ofta utväxlingen ställd högt, små (knappast synbara) huvudvridningar ger stora klotrörelser på skärmen. Detta hjälper användaren att förstå att det är hon själv som flyttar klotet trots att hon knappt märkbart vrider sitt huvud. Och hon kan börja svara *Ja* eller *Nej* på riktigt med dessa små, små rörelser.

De användare det här handlar om är ofta så orörliga att även små rörelser kräver ansträngning. Normalrörliga människor sitter inte stilla på detta vis och kan inte kommunicera med rullande klotet med så hög utväxling. Efterhand strävar man att minska utväxlingen för att ”öva fram” lite större och säkrare huvudrörelser. Det kan också vara bra med den större utväxlingen för att minimera inverkan av ofrivilliga rörelser som t.ex. ryckningar, darrningar eller skakningar.

Med hjälp av *Minimeterns* joypad, se figur 38, kan den som kommunicerar med forskningspersonen också påverka skeendet. Assistenten kan exempelvis låsa klotet då användaren hostar eller gör andra ofrivilliga rörelser så att det slipper uppkomma felaktiga oavsiktliga effekter. Med joypaden kan man också hjälpa till under den initiala träningen och demonstrera hur klotet kan rulla mot höger- eller vänsterkanten och resultera i ett *Ja* eller *Nej*.

Figur 38. Dagens mobila *Minimeter* är baserad på en bärbar dator. *Minimetern* styrs antingen genom rörelser, t.ex. huvudvridningar som fångas upp av videokameran (på bildskärmens överkant) eller med hjälp av tryckknappsfunktioner, t.ex. de båda stora röda och gröna tryckknapparna på bilden. Med joypaden (den blå till höger om datorn) kan forskningspersonens medhjälpare styra många av *Minimeterns* funktioner, och även interagera med forskningspersonen.

Jag vill här återknyta till begreppet ”flow” och de sju grundkomponenter som ingår i ”flow”-upplevelsen (Csikszentmihalyi, 1991; Petersson, 2006):

1. Tydliga mål och omedelbar återkoppling
2. Utmanande aktivitet
3. Paradoxen att ha kontrollen i en oviss situation
4. Handling och uppmärksamhet smälts samman
5. Koncentration
6. Görandet och medvetenheten om sig själv smälts samman
7. Förändring av tidsbegreppet

De tre första komponenterna är förutsättningar för ”flow” och de fyra följande beskriver verkningarna av ”flow”-tillståndet. Ett av kriterierna för *Minimeterns* olika styrningar är just punkt 1: tydliga mål och omedelbar återkoppling för styrningarna, och de individanpassade styrningarna (med deras valbara bild-ljud-innehåll) konstruerades för att uppfylla punkt 2. Punkt 3, att uppleva sig ha kontroll i en oviss situation, är det som gör att man vill och vågar gripa sig verket an med förstagångsmöjligheterna i den nya möjlighetszonen som *Minimetern* erbjuder (Vygotskys ZPD). Känslan ”Det kan jag ju!” är outsägligt stark när man går från att så tydligt inte ha kunnat till att just kunna. Jämför filmserien ” … det kan jag ju …” (Jönsson, 1997b).

Vad det gäller punkterna 4-7, de fyra verkningarna, är det svårt att avgöra vilka som uppnåtts – intervjuer med forskningspersonerna är inte möjliga. En styrning som förvånansvärt nog fungerat och varit populär bland en del är att räkna med hjälp av *Minimeterns* räkne-bild-ljud-spel. Att *kunna* räkna sig fram till tio (genom upprepade högervridningar av huvudet) och sedan kanske räkna

baklänges till ett igen verkar vara en fullvärdig arbetsuppgift med tydligt mål och tydlig återkoppling och har utförts under glädje och koncentration.

6.2 Fallstudier med Minimetern

Sex fallstudier har genomförts under extremt svåra förutsättningar och visat att det är möjligt att åstadkomma en kommunikations- och lärandeutveckling.

Emma Nilsson har i olika perioder använt *Minimetern*. Både medicinska problem och bristande pedagogiska resurser har understundom försvårat hennes användning. Hennes tidiga *Minimeter*-användning är redan beskriven. Med hjälp av *Minimeterns* skannande användargränssnitt kunde hon efterhand välja och bläddra bland bilderböcker och i sin dagbok. Hon kunde troligen med egen vilja och initiativ uttrycka sig med hjälp av dagboken. Inför ett större sällskap, med bl.a. reporter och fotograf från Aftonbladet, bläddrade Emma först till rätt dag, öppnade denna dags bilderbok och bläddrade sig fram till en bild där hon själv tillsammans med sina båda assistenter befann sig överst i pariserhjulet i Malmö folkpark. Hon stannade vid denna bild. Det var som om det var detta hon ville visa. Till saken hör att hennes mamma inte visste om denna höga utflykt.

I nästa version av *Minimetern* som hon kunde styrde med sina huvudvridningar lärde hon sig att svara på ja-nej-frågor med det rullande klotet. Hon svarade alltid på frågorna även om svaren ofta var ”fel”. Först såg man att hennes ögon tittade åt det håll hon tänkte svara, sedan såg man att musklerna på ena sidan halsen spändes, och till sist kom rörelsen som förflyttade klotet åt åsyftat håll. Enligt hennes dåvarande lärare och hennes mamma svarade Emma *Ja* eller *Nej* ”rätt” då hon var i god form. När hon valde musik återkom hon ofta till vissa låtar medan andra passerades förbi direkt.

Vi tror att Emma, åtminstone delvis, förstår och kan behärska *Minimeterns* rullande klot, men vi väntar fortfarande på ett genombrott. Ännu en satsning är nu (2006) på gång och planer på att integrera *Minimetern* med musik- och storbilds-tv-anläggningen i hennes nya boende finns. Nytt är att Emma börjat med tonande stämbandsljud.

Anders Hansson har tidigare använt *Minimeterns* rullande klot för att svara *Ja* eller *Nej* på ett trovärdigt sätt. Dock gjorde hans uttalade svårigheter att vrida huvudet att man slutade med denna styrform. Han har genom åren övat upp förmågan att trycka sin tumme mot övriga handen vilket han gör snabbt och säkert. Med hjälp

av en tryckknapp (placerad i tumgreppet) ansluten till en liten låda som ”piper’” svarar han *Ja* och *Nej* genom ett kort ”pip” respektive två korta ”pip” i följd. Han kan även bokstavera fram ord genom att t.ex. hans assistent bokstaverar ”A, B, C, D…” och Anders väljer bokstav genom att ”pipa” med tryckknappen. Han kan bokstavera komplicerade ord som t.ex. ”Fort Lauderdale” där han varit på semester. Idag använder han *Minimetern* med funktionen ”Anders skrivmaskin”, som baserat på Anders knapptryckningar och talsyntes i datorn gör det möjligt för honom att bokstavera fram ord, och förhoppningsvis längre fram meningar.

Magnus Jardby använder *Minimetern* regelbundet två gånger i veckan i skolan. Jag redovisar här utdrag ur hans båda lärares bedömning:

> ”*Minimetern* har tränat Magnus uppmärksamhet. Den ger honom glädje och han känner sig i fokus vilket han njuter enormt av. Han får dessutom kämpa idogt och det resulterar i mycket beröm och bifall i situationen och sedan skriftligt hem. *Minimetern* höjer Magnus koncentration, vi ser det genom att han blir varm och saliven rinner.
>
> Magnus har fått mer balanserade rörelser och ”kastar” sällan numera upp huvudet till vänster för att sedan gå till höger. Kroppshållningen har den senaste månaden förändrats till att oftare sitta rakare med huvud och kropp.
>
> Arbetet med det rullande klotet där Magnus själv får experimentera med huvudet och *Minimetern* svarar *Ja – Nej* verkar ha medfört en större medvetenhet om hur huvudrörelserna påverkar *Minimetern*.
>
> Vi har börjat uppmuntra Magnus att använda ljud också när han sitter vid *Minimetern* för att hjälpa oss att förstå. Fler i hans omgivning har också märkt att han använder mer ljud. Detta är kanske något att bygga på.”

Erika Torsténi använder *Minimeterns* rullande klot för ja-nej-kommunikation och bläddrar i sin *Minimeters* personliga bild- , siffer- och musikspel. Hennes förmåga att använda *Minimetern* varierar. Vissa dagar går det bra och vissa dagar går det inte alls. Även här väntar vi på ett genombrott. Min egen bedömning är att Erika helt förstår vad man säger och att hon förstår att hon kan svara *Ja* eller *Nej* med hjälp av sina huvudvridningar. Jag hade själv i början en konversation med Erika, som är utbildad elingenjör, där jag frågade henne om vilka betydelser de olika färgerna i en elkabel har.

> - Är skyddsjord gulgrön? - Ja (rätt svar)
> - Är blå fas? - Nej (rätt svar).
> Björn: - Nä, blå är ju nolla”.
> - Är brun fas? Efter en stund: - Ja (rätt svar).

Hon svarade helt rätt för fas, nolla och skyddsjord. Förmågan att kunna använda den egna rösten kan också vara på väg. Erika har i två vittnens närvaro sagt *Ja*.

Marigona Gashi använder *Minimetern* varje skoldag för att med rullande klotet svara *Ja* eller *Nej*, och hon bläddrar övertygande säkert i *Minimeterns* personliga bild-, siffer- och musikspel. Hon har insett att hennes svar gett henne möjlighet, mening och vinst att *påverka*, att kunna *bestämma*, att kunna *välja* och *vilja*.

Hon har även börjat använda sin röst till att säga *Ja*. Hon jollrar också mycket och gärna till musik. Hon kan nu också utnyttja sina armar för att styra två talande stora tryckknappar, en för *Ja* och en för *Nej* – hon kan välja att omväxlande svara med de gröna och röda tryckknapparna eller svara med huvudvridning.

Marigona kan idag delta i samtal genom en sekvens av ja-nej-svar. Här återges dialogen ”Marigona köper blommor” (oktober 2006):

Marigona åker buss tillsammans med sin assistent Eva Strand. De andra tjejerna i bussen pratar killar. Marigona har de talande gröna och röda ja-nej-knapparna med sig.

E: Vill du också träffa en kille?
M: Ja (snabbt)
E: Vill du träffa Adam?
M: Nej
E: Vill du träffa Alex?
M: Nej
E: Magnus Carlsson, Christer Sjögren m.fl.? (från sitt *Minimeter*-musikspel)
M: Nej (på alla)

E: Är det nån på skolan?
M: Ja
E: Nån som är lika gammal som du?
M: Nej
E: Är det Martin? (en assistent som snart skall fylla 30 år)
M: Ja

Senare på eftermiddagen i skolan vid *Minimetern* och huvudvridningar används för ja-nej-svar.
E: Martin fyller år, ska vi ge honom present?
M: Ja
E: Ett paket?
M: Nej (snabbt)
E: Godis?
N: Nej (snabbt)

E: En blomma i kruka?
M: Nej (efter att ha funderat ett tag)
E: En bukett blommor?

M: Ja (snabbt)

E: Tulpaner?
M: Nej
E: Nejlikor?
M: Nej
E: Rosor?
M: Ja
E: Röda?
M: Nej
E: Gula?
M: Ja (alla svaren var snabba som om hon redan tänkt ut vad hon ville)

E: Ska vi köpa tillsammans?
M: Nej
E: Ska jag köpa?
M: Ja
E: Ska du ge dem?
M: Ja

En vecka senare upprepar Eva alla frågorna (från frågan om paket) och får precis samma svar fram till frågan:
E: Ska jag köpa?
M: Nej
E: Ska vi köpa tillsammans?
M: Ja
E: Ska vi köpa dom på torget?
M: Ja

Marigona väljer bukett på torget med sina ja-nej-knappar,
Och sedan lämnar Marigona blommorna till Martin, hon kände stor glädje, och han blev alldeles rörd.

Carola Karlsson har på senare tid utvecklat förmågan att vrida huvudet. *Minimeterns* rullande klot testades på henne – och enligt min bedömning förstod hon och kunde svara med hjälp av *Minimetern*. Carola fick sedan en egen *Minimeter*-utrustning och maken, de båda barnen och fem personliga assistenter utbildades i att sköta *Minimetern* och att lägga in personliga bild-ljud-musik-spel i *Minimeter*-datorn.
Hennes make Evert kom fram till att Carola hade ont i benet genom följande frågor:
- Har du ont någonstans? - Ja
- Har du ont i huvudet? - Nej
- Har du ont i benet? - Ja

Evert: - Då jag talade med den assistent som arbetat natt fick jag reda på att Carola hade haft tydligt ont i benet under natten.

Förutsättningarna för kommande fallstudier har förändrats kraftigt i positiv riktning. Nu existerar *Minimeter*-konceptet som en färdig artefakt, se figur 38, och genom några timmars arbetstid kan *Minimetern* individanpassas för ytterligare forskningspersoner.

6.3 Teknikkonceptet "Att läsa med händerna"

Förstagångshändelsen att ha skapat ett teknikkoncept med vars hjälp det nu går att *automatiskt* avkoda och analysera de väsentliga rörelsemönstren hos läsare av punktskrift (Braille) och taktila bilder är en helhet i sig. Uppdelat i sina beståndsdelar består den av:

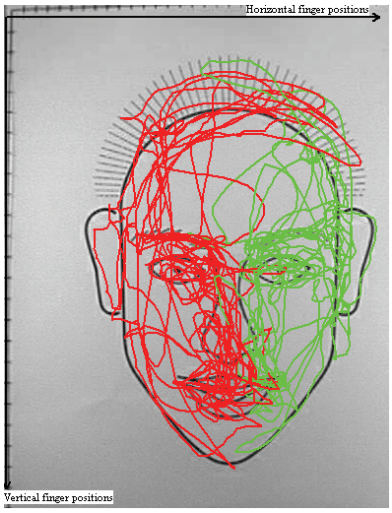
- Möjligheten att detaljanalysera olika karakteristika vad det gäller punktskriftsläsning, t.ex. uppdelning av läscykeln i olika faser, hur dessas proportioner skiljer mellan olika läsare, hastighetsprofiler för punktskriftsavkodning och radåtergång, se figur 40.

- Möjligheten att jämföra rörelsemönstren hos blinda människors punktskriftsläsande med seendes ögonrörelser vid uttolkning av svartskrift med hjälp av ögonrörelsemätningsteknik (eng. eye tracking).

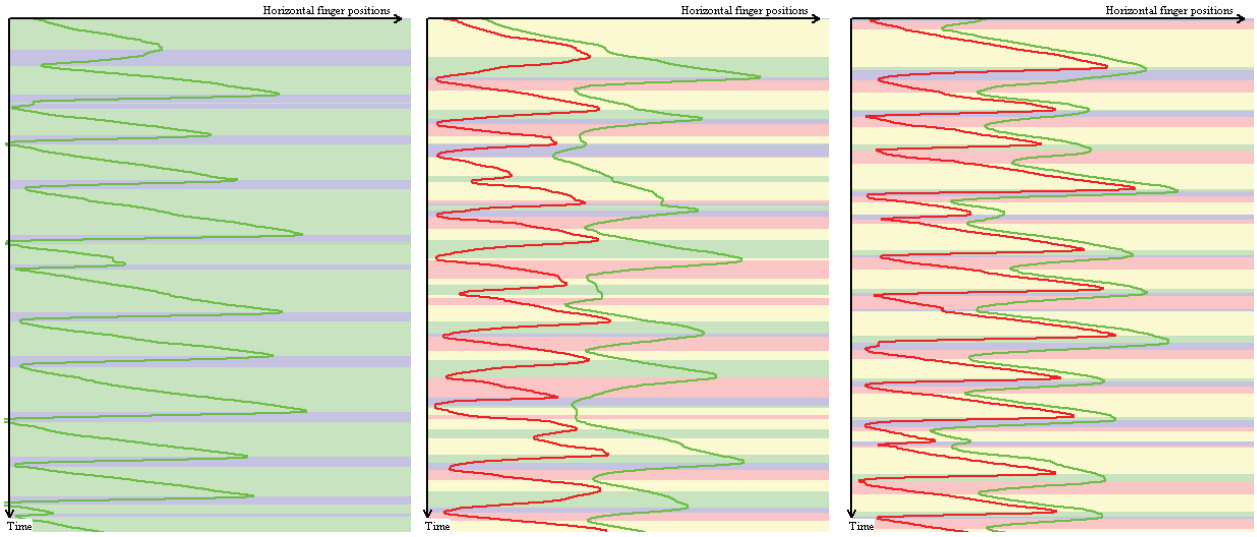
- Möjligheten att jämföra rörelsemönster vid uttolkande av taktila bilder, t.ex. ett ansikte, med de resultat man tidigare fått om seende människors uttolkning av bilder med hjälp av ögonrörelsemätningsteknik, se figur 39 och 41.

- Möjligheten att halvautomatiskt följa högläsningen på stavelsenivå. Därigenom kan den tidsframförhållning läsfingrarna har framför den högläsande rösten studeras liksom hur denna varierar under läsningens gång, t.ex. på meningsnivå, se figur 36. Dessa data kan jämföras med de data man har från seendes högläsning.

- Det har möjliggjorts att olika synpedagogiska teorier och metoder i framtida longitudinella studier kan komma att provas.

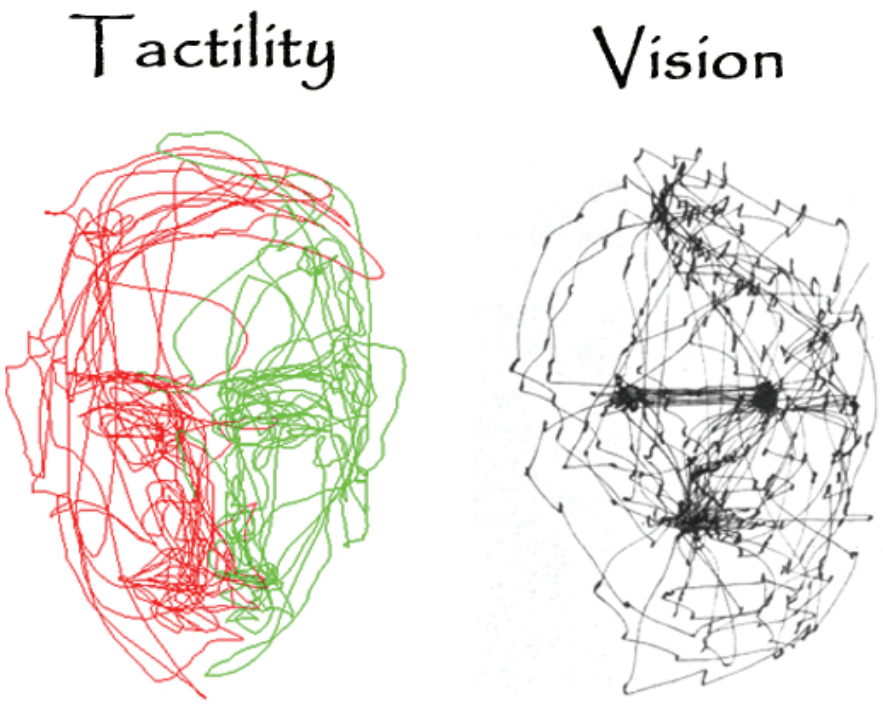


Figur 39. Händerna utforskar en taktil bild av ett ansikte (ses som svart i bakgrunden). De röda och gröna spåren visar hur vänster och höger pekfinger förflyttat sig över den taktila bilden.



Figur 40. Tre xt-diagram. Den horisontella axeln visar det vänstra (rött) och högra (grönt) pekfingrets horisontella position på läsarket, och den vertikala axeln är tidsaxeln. De horisontella färgbanden visualiserar de olika faser som ingår i den cykliska läsningen av textrader. Vänster bild visar en enhandsläsare. Grönt indikerar läsning och lila radåtergång. Bilden i mitten visar en läsare som läser i s.k. åtskild stil (eng. disjoint), vänster pekfinger läser huvudsakligen den vänstra delen av sidan (medan höger gör radåtergång) och höger pekfinger läser huvudsakligen den högra delen av sidan (medan vänster gör radåtergång). Höger bild visar en läsare som läser i s.k. blandad (eng. mixed) stil, de båda pekfingrarna läser samtidigt och placerade intill varandra under en större del av läsningen, fram för allt i mittregionen.

Prototyp med framtiden för sig. Det resursbegränsade arbetet resulterade i en fungerande prototyp som uppfyllde den ursprungliga visionen – och mer därtill. För att smidigt och säkert kunna genomföra fler och större studier krävs en genomarbetning – att baserat på nuvarande konstruktion och erhållna erfarenheter genomföra nödiga förbättringar, t.ex. i fråga om kameraval och läsbordsergonomi.



Figur 41. Vid taktil läsning måste läsfingrarna vara i rörelse för att kunna ta in information. De båda händerna kan röra sig oberoende av varandra, fingrarna tar kanske in information från flera ställen samtidigt. När en seende person läser text eller tittar på bilder är ögonen "blinda" under de snabba sackadiska rörelserna. Ögonen tar in information endast när de fixerar stillastående. Båda ögonen är riktade mot samma punkt. Den vänstra bilden visar hur vänster (rött) och höger (grönt) pekfinger förflyttat sig över den taktila bilden. Den högra bilden visar summan av sackader och fixeringar när ögonen utforskar en bild av ett ansikte (Foto: S. Fridyland, från (Yarbus, 1967)). Både fingerrörelserna och ögonfixeringarna anhopas kring ögonen, munnen och näsan – kritiska delar för att kunna klassificera bilden som ett ansikte.

6.4 Fallstudier inom "Att läsa med händerna"

- I den första fasen användes det interaktiva analysprogrammet för att studera de genomförda inläsningarna av de fem forskningspersonerna: analysera lässtilar, göra manuella tidmätningar etc. I (Breidegard, Fellenius, Jönsson, Strömqvist, 2006) redogör jag för de viktigaste resultaten i de genomförda fallstudierna. De inriktades på att bestämma lässtilar och speciella läsmönster hos de olika forskningspersonerna. Felläsningar etc. detaljstuderades genom repeterad uppspelning i långsam hastighet. Detta avslöjade viktiga strategier och preferenser hos läsarna.

- Manuella tidmätningar gjordes för att bestämma läshastigheter för olika typer av text, med både tyst- och högläsning.
- Manuella tidmätningar för olika handkonstellationer, t.ex. båda händerna, bara bästa handen, näst bästa handen etc.
- Diskussioner under inspelningstillfällena öppnade för självinsikter i den egna läsningen, och genom det experimentella upplägget uppstod spontana frågor och diskussioner under försöken. Detta väckte en medvetenhet hos forskningspersonerna om sin egen läsning. Många hade aldrig tidigare reflekterat över sitt läsande, t.ex. vad de olika fingrarna gjorde när de rörde sig över läsarket.
- Forskarna fick djupare förståelse för de taktila lässtrategierna och preferenserna, och som en konsekvens uppstod utmanade antaganden angående tillämpningar inom punktskriftsutlärning som kan bana vägen för pedagogiska insikter, analyser och åtgärder.

I nästa fas hade den automatiska följningen av fingerrörelser under läsning implementerats och ett antal visualiseringar konstruerats. Nu kunde läsningarna av punktskrift och taktila bilder börja analyseras automatiskt, se (Breidegard, Eriksson, Fellenius, Holmqvist, Jönsson, & Strömqvist, in press; Breidegard, submitted) och bekräfta en del av resultaten från den interaktiva analysen. I tabell 1 visas lässtil och procentandelarna av de fyra olika faserna som radläscykeln kan delas in i:

- **RR:** båda händerna läser (från vänster till höger).
- **LR:** vänster hand gör radåtergång (höger till vänster) till nästa rad, höger hand fortsätter att läsa.
- **LL:** båda händerna gör radåtergång
- **RL:** vänster hand läser igen på ny rad, höger hand gör fortfarande radåtergång.

I figur 40 visas xt-diagrammen för FP 1, FP 2 och FP 4. Läsmönstren visualiseras effektivt och läscykelns fasandelar visas som horisontella färgband. Dessa diagram tillsammans med tabelldata och kompletterat med uppgifter om läshastighet utgör en god profil för respektive läsare. Dessa profiler kan i framtida storskaliga studier komma att beräknas automatiskt.

Tabell 1. Automatisk analys. Fastiderna är automatiskt uträknade och lässtilen klassificerad (åtskild eller blandad).

Forsknings-person	RR	LR	LL	RL	Bästa läshand	Lässtil
FP 1	0%	79%	21%	0%	höger	---
FP 2	33%	31%	10%	26%	höger/båda	åtskild
FP 3	62%	15%	14%	9%	höger	blandad
FP 4	54%	11%	11%	24%	vänster	blandad
FP 5	54%	12%	12%	22%	vänster	blandad

6.5 Fler ”Att läsa med händerna”-publikationer

Utöver avhandlingens tre artiklar har *Att läsa med händerna*-projektet resulterat i ett bokkapitel (Strömqvist, Breidegard & Holmqvist, to be published), fyra konferenspresentationer (en av Breidegard, Eriksson, Fellenius, Holmqvist & Strömqvist, tre av Strömqvist), en poster (Holmqvist: The 13th European Conference on Eye Movements, in Bern, August 2005, www.sol.lu.se/humlab/eyetracking/Projectpapers/Tactile-ECEM.pdf), två artiklar i tidskrifter inom handikappvärlden, en inom elektronikvärlden, samt via Sven Strömqvist uppmärksamhet inom forskningsvärlden, t.ex. vid Stanford Center for Innovative Learning (Bob Smith och Dan Gilbert), vid Oxford University: Experimental Psychology (Kim Plunkett) och vid National Institute of Neurological Disorders and Stroke (Jordan Grafman).

7 Diskussion och slutsatser

Mitt viktigaste kunskapsbidrag är och förblir det faktiskt gjorda, de resulterande artefakterna och deras mänskliga effekter.

7.1 Artefakter och vetenskap

Vetenskapligt är bidraget endast *det nya* i de resulterande artefakterna och *det nya* i deras mänskliga effekter. Det är för att lyfta upp just detta (jämför resultatkapitlet) som denna avhandling skrivs. Tyvärr finns det inga allmänt vedertagna rutiner för hur artefakter kan läggas fram som direkta *forskningsresultat* i sig (utan en alltför omfattande textmassa) *och* på sina egna villkor (snarare än på det verbalas). Mycket av förståelsen för det jag gjort är näst intill omöjlig utan stöd av bilder, diagram, animeringar, video eller mock-up-modeller. Men, det verbala är dock det som krävs i avhandlingar, vetenskapliga tidskrifter och vetenskapliga konferenser. Det finns en gryende frustration över detta, och exempelvis Jonas Löwgren arbetar systematiskt för en förnyelse på området (Löwgren, 2005). Han har tagit initiativ till att 2008 års NordiCHI (den nordiska konferensen för Computer Human Interaction) ska ha ett särskilt spår med en ”design chair” som komplement till ”paper chair”. Förberedda oppositioner skall göra att artefakter ska kunna granskas på sina egna villkor, och motsvarande vad det gäller artiklar.

På en metanivå vill jag se min avhandling och dess fokus på *Att göra för att förstå* som ett bidrag i denna riktning. Skrivandet har varit nödvändigt och bra för att klargöra och positionera, men det är *görandet för att förstå* och *de resulterande implementerade tankarna* som är själva resultatet. Min förhoppning är att artefakterna i faktisk och relevant användning skall kunna stå i fokus för den muntliga disputation som tillsammans med den skrivna avhandlingen skall ligga till grund för bedömning av min doktorsexamen. Det är stor skillnad på att resonera *om* tekniken och dess effekter och på att befinna sig *i* tekniken och dess effekter.

7.2 Teknik och rehabilitering

Inom rehabiliteringsteknik är det ovanligare än inom annan teknisk forskning att tekniken ses som ett forsknings- och kunskapsområde som kan stå på sina egna ben. Certec har genom att i tio år haft rehabiliteringsteknik som ett eget forskarutbildningsämne kommit en bit på väg, se (Jönsson et al., 2005), men mycket åter-

står att göra för att ge tekniken dess rätta plats. Huvudintresset inom rehabilitering ligger och ska ligga på den berörda forskningspersonen, men detta skall inte behöva skymma sikten vad gäller själva teknikens roll i det mänskliga samspelet, d.v.s. tekniken som en av aktanterna. Det är också viktigt att hitta teknikens plats i förhållande till andra medverkande vetenskapliga discipliner. Teknik blir bara alltför lätt något man bara ”plockar in”. Man låter ”teknikern” helt isolerat från de vetenskapliga disciplinerna göra en s.k. ”quick fix”.

Tekniken själv har aldrig varit bra på att synliggöra och formulera sin verksamhet som en kunskaps- och resultatprocess i sig. Denna avhandling vill bland annat visa hur teknik på forskningsnivå *inte* går att åstadkomma via andras kravspecifikationer och beställningar utan utgör ett eget kunskapsskapande, både vad gäller process och resultat. Samtidigt skulle det inte bli något framsteg om den tekniska delen inom rehabiliteringsteknik tog överhanden. En dialog som utmanar men som håller den ömsesidiga balansen är idealet.

7.3 Teknik och pedagogik

I mina här redovisade projekt har tekniken genom sin *tydlighet* lett till en stark utveckling. Till skillnad från icke implementerade teorier och tankar finns tekniken där manifest och möjliggör tester av såväl relevans som validitet som reliabilitet. Gång på gång på gång. Just teknikens tydlighet frigör också en kreativitet, en uppfinningsrikedom och en prestationsförmåga hos forskningspersoner och övriga aktörer. Det dagliga arbete som föräldrar, lärare och assistenter lagt och lägger på att via *Minimetern* kommunicera med forskningspersonerna ger som resultat ett ständigt förnyat innehåll och nya samspel. Detta är i sig ett stort resultat som dels tillför hopp och glädje, dels ger substans och en plattform som synliggör framsteg. Det är väl känt hur mätningar för lärande, ”*assessment* ***for*** *learning*” (Black, 2003) befrämjar lärandet. Observera prepositionen ”for” – det handlar inte om mätningar för någon annans skull utan om mätningar för att den berörda människan själv skall kunna komma underfund med sitt lärande och därmed lära mer.

7.4 Rehabiliteringsteknik som modell

Peter Anderberg gör i sin avhandling *FACE* (Anderberg, 2006) en kvalificerad genomgång av hur den medicinska modellen lätt tilldelas för stor betydelse utanför sina domäner. Vidare resonerar han om hur ”disability studies” med sin utgångspunkt i den sociala modellen kunde berikas om den inkluderade rehabiliteringstekni-

ken – och vice versa. Jag kan egentligen bara göra ett tillägg, ett konstruktivt sådant.

Konkurrensen mellan den *medicinska modellen* och den *sociala modellen* har länge varit en källa till problem inom omsorgsverksamheter för funktionshindrade respektive äldre människor. Problemen behöver inte nödvändigtvis bli större om också rehabiliteringsteknik tilldelas den roll som den faktiskt har. Snarare kan samverkan underlättas och konflikter mellan den medicinska och sociala modellen lösas upp genom att tekniken kan driva fram svar på frågor och göra det möjligt att prova på nya sätt.

7.5 En slutkontroll

Nu återvänder jag till denna avhandlings syfte som var tvåfaldigt. Den ville för det första presentera och analysera vad som *krävs* för att ett genuint ingenjörskunnande skall komma till sin rätt inom rehabiliteringsteknik när hela arbetet börjar och slutar hos den berörda människan. Jag menar mig via avhandlingen ha gett många exempel på detta och också ha synliggjort hur en top-down-modell för arbetet är nödvändig. På metanivån kan jag också lägga till att det krävs ett förändrat synsätt där det tekniska ges en egen domän, den *rehabiliteringstekniska modellen*. Det handlar här om en rehabiliteringsteknisk ingenjörskonst inom vilken teknik och människor *båda* ses som aktanter i Bruno Latours anda.

Det andra syftet var att presentera och analysera hur ett ingenjörsarbete inte bara kan förbättra förutsättningarna för ett görande utan också bidra till förståelsen av situationer och människor, deras förmågor, önskningar och behov. Det är det jag menar mig ha gjort i *Att göra för att förstå*.

7.6 Framtida möjligheter

Jag har i denna avhandling arbetat med externa kommunikationshjälpmedel baserade på rörelser hos användarna men är inte främmande för att i framtiden också arbeta med elektriska signaler inuti muskler eller hjärnan. Samarbete mellan de tekniska och medicinska världarna har resulterat i nya styrmöjligheter. T.ex. kan inopererade givarmatriser placeras på lämpligt ställe på motoriska hjärnbarken. Signalerna från givarmatrisen får styra något meningsfullt, t.ex. en dator eller proteser, och styrningen sker genom att användaren mentalt försöker att utföra vissa rörelser (Hochberg et al., 2006). Även enklare metoder (noninvasiva) som bygger på styrning med hjälp av skalpelektroder har utvecklats (Wolpaw & McFarland, 2004).

Styrning av handproteser med elektriska signaler från perifera eller centrala nervsystemet har bland annat utvecklats inom *The*

Artificial Hand Project, ett samarbetsprojekt mellan institutioner vid Lunds universitet och Malmö allmänna sjukhus (Sebelius et al., 2005; Sebelius, Eriksson, Balkenius, Laurell, 2006). Även styrning av förlamade lemmar kan i framtiden komma att ske genom datorstyrd elektrisk aktivering av lämpliga muskelgrupper. Kanske kan framtida teknik möjliggöra för hjärnan att åter styra sina egna förlamade lemmar.

Don't Try, Do It!

Referenser

Anderberg, P. (2006). *FACE*. Doktorsavhandling. Certec, LTH. Finns tillgänglig på: www.certec.lth.se/doc/face/

Beukelman, D., Yorkston, K., & Reichle, J. (Eds.) (2000). *Augmentative and Alternative Communication for Adults with Acquired Neurologic Disorders.* Paul H. Brookes Publishing Co.

Beukelman, D., & Mirenda, P. (2005). *Augmentative and Alternative Communication: Supporting Children and Adults with Complex Communication Needs*. Paul H. Brookes Publishing Co.

Bertelson, P., Mousty, P., & D'Alimonte, G. (1985). A study of Braille reading: II. Patterns of hand activity in one-handed and two-handed reading. *Quarterly J Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology.*; 37(2-A): 235-256.

Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B., & Wiliam, D. (2003). *Assesment for learning*. Open University Press.

Breidegard, B., Andersson, P. (1992). A design tool for architectural evaluation and rapid prototyping of performance critical digital systems. In *Proc. of the Third International Workshop on Rapid System Prototyping*, June 1992.

Breidegard, B., (2000). *En datorexekverbar modell för lärande*. Licentiatuppsats. Certec, LTH. Finns tillgänglig på: www.certec.lth.se/dok/datorexekverbarmodell/

Breidegard, B. (2002). Minimetern – modern och billig teknik hjälper svårt hjärnskadade människor att kommunicera. *Tidskriften Medikament*, Nr 8-2002.

Breidegard, B., Eriksson, Y., Fellenius, K., Jönsson, B., Holmqvist, K., & Strömqvist, S. (in press). Enlightened: The Art of Finger Reading. *Studia Linguistica.*

Breidegard, B., Fellenius, K., Jönsson, B., & Strömqvist, S. (in press). Disclosing the Secrets of Braille Reading – Computer Aided Registration and Interactive Analysis. *Visual Impairment Research.*

Breidegard, B. (submitted). Computer Based Automatic Finger and Speech Tracking System. *Behavior Research Methods.*

Brookner, E. (1998). *Tracking and Kalman Filtering Made Easy*. New York: Wiley.

Brooks, A., Hasselblad, S., Camurri, A., & Canagarajah, N. (2002). Interaction with shapes and sounds as a therapy for special needs and rehabilitation. *Proc of the 4th Int. Conf. on Disability, VF and associated technologies.* Hungary 2002, pp 205-212.

Brooks, A., & Petersson, E. (2005). Recursive Reflection and Learning in Raw Data Video Analysis of Interactive 'Play' Environments for Special needs Health Care. *Proceedings pp 83-87 of Healthcom 2005*, Korea.

Brusén, P. (2005). *Livet en gång till – En ryggmärgsskadad möter svensk handikappolitik.* Égalité, Malmö, Sweden.

Castells, M. (2000). The Information Age: Economy, Society, and Culture. 1st volume (of 3), *The Rise of the Network Society* (1996, revised edition 2000). Blackwell Publishers, Oxford, UK and Malden, MA, USA.

Csikszentmihalyi, M. (1991). *Flow: the Psychology of Optimal Experience.* New York, NY: Harper Perennial.

Dourish, P. (2001). *Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction.* MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Fält, A., & Jönsson, B. (1999). *Vad är rätt? Juridiska och etiska frågor i Certecs vardag.* Certec, LTH.

Hochberg, L., Serruya, M., Friehs, G., Mukand, J., Saleh, M., Caplan, A., Branner, A., Chen, D., Penn, R. & Donoghue, J. (2006). Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature* 442, 164-171 (13 July 2006)

Hutchins, E. (1996). *Cognition in the Wild.* MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Kruglinski, D., Shepherd, G., & Wingo, S. (1998). *Programming Visual C++*. Redmond, WA, USA: Microsoft Press.

Jönsson, B. (1996). *Datorns attraktionskraft*. Certec, LTH. Finns tillgänglig på: www.certec.lth.se/dok/datornsattraktionskraft/

Jönsson, B. (1997a) *Certec's Core.* Certec, Faculty of Technology (LTH), Lund University, Lund, Sweden. Available online at: www.certec.lth.se/doc/certecscore/index_t.html (May 24, 2006).

Jönsson, B. (1997b). *… det kan jag ju …* . Certec, LTH. Finns tillgänglig på: www.certec.lth.se/dok/detkan/

Jönsson, B., Philipson, L., & Svensk, A. (1998). *Vad vi lärt oss av Isaac.* Certec, LTH. Finns tillgänglig på: www.certec.lth.se/dok/vadvi/

Jönsson, B. (Ed.), Anderberg, P., Brattberg, G., Breidegard, B., Eftring, H., Enquist, H., Inde, K., Mandre, E., Nordgren, C., Svensk, A., & Whitelock, I. (2005). *Människonära design.* Studentlitteratur.

Latour, B. (1991). Technology is Society Made Durable. In J. Law (ed.), *A Sociology of Monsters. Essays on Power, Technology and Domination* (Sociological Review Monograph), pp. 103–131. Routledge, New York, NY, USA and London, UK.

Linetsky, M. (2001). *Programming Microsoft DirectShow*. Plano, TX, USA: Wordware Publishing Inc.

Löwgren, J. (2005). *On design and research*, (working draft version). Konst, kultur och kommunikation, Malmö högskola.

Mandre, E. (1999). *Designing Remedial Education: Education meets psychiatry*. Licentiate thesis. Certec, Faculty of Technology (LTH), Lund University, Lund, Sweden. Available online at: www.certec.lth.se/doc/designingremedial/ (May 24, 2006).

Mandre, E. (2002). *From Medication to Education: People with autism in adult psychiatry*. Doctoral thesis. Certec, Faculty of Technology (LTH), Lund University, Lund, Sweden. Available online at: www.certec.lth.se/doc/frommedicationto/ (May 24, 2006).

Millar, S. (1988). An apparatus for recording hand-movements. *Br J Visual Impair Blind.*; 1:87-103.

Millar, S. (1997). *Reading by Touch.* Routledge, London, New York.

Mousty, P., & Bertelson, P. (1985). A study of Braille reading: I. Reading speed as a function of hand usage and context. *Quarterly J Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology.*;37 (2-A):217-233.

Paesce, M. (2003). *Programming DirectShow For Digital Video, Television and DVD*. Redmond, WA, USA: Microsoft Press.

Petersson, E. (2006). *Non-formal learning through ludic engagement within interactive environments*. Doktorsavhandling i pedagogik, Malmö Högskola.

Salen, K. & Zimmerman, E. (2004). *Rules of Play. Game Design Fundamentals.* Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner. How Professionals Think in Action.* Basic Books, New York, NY, USA.

Sebelius, F., Eriksson, L., Holmberg, H., Levinsson, A., Lundborg, G., Danielsen, N., Schouenborg, J., Balkenius, C., Laurell, T., & Montelius, L. (2005). Classification of motor commands using a modified self-organising feature map. *Medical Engineering & Physics 27*, 403–413.

Sebelius, F., Eriksson, L., Balkenius, C., & Laurell, T. (2006). Myoelectric control of a computer animated hand: A new concept based on the combined use of a tree-structured artificial neural network and a data glove. *Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 30, No. 1*, January/February 2006, 2 – 10.

Strömqvist, S., Breidegard, B. & Holmqvist, K. (to be published). A new generation of infrastructure for research on basic language skills. Accepted for publication in the *Proceedings from the International conference Apprentissage des langues premières et secondes* edited by M. Kail, M. Fayol and M. Hickmann. Paris, Ministère de la Recherche: Recherche et nouvelles technologies, 2006.

Suchman, L., & Trigg, R. (1991). Understanding Practice: Video as a medium for reflection and design. In Joan Greenbaum and Morten Kyng (eds.), *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*, pp. 65–89. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, USA.

Werner, B., Ranerup, K., Breidegard, B., Jennings, G., & Philipson, L. (1992). *Werner Diagrams - Visual Aid for Design of Synchronous Systems.* Technical report, Department of Computer Engineering, Lund University, November 1992.

Vygotsky, L. (1930). *Mind in Society.* Harvard University Press. Cambridge, MA, USA.

Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge MA: Harvard University Press

Wolpaw, J., & McFarland, D. (2004). Control of a two-dimensional movement signal by a noninvasive brain-computer interface in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, vol. 101, n°51,* pp. 17849-17854.

Yarbus, A. (1967). *Eye Movements and Vision.* Plenum Press, New York.

Artikel 1:

Minimetern – modern och billig teknik hjälper hjärnskadade människor att kommunicera

Minimetern

– modern och billig teknik hjälper svårt hjärnskadade människor att kommunicera

Minimetern är ett nytt modernt hjälpmedel som ska hjälpa svårt hjärnskadade människor att kommunicera. Tekniken har utvecklats på Certec vid Lunds tekniska högskola av Björn Breidegard. Här skriver han om de erfarenheter som tekniken gett och om vilka möjligheter till utveckling av teknik och tillämpningar som är tänkbara.

Det finns ett antal svårt hjärnskadade personer som inte kan prata eller uttrycka sig på annat sätt än genom blundningar, gapningar och huvudvridningar, små fingerrörelser etc. I vissa fall är omvärlden osäker på huruvida ansatserna till kommunikation är medvetna eller inte. Personer i denna grupp behöver starkt individualiserade lösningar både för styrning och återkoppling. Provanvändningar har genomförts och pågår för tre svårt hjärnskadade personer och resultaten är goda, speciellt om man tar i beaktande att de berörda människornas övriga förmåga att kommunicera med omvärlden har varit i det närmaste obefintlig. Förändringen – att från det utgångsläget få möjligheten att generera en eller två kommandosignaler eller svara Ja eller Nej – är drastisk.

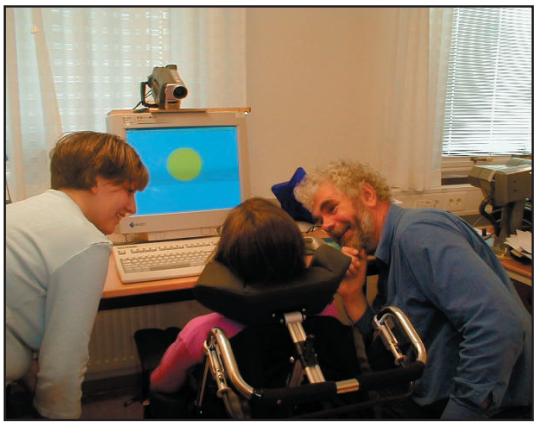
Historik

Första versionen av Minimetern togs fram (våren 1999) på Certec av Björn Breidegard för en flicka med förvärvad hjärnskada [1, 2]. Emma Nilsson, så gott som totalförlamad och stum, kunde utföra en minimal lillfingerrörelse i höger hand. Denna rörelse troddes vara viljestyrd och var hennes ”output”-signal till omvärlden. Lillfingerrörelsen användes som tecken för Ja, och utebliven rörelse för Nej. Denna kommunikation var mycket osäker, det fanns ingen unik signal för Nej och uttolkningen var subjektiv. Frågan är om denna kommunikation över huvud taget gav någon relevant information. Med Minimetern kunde Emma med sina minimala lillfingerrörelser tända en lampa, och hon kunde navigera i sin datoriserade bilddagbok (med specialdesignat användargränssnitt). Emma gavs möjlighet att för första gången på nio år själv ha initiativföreträde. Det var hon som hade kommandot. Vi lyckades dock inte då ge Emma någon möjlighet att svara Ja eller Nej.

Informationen om Emma och Minimetern spreds, och många i samma situation som Emma har inga användbara tekniska kommunikationshjälpmedel och behöver hjälp. De konventionella hjälpinstanserna har inte klarat att hjälpa dessa personer. Detta var ett incitament för mig att vidareutveckla den ursprungliga Minimetern till en större användargrupp, då behovet är mycket stort.

Enkelheten prioriteras

Vunna erfarenheter och ny kunskap gav fundamentet för nästa generations Minimeter. Funktionsmässigt skedde en över-



Emmas användargränssnitt – ett rullande klot som styrs med ansiktsvridningar.

Emma är på väg att svara Nej genom att vrida ansiktet åt vänster. När hon vridit lite till blir hela skärmen röd och ett Nej hörs i högtalarna. Emma har då svarat Nej.

gång till ren TV-kameateknik tillsammans med dator och specialdesignade datorprogram. Endast kommersiella och massproducerade produkter som kan köpas i TV-datoraffären används. Sådana har ett oslagbart pris/prestandaförhållande.

De tekniska ansträngningarna har lagts på en avancerad och specialdesignad mjukvara för att implementera den bildbehandling som behövs för att avkoda mänskliga ansiktsrörelser för styrning och för återkoppling.

Designprocessen har varit iterativ och baserats på successiv förfining. Intensiv visualisering (på datorskärmen) som återkoppling vid mjukvaruskapandet har använts för att skapa, förstå och finna fel. I görligaste mån har matematiskt baserade algoritmer använts. Då sådana inte funnits har heuristisk algoritmutveckling gjorts.

Grundkoncept

Tankar och idéer formaliserades till följande grundkoncept [3].

1. Att avkoda mänskliga ansiktsrörelser.
2. Att ge dessa rörelser en kommunikativ betydelse.
3. Att låta dessa rörelser styra något meningsfullt för den aktuelle användaren.
4. Att ge användaren en lämplig och individanpassad återkoppling, till exempel med bild och ljud för att underlätta styrningen.

Produktens förpackning

För att få en så billig och lättpaketerad produkt som möjligt har enbart massproducerade standardprodukter använts. Det som behöver köpas är en billig TV-kamera (en webb-kamera för ca 900:-) samt en modern standard-pc. Resten görs i programvara som enkelt distribueras och uppdateras på cd-skiva.

Användarstyrd teknik- och pedagogikutveckling

Teknik- och pedagogikutvecklingen har varit användarstyrd. Den individuella människan har varit drivkraften. Utvecklingsarbetet har skett iterativt med kontinuerlig provanvändning. Då man oftast inte har vetat särskilt mycket om provanvändarnas förmågor och intressen har metoden bredsåning [4] använts – en mängd idéer implementeras som sedan provas på användarna. De flesta faller på hälleberget, men somt faller i god jord. Dessa få livaktiga plantor tar man till vara.

Alla ingående delar har varit individanpassade för att just passa en enda individs mycket speciella och begränsade förmågor. Emellertid har en generaliseringseffekt uppkommit – vad som designats för en användare har, med vissa utökningar och modifieringar, visat sig vara användbart för en annan. På detta vis utvidgas konceptet till allt större användargruppers behov.

Tre provanvändare

Hittills har tre provanvändare testat Minimeterkonceptet och bidragit till utvecklingen. Emma har under de tre senaste åren, tack vare god sjukgymnastik, tränat upp förmågan att vrida huvudet åt vänster och åt höger. Emma kan nu ge två likvärdiga signaler: huvudvridning åt vänster definieras som Nej, och åt höger som Ja. Utebliven rörelse betyder nu inte Nej som tidigare utan helt enkelt uteblivet svar. Uttolkningen av svaret är objektiv – det är datorn som avgör svaret. Som återkoppling för att underlätta styrningen att svara Ja eller Nej visas ett stort gult klot på bildskärmen mot en himmelsblå bakgrund. Klotet följer Emmas minsta huvudrörelse så att hon kan se vart hon är på väg. När hon vridit huvudet lite till vänster (och klotet flyttat sig lite mot vänster) blir klotet rödare och rödare och då hon rullat klotet ända till skärmens vänsterkant blir hela skärmen röd och ett Nej hörs från högtalaren. När hon sedan vrider huvudet tillbaka blir klotet gult igen. På samma sätt blir klotet grönare och grönare ju mer åt höger hon vrider, och till sist blir allt grönt och det hörs ett Ja.

Att Emma kunde lära sig nya saker var tydligt. Varje gång Emma placerades framför kameran och datorskärmen började hon spontant att rulla klotet omväxlande åt vänster och höger.

Emma lärde sig snabbt att på uppmaning svara Ja eller Nej. Hon visade god svarsvillighet då riktiga frågor ställdes till henne – det blev oftast ett Ja eller Nej som svar. Att Emma kunde lära sig nya saker var tydligt. Varje gång Emma placerades framför kameran och datorskärmen började hon spontant att rulla klotet omväxlande åt vänster och höger. Hon lärde sig också en strategi: för att enklare få igång en huvudvridningsrörelse åt höger började hon med att ta sats genom en liten inledande vridning åt vänster.

Vi ställde olika slags frågor till henne, dels sådana som svaret kunde kontrolleras på, och dels sådana som skulle ge uttryck för hennes önskningar. En sådan var till exempel: Vill du ha paus, Emma? Om Emma då svarade Ja, så tog vi paus annars inte – Emma skulle själv få bestämma och ta konsekvenserna av sina svar. Vi frågade: Vill du ha chokladpudding när du kommer hem? Hon svarade Ja – och hon fick följaktligen chokladpudding då hon kom hem. Denna fråga avslutade fortsättningsvis varje övningspass – och hon svarade Ja varje gång. Efter ett antal gånger så svarade hon oväntat Nej. De närvarande i rummet reagerade starkt: det måste vara något fel på utrustningen – svaret var ju inte

Annas eget program.

Anna svarar Ja/Nej med sin joystick.

”rätt”. Hon fick frågan igen och svarade åter Nej. Efter ytterligare fem minuter ställdes frågan: Är du trött på chokladpudding, Emma? Hon svarade Ja.

Emmas Ja/Nej-styrning är objektiv. Den har likvärdiga rörelser för Ja och Nej och återkopplingen, i form av ett klot som ändrar färg, och följer Emmas minsta intentioner, visar Emma kontinuerligt vart hon är på väg. Hon kan ändra sig flera gånger innan svaret slutligen avges. Hon kan arbeta helt i sin egen takt.

I dagsläget är både Emmas mamma och hennes pedagog övertygade om att Emma, då hon är i verkligt god form, viljemässigt kan svara Ja och Nej. Vid vanliga Ja/Nej-frågor där svaret är känt till exempel: Heter din syster Nina?, Har du en bror? svarar Emma rätt på nästan alla. När Emma väljer musik, återkommer hon ofta till vissa låtar medan andra passeras förbi direkt. När Emma får välja på olika godisklubbor blir valet oftast Dumleklubba.

Mikael

Mikael är så gott som totalförlamad och stum. Han har enligt sin närmaste omgivning ett sätt att medvetet svara – genom att blunda ca en sekund. En individanpassning som bygger på Mikaels blundningar och intresse för musikartisten Michael Jackson designades. Kunde Mikael även vrida huvudet vänster/höger? Han fick pröva Emmas rullande klot och kunde omväxlande svara Ja och Nej. Vi ställde frågor och Mikael visade svarsvillighet. Vi frågade om han ville lyssna mer på Michael Jackson och han svarade Ja. Inga slutsatser om svarskorrektheten har dragits. Mikael får i fortsättningen använda den styrning och återkoppling som specialdesignades för Emma – en glädjande generaliseringseffekt. Mikael har nu även fått en styrning för att omväxlande kunna spela musik från cd-skiva och titta på bilder med vackra sångarflickor.

Anders

Anders är svårt rörelsehindrad och stum och kan helt uppenbart följa med i en kommunikation. Hans latenstider är sekundkorta, och han kan blunda och gapa på uppmaning. Vi bestämde oss för att blundning skulle betyda Ja och en gapning skulle betyda Nej. Vid första provtillfället hade Anders fått ögondroppar och hans Ja-blundning hade reducerats till ett svagt ögonlockfladder. Åter blev Emmas rullande klot räddningen. Anders förstod principen direkt och kunde svara Ja och Nej på uppmaning. Han svarade även på ett tjugotal frågor – och enligt hans mamma var alla svaren fullt rimliga. Anders skall fortsätta att använda huvudvridningen, men vi kommer även att lägga till att hans gapningar och blundningar ger någon form av styrning – till exempel blundning ger Hej och gapning Jag vill ha paus. Ju fler signaler det finns – desto bättre kommunikationsmöjligheter. Numera är Anders mamma och hans pedagog övertygade om att Anders svarar Ja och Nej med absolut avsikt.

En modern joystick med många knappar, handtagsvridning och force feedback kan ge Anna flera frihetsgrader att med sin goda handmotorik kunna generera tal.

Anna: att tala med joystick – ett spinoff-projekt

Anna är mycket svårt rörelsehindrad, blind och stum – och kognitivt alert. Med hjälp av sin pappa har hon fått systematisk träning och övat upp rörelseförmågan i höger hand: från att knappt ha kunnat röra ett finger till att börja kunna röra alla fingrarna oberoende av varandra. Anna kan på uppmaning röra pekfinger, tumme och så vidare och kan även röra armen.

Anna har fått träning i att hantera en joystick – och det visade hon vid ett Certecbesök. Hon har blivit duktig på detta. Men ingen hade tidigare anslutit joysticksladden till något. Det hände ingenting när hon tryckte och vred. Jag bad besökarna att gå och ta en kopp kaffe, kopplade in joysticken till Minimeterprogrammet, gjorde en del ändringar så att joystickrörelser alternativt joystickknapptryckningar

genererade Ja och Nej i högtalarna. Det var inte syntetiska Ja/Nej utan riktiga och bestämda kvinnoröst-Ja/Nej. Anna fick pröva – och hon tryckte (eller spakade) Ja och Nej. Framförallt blev det många Nej – Anna blev så glad – och det blev vi andra också.

Naturligtvis skulle Anna ha detta med sig hem till Stockholm så att hon kunde använda det på sin bärbara dator. En joystick inköptes och efter fyra timmars programmerande var allt klart: Anna hade fått ett alldeles eget program.

Detta är början till delprojektet Att tala med en joystick. En modern joystick med många knappar, handtagsvridning och force feedback kan ge Anna flera frihetsgrader att med sin goda handmotorik kunna generera tal. Förhoppningsvis skall det även kunna bli möjligt för Anna att på samma vis skriva text på datorskärmen. Det kan alltså bli möjligt att skriva med en joystick. Den stora bonusen med att låta "in house" programvara utgöra grunden för ett generellt kommunikationssystem är att en skräddarsydd verktygslåda byggs upp med åren, man återanvänder delar för nya tillämpningar, och för varje ny tillämpning har man en ännu större och bättre verktygslåda. Det var detta som gjorde att en förhållandevis liten arbetsinsats, som den vad gäller Annas joystick, kunde ge så mycket tillbaka. Det var en stark och glädjande upplevelse. Alla delar fanns redan färdiggjorda i verktygslådan – man "klipper och klistrar" ihop en ny tillämpning.

Framtida utvecklingsmöjligheter

Jag är förvissad om att den tekniska och pedagogiska grunden är stabil och ser med tillförsikt fram mot att vidareutveckla Minimetern mot större funktionalitet och större användargrupper. Här är några möjliga utvecklingsområden.

• Ögonpekning. Alla tre provanvändarna har visat att ögonrörelser kommer före huvudvridningen. Först tittar ögonen åt valt håll, och sen kommer en eventuell huvudvridning. Programmet skall vidareutvecklas för att även kunna avkoda ögonpekning och använda denna i styrningen och återkopplingen.

• Musersättning. Genom att vrida huvudet vänster/höger/upp/ned samt ögonblinka för musklick kan den konventionella musen ersättas. Ju bättre precisionen blir desto större blir användargrupperna.

• Ögonmusersättning. Musmarkören följer vart ögonen tittar. Ögonblink används för musklick.

• Avkodning av ansiktsuttryck. Blinkningar, gapningar, leenden, grimaser, smärta och så vidare används för styrning – en rejäl utmaning. En målgrupp här är flickor med Retts syndrom.

• Fler styrningar. Fler generella styrningar kommer att designas, till exempel hierarkiska bilddagböcker, jukeboxar för musiklyssning eller skrivbord för textinmatning.

• Flera inmatningsenheter. Till exempel mikrofon för tal och ljud.

• Andra kroppsdelars rörelser. Annat än ansiktsrörelser kommer att användas.

• Elektrofysiologiska signaler. Hjärnvågor, hjärtvågor, andning, muskelspänning, hudresistans och så vidare kan komma att användas för styrning.

Om Certec

Vid Certec, en avdelning inom designinstitutionen vid Lunds tekniska högskola, pågår omfattande forskning om rehabiliteringsteknik under ledning av professor Bodil Jönsson. Certecs forskning och utbildning har en uttalad avsikt: att människor med funktionsnedsättningar skall få bättre förutsättningar genom en mer användvärd teknik, nya designkoncept och nya individnära former för lärande och sökande. Drygt tjugo människor arbetar på Certec, nio av oss har forskarexamen (doktor eller lic), sju är forskarstuderande. Den årliga omsättningen är cirka 12 miljoner kronor. Besök gärna vår innehållsrika website: www.certec.lth.se.

Björn Breidegard
tekn. lic.
Certec
Lunds tekniska högskola

Sammanfattning

Jag har designat en produkt, Minimetern, vars syfte är att med hjälp av modern och billig teknik hjälpa svårt hjärnskadade människor att kommunicera. Minimetern har tre delar: en billig TV-kamera riktad mot användarens ansikte, en modern standard-pc och programvara som enkelt distribueras och uppdateras på cd-skiva.

All teknisk och pedagogisk funktionalitet har implementerats i specialdesignad mjukvara baserad på bildbehandling som avkodar mänskliga ansiktsrörelser, ger rörelserna en kommunikativ betydelse för individanpassad styrning, inklusive återkoppling.

Provanvändningar har genomförts där resultaten är synnerligen goda, speciellt om man tar i beaktande att de berörda människornas övriga förmåga att kommunicera med omvärlden är i det närmaste obefintlig. Förändringen – att från det utgångsläget få möjligheten att generera en eller två kommandosignaler eller svara Ja eller Nej - är drastisk.

Teknik- och pedagogikutvecklingen har varit helt användarstyrd. Den individuella människan har varit drivraften. Utvecklingsarbetet har skett iterativt med kontinuerlig provanvändning.

Referenser

1. Breidegard, B, Jönsson, B (1999), En Minimeter till Emma URL: www.certec.lth.se/minimetern

2. Aesthetic Expression of Feelings – Workshop at the i3 Spring Days 2001, Porto, Portugal. URL: http://www.dfki.de/imedia/workshops/i3spring01/w1/index.htm

3. Breidegard, B (2001) The Minimeter Maxi for People with Disabilities – A General Interface for Computer Control and Feedback i ÖGAI-Journal, Jahrgang 2001, Nr.2 (Österreichische Gesellschaft für Artificial Intelligence).

4. Jönsson, B., Philipson, L., Svensk, A. (1998). Vad vi lärt oss av Isaac. Certec, LTH, ISSN 1101-9956. URL: www.certec.lth.se/dok/vadvi/index.html

Artikel 2:

Enlightened: The Art of Finger Reading

Accepterad för publicering i Studia Linguistica

Enlightened: The Art of Finger Reading

B. Breidegard,[1,*] Y. Eriksson,[2] K. Fellenius,[3] B. Jönsson,[1] K. Holmqvist,[4] S. Strömqvist[5]

For some forty years the eye-tracking technology has facilitated the study of eye movement patterns for sighted people during reading and other visual activities. Today – a newly developed automatic finger tracking system makes it possible to reconstruct blind people's tactile reading in real time and to automatically analyze finger movements during Braille text reading and tactile picture recognition. In this case study, the very first automatic finger tracking system is presented together with results indicating how Braille readers can increase awareness of their own reading styles. This opens up for future Braille education to become more evidence-based and, at the same time, for a new research field: contrastive studies of language in its auditory, visual and tactile manifestations.

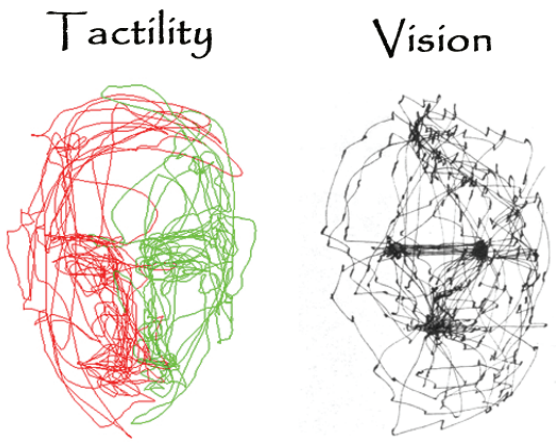


Figure 1 | How is the art of finger reading accomplished? When a sighted person is reading text or viewing still pictures, the eyes are blind during the fast saccadic movements, taking in information only during still standing fixations. Both eyes are directed at the same point, which usually coincides with the locus of visual attention. In contrast, tactile reading in blind people necessitates that the fingers are in motion for the perception of information. In tactile perception, the two hands can move independently, perhaps simultaneously taking up information from more than one position. The right picture shows the totality of saccades and fixations from the eye's visual exploration of a picture of a face (photograph S. Fridyland, from Yarbus, 1967)[1]. The left picture shows the totality of trajectories of the left and right index fingers (red and green respectively) during the hands' tactile exploration of a tactile picture of a face. Both the fixations and finger movements cluster around the eyes, mouth and nose – objects which are criterial to the categorization of the depicted entity as a face.

Blind readers read by touch, using systems for tactile writing, the main one being Braille. Reading in the tactile modality is associated with several constraints and strategies which make it different from visual reading. An important approach to understanding the art of tactile reading is to analyze how it unfolds in real time.

The enhanced accessibility of computers and information technology as research tools in the late 1970s and early 1980s meant a breakthrough for the study of the online patterning of language behaviour. As a result, we now have an enhanced understanding of basic linguistic skills – listening, speaking, reading, and writing. The new line of research has been instrumental in articulating an interface between language and cognition.[2-7] It has also helped refuting erroneous hypotheses about the processes of reading and writing and it has helped advancing research on impaired language users as well as diagnostic methods for identifying language users with reading and writing difficulties.[8-11] In research on reading and picture-viewing in normally sighted persons, there is an established and expanding research based on eye tracking.[12,13] In the absence of a corresponding computer-based technology for the study of blind readers, research on the temporal and spatial characteristics of tactile reading has been scarce. In a pioneering non-computer based study, Millar[14] video filmed tactile reading in visually impaired subjects, and analyzed their reading behaviour on the basis of manually coded video frames.

The lack, so far, of a system equivalent to the eye tracker but tailored to the study of tactile reading has severely hampered the process of integrating the study of tactile reading with the modern psycholinguistic and cognitive paradigm. In effect, the community of Braille readers has not yet been able to profit from an important source of knowledge about their own reading. Further, the scientific community has not yet been able to investigate one of the worldwide manifestations of language, that is, language by touch, and to subject it to scientific comparison with language by eye and by ear. Spoken and written language are known typically to differ along a number of dimensions, notably the duration of the signal, sensory modalities, and distribution of expressive features – differences which all have implications for processing constraints and emergent patterns of communication.[6] These differences are summarized in Table 1. The duration of the physical signal is very short in spoken language, whereas it is long in written language. In spoken face-to-face communication, a combination of auditory and visual information is typically used – the voice,

[1]Certec, Division of Rehabilitation Engineering Research, Department of Design Sciences, Lund University, P.O. Box 118, SE-22100 Lund, Sweden. [2]Department of Art History and Visual Studies, Göteborg University, P.O. Box 200, SE-40530 Göteborg, Sweden. [3]Department of Human Development, Learning and Special Education, Stockholm Institute of Education, P.O. Box 34103, SE-10026 Stockholm, Sweden. [4]Centre for Languages and Literature, Lund University, P.O. Box 201, SE-22100 Lund, Sweden. [5]Department of Linguistics and Phonetics, Lund University, P.O. Box 201, SE-22100 Lund, Sweden. [*]To whom correspondence should be addressed. E-mail: bjorn@certec.lth.se

Table 1 | Some properties and processing constraints of spoken communication, written visual, and written tactile communication.

	spoken	written	
		visual	**tactile**
duration of the signal	very short	long	long
sensory modalities	multimodal: hearing and vision	monomodal: vision	monomodal: touch
distribution of expressive features	simultaneous and linear	predominantly linear	exclusively linear

gestures and facial expression – whereas written language communication is monomodal. The distribution of expressive features in spoken communication is both linear (one word after the other) and simultaneous (combinations of words with voice quality and gestures), whereas it is predominantly linear in visual written language (a counter example is when you italicize a word). In tactile written language, though, you are confined to an exclusively linear distribution of expressive features (for example, the italicization of a word is indicated through a so-called metacharacter immediately preceding the first letter of the word in question). The contrastive study of language in its auditory, visual and tactile manifestations therefore offers a hitherto under-explored window on language, perception and cognition.

In what follows, the very first automatic finger tracking system is presented in some detail, together with a few analysis examples and research questions which can now be subjected to scientific investigation. The finger tracking system is presented in the context of a recently concluded feasibility project. The aim of this project was twofold: to design a well functioning automatic finger tracking system and to demonstrate its usefulness for analysis purposes in a small-scale pilot project with blind research persons. Seven adult blind Swedes, all experienced Braille readers, participated in the pilot study. Their reading behavior was video recorded by the computer and the recordings were later analysed by the Automatic Finger Tracking System (AFTS). All the examples and results below refer to one of the seven research persons, S.B, a congenitally blind reader in his late 50s (Fig. 5).

Some first analyses

Fig. 2a illustrates the automatic reconstruction by the AFTS of a fragment of Braille reading. The text fragment in Fig. 2a is taken from Pippi Longstocking and reads, in English translation, "...the girl with the big shoes. All of a sudden, Tommy was wide awake.". The visualization shown in Fig. 2a is a selective exploration pattern tracing only the movements of the left and right index fingers. The pattern shows that the left index finger is mainly used for reading the left part of each line, and the right index finger the right part of the line. In the middle part of each line, the two fingers are reading in parallel. The pattern tracing can be extended to encompass additional fingers, in order to analyze their role in the reading process. For example, the left index finger often starts reading a new line only from the second or third character of the first word and onwards. By inspecting the original video, it was discovered that S.B. was using his left middle finger to decode the leftmost characters on each new text line. When he was made aware of this reading strategy in a post-reading debriefing interview, he reacted with both surprise and considerable interest.

The next simple pilot analysis was to let the AFTS compute the time percentages for the different parts of the text-line reading cycles visualized in Fig 2a. The text-line reading cycle was divided into four parts: RR (both fingers are reading from left to right), LR (left finger makes a return sweep – from right to left – to the beginning of the next line, right finger continues reading), LL (both fingers are making return sweeps) and RL (left finger is reading again, and right finger is still making a return sweep). The time percentages for the four phases were:

- **RR** 58 %
- **RL** 24 %
- **LR** 9 %
- **LL** 9 %

This particular reader spends most of the time (58%) reading with both fingers in parallel, 24% reading with the left index finger only, and 9% reading with the right index finger

Figure 2 | a, The trajectories of the two index fingers reading Braille text. The red trace indicates how the left index finger has moved over the page, and the green trace indicates the movements of the right index finger. **b, The eye movements of a normally sighted reader reading the same text fragment as in pane a in black print.** The eye movements were detected by an eye tracker. The lines depict saccades, whereas circles depict fixations. **c, The tactile reading cycles analyzed in terms of five types of trajectories.** Turquoise arrow: left index finger moving forward over the first fragment of a line. Red arrow: both left and right index fingers moving forward in parallel over the middle fragment of the line. Grey arrow: left index finger moving to the next line. Yellow arrow: right index finger moving forward over the last fragment of the line. Green arrow: Right index finger moving to the next line.

only. In 9% of the time, the fingers are engaged in return sweeps, that is, phases of transportation to the next line. The left index finger is engaged in reading in 82% and the right index finger in 67% of the total reading time. Although S.B., our research person, is not left-handed, his most employed reading finger was nonetheless the left index finger.

The left part of Fig. 1 shows the corresponding analysis of the exploration by S.B. of a tactile picture showing a human face. Just like for the text reading activity, the spatial exploration in Fig. 1 reveals that the left part is mainly decoded by the left index finger and the right part by the right index finger. Visual inspection of the video recording further demonstrated that S.B. often used simultaneous highly correlated finger movements, but sometimes explored individual details in the picture with only one hand.

Tactile reading compared to visual reading

Fig. 2a depicted the trajectories of the right and left index fingers as S.B. was reading a text page in Braille. Fig. 2b shows the eye movements of a normally sighted subject reading the same text fragment in black print. The eye movements were detected by an eye tracker. The lines depict saccades (fast movements typically varying between 20 and 30 ms during which the eye is blind), whereas circles depict fixations (periods typically varying between 160 and 220 ms when the eye is standing relatively still, which permits it to take in information). Just like the tactile reader in Fig. 2a the sighted reader in Fig. 2b is making fast return sweeps between the lines. But what is the functional equivalent of fixations in tactile reading? That is, since the fingers are taking in information only during phases of motion, what are the motion characteristics of tactile reading? A closer analysis of the tactile trajectories and their temporal profiles during text reading offers a window on this process.

For the purpose of a more fine-grained analysis, the reading cycles described in relation to Fig. 2a (i.e. RR, RL, LR, LL) were broken down into five types of trajectories by the individual index fingers (Fig 2c).

The finger movements to the next line all show ballistic profiles with three sub-components: an acceleration phase, a temporal peak, and a subsequent deceleration phase. This profile is typical of a return sweep. The subject is not concerned with taking in information, but is trying to reach a position on the next line as fast as possible. In contrast, the forward (right) movements over the text line tend to have a slower and more even speed, resulting in a plateau-shaped speed-over-time profile. We suggest that this plateau-shaped profile is indicative of reading proper, that is, that plateau-shaped phases of this kind in tactile reading functionally correspond to fixations in visual reading.

In visual perception, foveal vision is constrained to just a little more than one degree of the visual field. The further away from the focus, what is referred to as parafoveal vision, the less distinct the appearance of visual stimuli. Still, parafoveal vision plays an important role in both reading and picture viewing. For example, for the reading eye, it is sufficient to spend only one fixation on a word of up to 7 letters in order to read the word. At the same time, parafoveal vision allows the reader to pre-inform himself about words which are around 15 letters away in the direction of reading. An important question for further research using the Automatic Finger Tracking System, is to determine whether there are functional similarities to foveal and parafoveal perception in tactile reading. How many fingers can simultaneously be involved in reading? When several fingers are active, is the index finger dedicated to the perceptual focus and the rightmost fingers free to pre-inform the reader about information within close reach?

The power of parafoveal vision in perception can be effectively illustrated by comparing the visual versus tactile picture exploration patterns in Fig. 1. Due to parafoveal vision, the sighted person only needs a few glimpses to determine that he is looking at a face. In contrast, the exploration of the tactile picture is more cumbersome. The tactile picture is initially explored by S.B. through simultaneous highly correlated movements by the two hands, before he discovers those parts of the picture which provide effective cues for categorizing the picture as a face, namely, the eyes, mouth and nose. However, once the categorization has been made and the picture has been thoroughly explored, the totality of the finger trajectories during tactile exploration, just like the totality of saccades and fixations during visual exploration, form the perfect shape of a face (Fig. 1).

The Automatic Finger Tracking System

The technical goal of the feasibility project was to design:

1. An automatic computerized system for online recording of finger movements during Braille reading or tactile picture viewing.
2. An interactive program for the analysis of the recordings.
3. Automatized computer analyses of the recordings for visualizing reading patterns and for deriving corresponding statistics.

The realization of these three steps resulted in a small-scale tactile lab (Fig. 3).

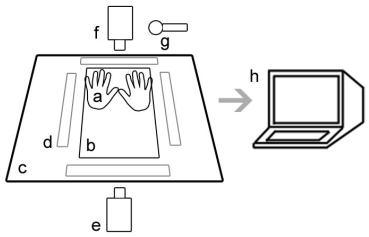


Figure 3 | Schematic picture of the small-scale tactile lab. a, Reading hands. **b,** Semitransparent Braille page. **c,** Solid, transparent glass plate also functioning as a part of the table. **d,** Illumination directed upwards to the Braille page. **e,** Upward-directed camera registering the fingers from below. **f,** Camera registering the fingers from an angle above. **g,** Microphone. **h,** Computer registering and storing the two video streams.

The frame rate of the two cameras was 25 frames per second; the resolution of the first camera (E in Fig. 3) was 768 x 576 pixels, and of the second camera (F in Fig. 3) 320 x 240 pixels. The microphone was used to register the conversations and oral reading during the test sessions.

The two cameras and the microphone were connected to a standard Windows PC computer. A recording program was designed to combine the two video streams and the audio stream for storage as one audio-video file on the hard disk. The program also monitored the video streams on the computer screen for calibration and checking. The video frames from the upward camera was first mirrored in the horizontal direction,

and then cropped before display and storage. The recordings were finally saved as MPEG compressed files (to save disk space). The recordings could also be stored on standard DVD discs. This was a great benefit in that the recordings could be distributed easily among the project members.

For the interactive analysis and evaluation of the recordings, a standard home DVD player was not versatile enough. A special purpose interactive analysis program was designed (an advanced DVD player). New functions were successively added to this program as the project researchers discovered more about the art of finger reading and specified new analysis needs. The program is able to display two video streams and one audio stream, and basic functions such as record, play, pause and stop. Among the added functions are playback rate selection, extended navigation tools such as repetition of user selected sequences, and a manual stop-watch function. It also offers the possibility to use the position data created by the automatic finger tracking analysis to display the video recording in a clear and readable form (right part of Fig. 4).

In previous research[14,15] it was necessary to manually analyze the finger positions for each video frame (25 frames per second), a tedious and time-consuming task. In contrast, with the Automatic Finger Tracking System it takes only about five minutes automatically to analyze one minute of recording.

The first step in the automatized analysis is to translate the Braille dot patterns into plain text for ease of reading for those analysts who are not versatile Braille readers. The second step is to compute the positions of the two reading fingers 25 times per second and to map them as red and green circles onto the plain text (Fig. 4). In Fig. 4 the left index finger is between K and U in the Swedish word “SKUTTADE” (English “jumped”), and the right index finger between V and I in the word “KVICKT” (English “vigorously”). The positions for the two index fingers are stored in a computer file that can be used not only for our analysis but also for conversion to formats suitable for other programs, e.g. software for eye-tracking analysis.

Technically, the automatic translation from Braille to plain text stage is based on template matching. The video frame of the Braille page (with its embossed and black-printed dots) is analyzed. The incoming video frame contains noise, and the illumination is not evenly distributed. The template matching algorithm finds all Braille dots and computes a synthetic image where all Braille dots are black, and everything else is white. The next step is to identify the positions of all Braille cells (letters and digits). The white horizontal and vertical spaces between Braille cells are used to compute an orthogonal grid that guarantees that there is exactly one Braille cell somewhere in each square in the grid. A template for each Braille character is then swept through each grid square and the character with the best match is chosen. As an extra safety precaution a check sum is used, the chosen Braille character must have the same number of dots as there are dots in the grid square. In this way the plain text is obtained (Fig. 4).

The automatic finger tracking stage is based on template matching and a tracking filter algorithm called a steady-state Kalman filter[16]. For each video frame, the filter estimates the position of a fingertip by knowledge of the past history of fingertip positions. Template matching is performed in a search window centred on the estimated position to find the exact position of the fingertip. A synthetically generated template resembling a fingertip is used. The template is circular to avoid problems with fingertips that are rotated during the reading process. The starting positions for the index fingers are marked interactively in the computer display with the mouse. Then, the tracking algorithm automatically tracks the two finger positions and stores them on a hard disk file. This process will continue to the end of the recording. During reading, especially tactile pictures, finger constellations sometimes emerge (fingers from

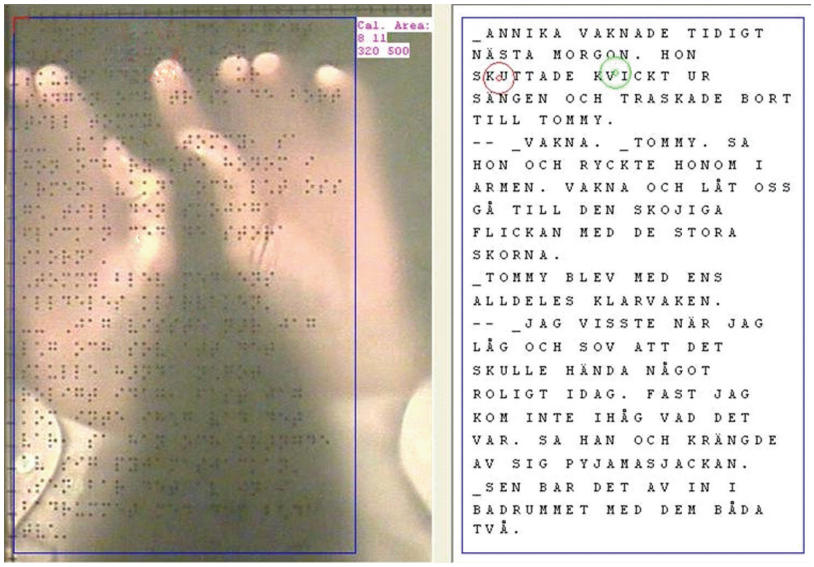


Figure 4 | Automatized image analysis. The left part shows the video recorded by the upward camera. The fingertips are naturally accentuated in that they turn white when pressed against the reading material – a property used by the automatic analysis program. The right part shows the same video image automatically analyzed with the plain-text as background and the two index fingers marked by a red (left) and green (right) circle respectively.

both hands intertwined or overlapping) that defy automatic tracking. Here, the human eye must do the analysis and recalibrate and/or trim the tracking algorithm with the correct position of the fingertip. In order to include these particular events in the analyses, around ten minutes of manual calibration or trimming is needed for a recording containing several thousands of video frames. The return sweeps during the reading of Braille text can also cause problems – they are sometimes too fast to be picked up by the current sampling rate (25 video frames per second). In our further development of the AFTS, we will increase the sampling rate, to obtain a more fine-grained analysis.

The future

The Automatic Finger Tracking System opens a wide range of research opportunities and applications. First, the automaticity greatly facilitates the study of large numbers of readers of Braille and tactile pictures – studies which have hitherto been unrealistic. Further, we expect these studies to lay the foundation of a new generation of tests and diagnostic procedures as well as support tools integrating the online dimension of tactile reading. Second, by virtue of the interactive qualities of the AFTS analysis module, researchers and subjects are encouraged to engage in a fruitful dialogue about the development and potential of the AFTS. Indeed, the three main principles of user-centred design[17] – early focus on users and tasks, empirical measurements and iterative design – have been applied throughout the AFTS feasibility project, and this has been decisive for its outcome.

Figure 5 | Joint exploration and discovery. S.B. (key research person, right) together with researchers in the tactile lab.

The time factor is often critical in habilitation and rehabilitation[18]. Blind (or low vision) children are aging at the same rate as are able-bodied, and deserve to get at least as relevant, adapted and individualized instructions and help with their Braille reading as do sighted children with their visual text reading. So far, however, the insights into different Braille reading styles have been rather vague and superficial. Thus, parts of the training are currently based on assumptions of best strategies of choice. Consequently, AFTS results can be most helpful for the teaching as well as the learning of Braille reading skills. The technology can serve as an eye-opener (for teachers and Braille readers), increase awareness and situated understanding, enhance the precision of instructions and help students and teachers share a common, concrete insight into the performance of Braille reading. This comes close to Vygotsky's words on how certain aspects are better expressed through actions than through verbalization[19].

Further research in our tactile lab includes longitudinal studies of visually impaired children learning Braille, studies of the interaction between Braille and tactile pictures, and the contrastive study of language behaviour by ear, eye and touch.

1. Yarbus, A. L. *Eye Movements and Vision* (Plenum Press, New York, 1967).
2. Levelt, W. *Speaking* (MI T Press, Cambridge, MA, 1989).
3. Hyönä, J., Lorch, R. F. & Kaakinen, J. Individual differences in reading to summarize expository text: Evidence from eye fixation patterns. *Educ. Psychol.* **94**, 44 (2002).
4. Strömqvist, S., Holmqvist, K., Johansson, V., Karlsson, H. & Wengelin, Å. What key-stroke logging can reveal about writing. In Sullivan, K. & Lindgren, E. Eds. *Computer Key-stroke Logging and Writing: Methods and Applications* (Kluwer Academic, Dordrecht, in press, 2005).
5. Levy, C. M. & Ransdell, S. Eds. *The Science of Writing: Theories, Methods, Individual Differences and Applications* (Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ, 1996).
6. Strömqvist, S., Nordqvist, Å. & Wengelin, Å. Writing the frog-story: Developmental and cross-modal perspectives. In Strömqvist, S. & Verhoeven, L. Eds. *Relating Events in Narrative – Typologiocal and Contextual Perspectives* (Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ, 359-394, 2004).
7. Alves, R., Castro, S. L., de Sousa, L. & Strömqvist, S. The cognitive cost of execution in written composition. In Galbraith, D., van Waes, L. & Torrance, M. Eds. *Recent Developments in Writing Process Research. Volume I: Basic Processes and Word-level Effects,* (Kluwer Academic, Dordrecht, in press, 2005).
8. Rayner K. Eye movements in reading and information processing. *Psychol. Bulletin* **85**, 618 (1978).
9. Loncke, F., Clibbens, J., Arvidson, H. & Lloyd, L. Eds. *Augmentative and Alternative Communication: New Directions in Research and Practice* (Whurr, London, 144-149, 1999).
10. Wengelin, Å. Text writing in adults with reading and writing difficulties. *Gothenburg Monographs in Linguistics* **20** (2002).
11. Erskine, J. Group and individual differences in the local level writing strategies of adult dyslexics attending higher education. In Strömqvist S. & Ahlsén E. Eds. The process of writing - a progress report. *Gothenburg Papers in Theoretical Linguistics* **83**, 103-118 (1999).
12. Holmqvist, K., Holsanova, J., Barthelson, M. & Lundqvist, D. Reading or scanning? A study of newspaper and netpaper reading. In Hyönä, J., Radach, R. & Deubel, H. Eds. *The Mind's Eye. Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research* (Elsevier Science, Amsterdam, 657-670, 2002).
13. Holsanova, J. Picture Viewing and Picture Descriptions – Two Windows to the Mind, Lund University Cognitive Studies **83** (2001).
14. Millar, S. *Reading by Touch (*Routledge, London, New York, 1997).
15. Mousty, M. & Bertelsen, P. A study of Braille reading: Reading speed ass a function of hand usage and context. *Quarterly J. Exp. Psychol.* **217**, 217-233 (1985).
16. Brookner, E. *Tracking and Kalman Filtering Made Easy* (Wiley, New York, 1998).
17. Gould, J. D. & Lewis, C. Designing for usability: Key principles and what designers think. *Comm. of the ACM*, **28**, 300-311 (ACM Press, New York, 1985). See also http://doi.acm.org/10.1145/3166.3170, (2 May 2004).
18. Jönsson, B. *et al.* Situated research and design for everyday life. To be published in *Proc. 1st Nordic Design Research Conference "In the Making"* (Danish Center for Design Research, Copenhagen, 2005).
19. Vygotsky, L. S. *Mind in Society* (Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 1930).

Acknowledgement The feasibility study was supported by the Swedish Council for Working Life and Social Research (FAS), grant no 2002-0567.

Author Contributions B. B. has a long-standing experience in computer engineering. He is the designer of the Automatic Finger-Tracking System and the main author of the article. Y. E. is ass. prof. of history of arts with an expertise in tactile pictures. She helped designing the study, collecting the data, interpreting results concerning tactile picture-viewing, and writing the article. K. F. is a senior lecturer of educational science with an expertise in the pedagogy for the visually impaired. She helped designing the study, recruiting the subjects, collecting the data, interpreting the results, and writing the article. K. H. is ass. prof. of cognitive science and an expert in eye-tracking. He helped formulating hypotheses, interpreting the data and writing the article. B. J. is professor and founder of the Division of Rehabilitation Engineering Research, Lund University. She helped designing the study, interpreting the data and writing the article. S. S. is professor of linguistics with a wide research interest in languages, communication and thought. He is the principal investigator and the main co-author of the article.

Artikel 3:

Disclosing the Secrets of Braille Reading – Computer Aided Registration and Interactive Analysis

Accepterad för publicering i Visual Impairment Research

Disclosing the Secrets of Braille Reading – Computer Aided Registration and Interactive Analysis

Björn Breidegard[1]
Kerstin Fellenius[2]
Bodil Jönsson[1]
Sven Strömqvist[3]

[1]Certec, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, Sweden
[2]Stockholm Institute of Education, Department of Human Development, Learning and Special Education, Stockholm, Sweden
[3]Centre for languages and literature, Lund University, Lund, Sweden

Abstract The pilot project reported here utilized the first technology ever developed for computerized on-line registration and analysis of finger movements during Braille reading. Five congenitally blind subjects performed tactile reading of pedagogically carefully selected texts. Two specialists in visual impairments analyzed the computer registered reading activities using specially designed interaction software. The subjects themselves were interviewed and contributed to discussions about their own individual reading styles. The analyses of this first handful of subjects reveal a number of important strategies and preferences in on-line tactile reading. Further, the results challenge several assumptions and practices in Braille teaching. The pilot project lays the foundation for more comprehensive large-scale studies – both cross-sectional and longitudinal ones – studies long wanted in the domain of tactile reading.

Keywords Visual impairment, Braille reading, Braille education, hand movements, on-line registration, computer aided registration, interactive analysis program

Correspondence and reprint requests to:
Björn Breidegard

Certec, LTH
P.O. Box 118
S-221 00 Lund
Sweden
E-mail: bjorn@certec.lth.se

Acknowledgements:
The feasibility study was supported by the Swedish Council for Working Life and Social Research (FAS), grant no 2002-0567 and the follow-up project "The Tactile Reading Process" (2006-).

Introduction Computer based technologies for the study of tactile reading have been developed only very recently.[1] The current interdisciplinary pilot project (involving experts from computer engineering, rehabilitation technology, linguistics, cognition, education, and art) is the first to utilize a computer based on-line registration of finger movements during Braille reading and an interactive computer-aided analysis of the results.

Until now, registration and analysis methods have been based on video technology. Bertelson and Mousty designed registration equipment based on two television cameras, a microphone, a digital timer, a video combiner, and a video recorder and carried out two studies.[2,3] Data were combined and recorded on a video recorder. The purpose was to find out how reading speed is affected by hand usage (left hand only, right hand only, and both hands) and types of text (prose, statistical approximations, and scrambled words). The human analysis was carried out by playing back the recordings on a TV monitor. Susanna Millar[4]

performed a pioneering study, also based on video registration equipment similar to Bertelson and Mousty's. However, Millar used transparent Braille sheets and filmed the hand movements from below, yielding an extremely good output on the TV monitor. The reading behaviors were analyzed on the basis of manually coded video frames. The general purpose of Millar's study was: "to find out more how Braille reading takes place as a means of improving the conditions of learning". In this project, we filmed from below through transparent Braille sheets as did Millar, but we used computer based registration and analysis. As a supplement, we also had a conventional video camera recorder capturing images and sound from all the registrations and interviews.

HAND MOVEMENT AND BRAILLE READING The slow reading rate in Braille in comparison to ink print reading is a constant dilemma in education, particularly when the Braille reader is participating in the same classroom as ink print readers and is supposed to carry out the same tasks. Methods and materials to make Braille reading more efficient and comparable to ink print reading are among the key issues of Braille pedagogy. A skilled Braille reader reads at about half the speed of a good print reader.[5-7] In visual reading the two eyes move together over the text line. Braille is mostly read by using both hands, which, completely or partially, follow each other along the line. There are also readers who only use one hand.[8-10] Fast Braille readers utilize two hands during reading.[6,11,12] The tasks of each hand have been subject to much discussion. Hypotheses about several fingers on the line increasing the "perceptual window" and making it possible to read larger units than a single character at a time have also been investigated.[13] The hands may have different and varying functions during reading depending on the nature of the reading task. One hand may read while the other has a place-keeping function.[4] Bertelson, Mousty and D'Alimonte have studied one- and two-handed reading and the movements of each hand on the text line.[2] They observed two distinct modes of hand cooperation, and a third mode combining the two:

1. *Conjoint exploration* The two index fingers proceed along the text line, often touching each other. Here the fingertips are about one or two Braille characters apart. In complete conjoint exploration the two index fingers proceed together even during return movements (lowering the overall speed) as opposed to conjoint exploration with separate return movements.
2. *Disjoint exploration* The two index fingers simultaneously or successively explore different parts of the text, e.g. while one hand explores one part of the text, the other navigates to the next line, or explores another part of the text. Advanced disjoint readers can perform *simultaneous disjoint exploration* (SDE). While the right hand reads the end of one text line, the left hand has started reading the leftmost part of the next text line.
3. *Mixed exploration* The most common mode is mixed pattern exploration, which combines conjoint and disjoint exploration. Typically, the left hand starts reading the line alone, and then meets the right hand as it is returning from the previous line. The two hands then explore the median text segment in conjoint mode until the left hand starts the

return movement to the next line, while the right hand in parallel finishes reading the current line.

The two distinct and primary modes, conjoint and disjoint exploration, are not very common. Most readers use *mixed pattern exploration*, which combines conjoint and disjoint exploration. A mixed pattern reader can be more or less conjointed. The mixed exploration can be seen as a continuum with conjoint and disjoint exploration as the end points.

"The evidence on hand use in Braille can certainly not be interpreted in any simple one-to-one fashion"[9], ibid. p. 68. The reader is often aware of his best hand and best finger, even when using several fingers simultaneously to decode. Further, the choice of a dominant reading finger/hand has not shown any correlation with laterality of other motor activities.[14] The reading rate in silent Braille reading is often the same as in reading aloud (in distinction to reading in sighted readers, where reading aloud is usually slower).[15] Skilled Braille readers, however, read faster silently than orally.

Traditionally, there has been a focus on decoding skills and closely associated subprocesses. Today, there is a growing awareness of the need to take into account other skills and processes, such as linguistic and cognitive ones. There is also a growing awareness that different reading tasks may require partly different reading strategies. The new approaches also have implications for the teaching of Braille.[9,16,17]

On the basis of earlier research, an advanced disjoint mode of reading has become widely accepted in Braille teaching as the most efficient way of reading.[12,18] With the technique developed in this project (computerized on-line registration with an interactive analysis program), the best "decoding" fingers can be identified together with the auxiliary fingers, making the training much more efficient and including relevant and immediate feedback to the reader. In effect, this offers the opportunity to encourage different reading styles for different types of text. An important aim of the current pilot project is to study the interaction between our analysis tool and Braille users, for example, how the effects of the objective registration of reading styles influences the readers' awareness of their ways of reading.

Material and Methods

SUBJECTS Five experienced adult Braille readers, 3 women and 2 men of varying ages (28–68 years old), were selected for the pilot project in order to register established reading behaviors and to apprehend their experiences as Braille readers. Four of them were well known as active readers by the Swedish Braille Committee and one was recommended by a low vision clinic. They were all congenitally blind and had learned Braille at school, starting at seven years of age. Four of them had been at the former special education school for the blind and visually impaired children, with specially trained teachers of the blind and one, the youngest in the group, had learned Braille in his local school, taught by his ordinary class teacher (whose only special training was a two-weeks course in teaching Braille). The five subjects used Braille reading and writing daily. All of them were diagnosed as healthy, with no medical problems affecting their reading abilities, such as reduced tactile acuity.

TEXT CONTENTS AND MATERIAL Different types of texts were used to thoroughly investigate the participants' performance:

a. *The fictional prose* (pages P1, P2, P3 and P4) was taken from a well-known storybook, Astrid Lindgren's *Pippi Longstocking*, considered as an easy text. The first page (P1) was read aloud by the readers in their usual reading manner; the second page (P2) was read silently in the same way. The two following pages (P3 and P4) were read aloud but only with one hand at a time. The participants were asked to first read (P3) with their best hand, and then read (P4) with the other hand. The subjects were then asked to read six subsequent text pages (P5-P10) with their best finger on the best hand only (for all subjects the index finger), then with only the middle finger and finally the ring finger. The same procedure was repeated with the second hand. This paper reports the results from the first four pages (P1-P4).
b. *The expository prose* (two continuous pages, B1 and B2) was a text fragment from Sweden's National Encyclopedia about a Swedish mining company, Boliden. It had several rather difficult words, expressions and numerical information. The subjects read the text aloud without any other instructions than simply reading in usual manner. The intention was to study if a more difficult text changed the reading technique and strategy.
c. *Text to be searched* The last two pages (B3 and B4) listed the contents from a package of cookies. The subjects were asked to find specific information about the ingredients. On the first page (B3), ingredients were presented consecutively as running text. On the second page (B4) the ingredients were arranged in a column. Both texts were read silently. The goal was to identify searching or skimming strategies employed by the subjects and the possible dependencies of these strategies on textual layout.

All Braille texts were rendered in Grade I (uncontracted) and printed in black on plastic transparent sheets (using a specialized silk screen process) to make it possible for the camera to record the finger movements and the Braille text from below, see Fig. 1. There were some complaints among the subjects about the plastic reading material used in the tests. The "feeling" was not the same as they were used to.

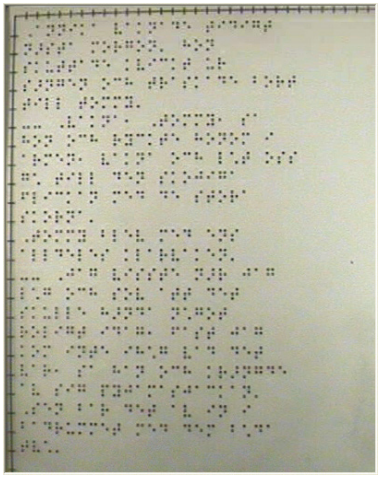


Fig. 1. Camera's view of the plastic semi-transparent Braille sheet, here illustrated by a page from the *Pippi Longstocking* text. The Braille dots were also printed in black to facilitate visual analysis. Calibration lines with scale marks were also printed in black.

THE SMALL-SCALE TACTILE LAB The technical goal of the pilot project was to design a computer-based system for on-line registration of finger/hand movements during Braille reading, and a versatile interactive computer program to analyze the registrations.

The development of our research-driven technology resulted in a small-scale tactile lab, see Fig. 2. The frame rate of the two cameras is 25 frames per second. The resolution of the first camera (e in Fig. 2) is 768 x 576 pixels, and of the second, 320 x 240 pixels (f in Fig. 2). A microphone was used to register the conversations and oral reading during the test sessions.

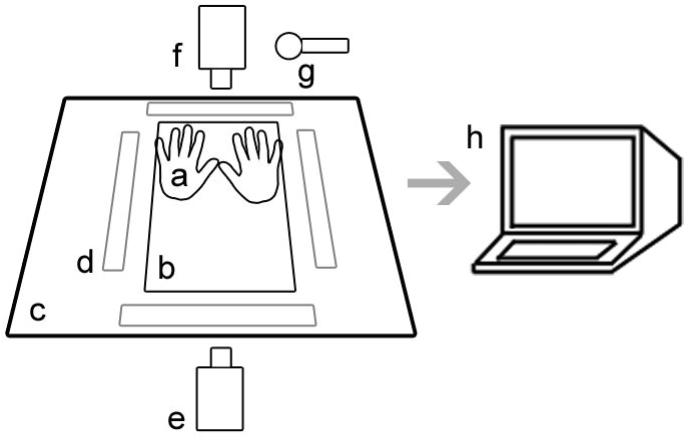


Fig. 2. Schematic picture of the small-scale tactile lab. **a.** Reading hands. **b.** Plastic semitransparent Braille page. **c.** Solid, transparent glass plate also functioning as a part of the table. **d.** Illumination directed upwards to the Braille page. **e.** Upward-directed camera registering the fingers from below. **f.** Camera registering the fingers from an angle above. **g.** Microphone. **h.** Computer registering and storing the two video streams.

The two cameras and the microphone were connected to a standard Windows PC computer. A registration program was designed to combine the two video streams and the audio stream for storage as one audio/video file on the hard disk. The program also monitored the video streams on the computer screen for calibration and checking. The video frames from the upward looking camera were first mirrored in the horizontal direction, and then cropped before display and storage. The recordings were finally saved as MPEG compressed files (to save disk space). The registrations were also stored on two DVD's for further analysis. In this way the registrations could be distributed to the researchers for ease of orientation and evaluation. The researchers could play them on a standard DVD player, or, preferably, on a computer using the Interactive Analysis Program with more functionality.

The physical realization can be seen in Fig. 3. Its base is a vertically adjustable table with a rectangular cut out in the wooden board. A thick glass plate covers the cut out, and the transparent Braille sheet is placed on the glass plate. The first camera is placed below the table, and the second camera can be seen near the test leader's (person to the right) left hand.

Fig. 3. The test situation. Interviews took place in between readings.

EXPERIMENTAL PROCEDURE The pilot project was carried out in a room specially adapted to the technical requirements. The test situation lasted about three hours for each participant and consisted of reading activities intertwined with interviews. Different types of texts (fictional prose, expository prose, package contents) were presented in order to reveal as much information as possible about the subjects' reading techniques and strategies. After the reading of each Braille page, the recorded data were compressed and stored, a procedure taking about five minutes. During this time, semi-structured interviews were conducted. The interview questions dealt with the subjects' descriptions of hand movements during reading, their experience of learning Braille at school as well as current reading habits. After the reading tasks, a final supplementary interview was conducted.

In the analysis phase that followed, two specialists in visual impairments made detailed analyses and measurements. A standard home DVD player or computer player was not versatile enough for the interactive analysis and evaluation of the recordings. A special purpose analysis program was designed (an advanced DVD player), see Fig. 4. The analysis program displays two video streams and one audio stream, and has basic functions such as play, pause and stop. Among the added functions is playback rate selection, repetition of user selected sequences, stepping frame by frame, and a manual stop-watch function. As the researchers got acquainted with the analysis program, new functions were successively added to enhance the program at their request. Time measurements were made by the specialists to determine reading speed, and the reading style was determined and described. It was also easy to study different reading styles in detail by repeating and replaying in slow motion. Both the second camera (registering from an angle above) and the recorded oral readings were of great help in the analyses – particularly in revealing overall movement patterns.

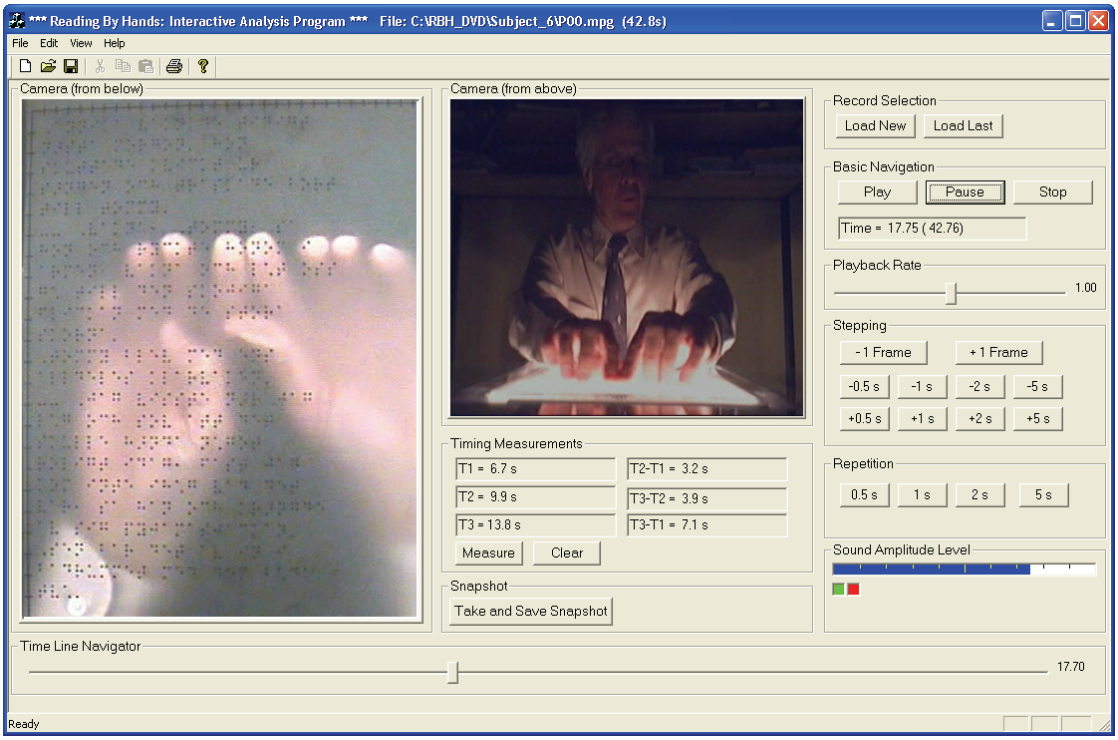


Fig. 4. User interface of The Interactive Analysis Program. The left video pane shows the image from the first camera registering from below. Due to this camera placement, the camera delivers a mirrored image. In effect, the Braille characters are mirrored which gives the impression that reading proceeds from right to left. In order to produce a faithful representation of the original on-line reading, the camera pictures are mirrored in the vertical axis (by software) before display and storage. Among other things, the whitening effect can be seen clearly as an indication of finger pressure against the sheet. Fingers not pressed against the sheet gives no such effect, and the harder the fingertip is pressed, the whiter its image becomes. The right video pane shows the image from the second camera registering from an angle above. This view complements the view from below disclosing more about specific hand/finger constellations, finger twisting, reading rhythm, etc. The rest of the user interface controls are designed to facilitate the human analysis of the registrations such as record selection, navigation, slow motion, stepping, repetition, manual time measurements, and so on. Snapshots from the analysis can be saved and printed for documentation purposes.

Results

The tactile lab, including both registration and analysis devices[1], was well adapted and served the purposes of enhancing the participants' understanding of the tactile reading process. The participating test subjects gained unexpected insights and understanding of their own reading, and the participating specialists in visual impairments uncovered new patterns and assumptions of practical value for Braille teaching.

Reading speeds were manually clocked using the interactive program. The unit of measurement was characters per second (cps), which was considered more appropriate than words per minute, given the restriction that the reading tasks comprised very short texts of no more than one page.[19] All blank spaces between words were counted as characters in the calculation of reading rate. One full page contains about 530 characters in fictional and expository prose. Data and measurements for the case study are summarized in Table 1.

Table 1. Summary overview of results. Computer analysis and observations made during the interviews and interactive analyses of the recorded reading activities. cps = characters per second. The meaning of "preferred hand" is based on the subject's own judgments. When reading orally, the subjects were instructed to "read aloud in a normal way". Performance quota is a ratio measure, in percent, between reading rates for a text page and the reference page P1 (read in the test subjects' normal styles).

Subject	A	B	C	D	E
Sex	Female	Female	Female	Male	Male
Age	68	52	42	58	28
Occupation	Retired secretary	Dept. manager	Braille library assistant	Dept. manager	Student
Hands used	Right	Both	Both	Both	Both
Reading Style	One-hand	Disjoint	Mixed	Mixed	Mixed
Hand dominance – in general	Right	Right	Right	Left=Right	Right
Hand dominance – in reading	Right	Right	Right	Left	Left
P1 Fictional prose oral, both hands (cps)	7.7	9.6	9.0	9.8	8.9
P2 Fictional prose silent, both hands (cps)	8.6	10.0	11.5	15.0	9.5
P3 Fictional prose oral, preferred hand alone (cps)	8.1	7.0	5.7	9.4	8.3
P4 Fictional prose oral, second hand alone (cps)	-	6.1	5.2	4.5	3.4
Performance ratio: P2/P1 %	112	104	128	153	107
Performance ratio: P3/P1 %	105	73	63	96	93
Performance ratio: P4/P1 %	-	64	58	46	38
B1 Expository prose oral (cps)	-	7.6	6.6	10.0	7.1
B2 Expository prose oral (cps)	-	6.9	6.1	7.6	6.2
Performance ratio: mean(B1,B2)/P1 %	-	76	71	90	75
B3 Silent search in text (sec)	80.4	5.4	36.3	8.1	19.0
B4 Silent search in text (sec)	22.0	3.2	27.1	8.4	7.5

READING SPEED WITH RESPECT TO DIFFERENT HAND/FINGER CONSTELLATIONS AND PREFERENCES Four fictional prose pages were registered (P1-P4). Texts P1 and P2 were read at the subjects' own pace (P1 aloud and P2 silently). Text P3 was only read with the best hand and text P4 was only read with the second best hand as previously described (P3 and P4 aloud). Since most of the pages were read aloud, P1 was chosen as the reference page, that is, P1 was judged to represent the most normal reading-aloud condition in comparison to the rest of the pages.

The three female subjects preferred their right hand as the most efficient one, whereas the two male subjects preferred their left hand. All participants except subject A were two-handed readers in their own opinion. Subject A placed her left hand in the left margin of the page, a sort of place-keeping strategy. She knew that a two-handed technique was the most efficient according to known research but she had not received that kind of training in the special education school for the blind (about fifty years ago). Subject A also entertained the most critical stance towards the reading material. Further, she was not comfortable with the specific instruction to use her left hand only for reading. In fact, as a consequence of this, Subject A withdrew from some of the test conditions.

The disjoint reader, B, decreased her reading rate when using only the best hand (73% of normal performance), and further decreased when using only the second hand (64% of normal performance). She normally decodes the left half of the text page with her left hand (the next best hand) and the right part with her right hand (the best hand) – so she is skilled in decoding Braille characters with both hands, cf. the similar reading speeds for P3 and P4.

The mixed reader, C, decreased more in reading rate when reading only with one hand (63% of normal performance with the best hand and 58% of normal performance with the second hand) – the two single hand readings were surprisingly similar in reading speed. She appears therefore, to be ambidextrous. This reader seems most vulnerable in the event of hand failure since she performs at only about 60% of capacity when reading with only one hand.

For the two mixed readers, D and E, the preferred hand reading (left hand) is almost as fast as the two-handed reading – about 95% of normal performance. Their best hands do the major part of the reading. We also see that the second best hand performs at about only half the reading rate of the best hand. The two mixed readers seem most vulnerable in the event of best hand failure. They are particularly one- and left-handed in reading.

When comparing two-handed reading with the preferred single hand reading, the hand dominance becomes discernible. The reading rate for the two readers B (disjoint) and C (mixed) decreased remarkably in one-handed reading with their preferred hand. There is no obvious difference in reading rate between their preferred hand and their second hand either, which could indicate that their two hands have a similar function during reading. For subjects D and E, the reading rates for two-handed and preferred hand reading are nearly the same. Their preferred hand seems to be the dominant one in two-handed reading and, as a consequence, they also seem to utilize the second hand poorly.

READING SPEED – SILENT VERSUS ORAL Two similar fictional prose texts (*Pippi Longstocking*) were read in the readers' usual manner – one orally (P1) and one silently (P2). The oral reading rates centered around 9 - 10 characters per second (cps) with small variation (SD = 0.82). The exception was subject A (7.7 cps), who was not as skilled in reading orally as the other subjects. In the silent reading condition the variation was clearly higher (SD = 2.51). In general, there was a speedup as compared to the oral reading condition. The speedup (Performance: P2/P1 %), however, was as high as 153% for subject D – the best oral and silent reader. Subject C also increased her reading rate substantially (128%) when reading silently. For subjects A, B, and E the speed-up was much lower and showed just a small variation.

READING SPEED IN DIFFERENT TYPES OF TEXT Subject D achieved the highest reading rate for the expository prose (B1 and B2), as high as 90% of the fictional prose performance, but the other subjects decreased their performances more, about 70-75% of normal performance (see row "mean(B1,B2)/P1" in Table 1). In text searching (B3 and B4), subjects B followed by D were clearly the fastest. Subjects A and C performed the searching by normal sequential reading starting from the beginning of the text. Subjects B (particularly), D and E used search strategies such as beginning in the middle, skimming, intuition and perhaps counting on chance. In conclusion, no common pattern emerges from the data. Daily reading experiences could possibly explain existing differences.

DIFFERENT READING STYLES – FROM THE INTERACTIVE ANALYSES AND THE INTERVIEWS
Subject A reads only with her right hand. She uses the right index and middle fingers always positioned together as a coherent reading unit, see Fig. 5. The usefulness of her left hand is questionable, e.g. she performs better in reading with only the best hand (P3) as compared to reading in her normal way (P1). The right thumb is used as hand support. Subject A's own assessment of the function of the left hand is "possibly a reference point".

Subject B reads with both hands. The two index fingers seem to be the reading fingers that decode the text. She reads in a disjoint style, the left hand mainly reading the left part of the text page, and the right hand reading the right part. When one hand is reading, the other makes a return movement – finding the appropriate position on the next line. The thumbs are used as hand support and so also the right ring and little fingers, and left ring and middle fingers. Subject B considers both her hands to be equally dominant and she is quite aware of her advanced disjoint reading technique.

Subject C reads with both hands. She reads in a mixed style – the two index fingers work together as a conjoint unit. Those seem to be the decoding fingers. The right little finger tracks the next text line, the right middle finger tracks the current line (perhaps sensing the end of line), and the left middle finger tracks the previous line. The left thumb is sometimes used as hand support. In subject C's opinion her right hand is dominant (in reading) but with no difference in dominance between her two index fingers in decoding. She thinks she will "lose the contact with the text" if she reads with just one hand. Her opinion is that she needs both hands for reading and orientation.

Subject D reads with both hands. He reads in a mixed style – the two index fingers work partly together as a conjoint unit. The right middle and ring fingers track and "look ahead" on the current line, perhaps

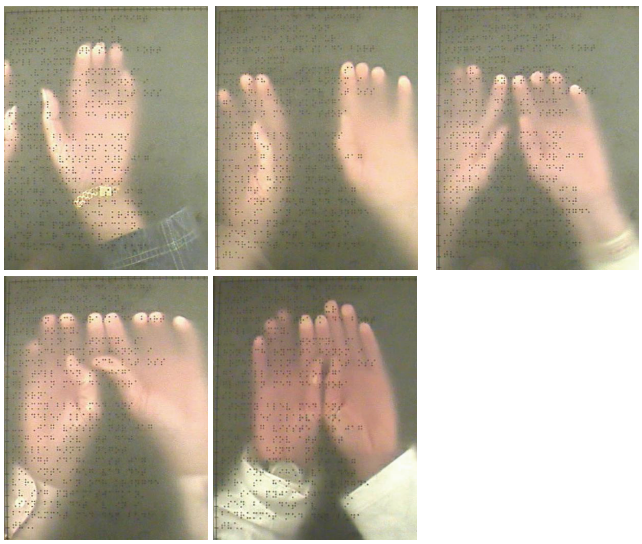


Fig. 5. Different reading styles. Representative snapshots illustrating reading styles of the five test persons (subjects A, B, and C in the first row, D and E in the second).

doing some decoding work. The left middle finger tracks the current line, after the decoding index finger. The two thumbs and right little finger are used as hand support. Further, he often uses the left middle fingers to decode the leftmost characters on a new text line, see Fig. 6. The index finger is never positioned above those leftmost positions. Almost all of his fingers are on a straight line – on the same text line. Subject D is of the opinion that his left hand "without a doubt" is dominant in his reading. The right hand gives him an overview and an orientation of the text, and is also important in skimming and in turning the page.

Subject *E* reads with both hands. He reads in a mixed style – the two index fingers work together as a conjoint unit. Those seem to be the decoding fingers. The right middle and ring fingers track the previous line. The left ring and little fingers track the next line and the one after that. The thumbs are used as hand support. Subject E thinks both his index fingers are similar in decoding but he uses the other fingers in order to gain an overview of the length of the word and of text lines. He reports that he is able to read two different texts at the same time "in parallel", one with the right hand and one with the left, a useful function if he, for instance, needs to compare two texts.

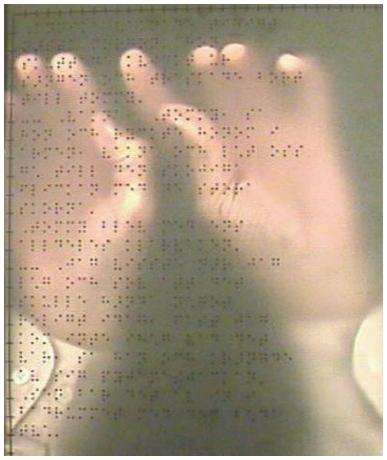


Fig. 6. Subject D reads the leftmost characters with his left middle finger. When asked if he was conscious of this, he was very astonished and asked, "Do I do that?"

Discussion

The results of this case study show that an on-line registration and interactive analysis enable specialists in visual impairments to obtain a deeper understanding of tactile reading strategies and preferences and, as a consequence, to challenge established ideas about Braille teaching. Larger longitudinal studies utilizing the same equipment will elaborate how reading techniques (reading movements and decoding ability) affect reading results (reading accuracy and reading comprehension). Our observations indicate that a more conjoint reading style in a mixed reading pattern could be a better candidate for efficient reading than the

disjoint style recommended by Braille educators. It is to be stressed, though, that this observation concerns "deep" reading and not skimming. Interestingly, the only disjoint reader in our study seems to have an advantage from her disjoint style when skimming (see the results in Table 1 for subject B performing text searching). This hypothesis will be tested in a larger study in our lab during 2007. In the new study, we will also include the parameters gender, age and tactile acuity.

Skilled adult Braille readers turn out to have very different and text-type dependent reading styles. The insights urge an investigation of Braille teaching, especially when it comes to:

- instructions in reading technique
- individualized feedback whenever possible on one's own reading style
- utilization of the awareness of one's own reading style to improve the reading technique
- developing different types of reading training for different types of text
- individualized training for children based on understanding their preferences and adapting to their wishes and abilities
- new types of reading techniques for increasing decoding parallelism (more decoding fingers working together at the same time) and effective faster navigation to the next text row

The pilot project confirmed earlier research findings that there is no single generalized reading style when it comes to efficient Braille reading. Further, the interactive method started a meta-cognitive process within the reader. Some of the subjects have informally reported that they started training decoding with different fingers and hand movements after the investigation.

Conclusions

The time factor is often critical in habilitation and rehabilitation.[20] Blind (or low vision) children are aging at the same rate as able-bodied children, and deserve to receive as relevant, adapted and individualized instructions and help with their Braille reading as do sighted children with their visual text reading. In a multi-disciplinary collaboration such as the current one – between technically and pedagogically oriented researchers – new pedagogical research questions can be raised and elaborated thanks to the technology and the ease with which it answers emerging questions.

The small-scale tactile lab opens up a wide range of new research opportunities and applications, and a study of large numbers of readers of Braille and tactile pictures is no longer unrealistic. It can result in a new generation of tests, diagnostic procedures, and evidence-based teaching instructions.

References

1. Breidegard B, Eriksson Y, Fellenius K, Holmqvist K, Jönsson B, Strömqvist S. Enlightened: The art of finger reading. *Studia Linguistica*, in press.
2. Bertelson P, Mousty P, D'Alimonte G. A study of Braille reading: II. Patterns of hand activity in one-handed and two-handed reading. *Quarterly J Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*. 1985;37(2-A):235-256.
3. Mousty P, Bertelson P. A study of Braille reading: I. Reading

speed as a function of hand usage and context. *Quarterly J Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology.* 1985;37 (2-A):217-233.
4. Millar S. An apparatus for recording hand-movements. *Br J Visual Impair Blind.* 1988;1:87-103.
5. Hampshire B. Working with Braille. *A Study of Braille as a Medium of Communication*. Paris: The Unesco Press, 1981.
6. Foulke E. Reading Braille. In: Schiff W, Foulke E, editors. *Tactual Perception: A Sourcebook.* Cambridge, England: Cambridge University Press, 1982;168-208.
7. Nolan CY, Kederis CJ. *Perceptual Factors in Braille Recognition.* New York: American Foundation for the Blind, 1969.
8. Davidsson PW, Appelle S, Haber RN. Haptic scanning of braille cells by low- and high-proficiency blind readers. *Research in Developmental Disabilities.* 1992;13:99-111.
9. Millar S. *Reading by Touch*. London and New York: Routledge, 1997.
10. Wormsley DP. Hand movement training in braille reading. *J Visual Impair Blind.* 1981;75:327-331.
11. Kusajima T. *Visual Reading and Braille Reading: An Experimental Investigation of the Physiology and Psychology of Tactual Reading.* New York: American Foundation for the Blind, 1974.
12. Wormsley DP. Reading rates of young braille-reading children. *J Visual Impair Blind.* 1996;90:278-282.
13. Grunewald D. A braille reading machine. *Science.* 1966;154:144-146.
14. Ittyerah M. Hand preferences and hand ability in congenitally blind children. *Quarterly J Experimental Psychology,* 1993;46A:35-50.
15. Millar S. Articulatory coding in prose reading: Evidence from braille on changes with skill. *Br J Psychology,* 1990;79:205-219.
16. Rex EJ, Koenig AJ, Wormsley DP, Baker RL. *Foundations of Literacy.* New York: AFB Press, 1994.
17. Wormsley DP, Dándrea FM, editors. *Instructional Strategies for Braille Literacy*. New York: AFB Press; 1997.
18. Foulke E. Braille. In: Heller MA, Schiff W, editors. *The Psychology of Touch*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1991:219-231.
19. Legge GE, Madison CM, Mansfield JS. Measuring Braille reading speed with the MNREAD test. *Visual Impairment Research.* 1999;1:131-145.
20. Jönsson B, Malmborg L, Svensk A, Anderberg A, Brattberg G, Breidegard B, et al. Situated research and design for everyday life. *Proceedings 1st Nordic Design Research Conference "In the Making".* Copenhagen: Danish Center for Design Research. 2005.

Artikel 4:

Computer Based Automatic Finger and Speech Tracking

Computer Based Automatic Finger and Speech Tracking System

B. BREIDEGARD
Certec, Division of Rehabilitation Engineering Research
Department of Design Sciences
Lund University, Sweden

This article presents the first technology ever for on-line registration and interactive and automatic analysis of finger movements during tactile reading (Braille and tactile pictures). Interactive software has been developed for registration (with two cameras and a microphone), MPEG-2 video compression and storage on disk or DVD as well as an Interactive Analysis Program to aid human analysis. An Automatic Finger Tracking System has been implemented which also semi-automatically tracks the reading aloud speech on the syllable level. This set of tools opens the way for large scale studies of blind people reading Braille or tactile images. It has been tested in a pilot project involving congenitally blind subjects reading texts and pictures.

In the study of blind people's tactile reading there has been a demand for more efficient technology for performing large scale studies including efficient analysis and evaluation tools. Computer based technologies have been developed only very recently (Breidegard, Eriksson, Fellenius, Jönsson, Holmqvist, & Strömqvist, in press). Earlier studies were based on video technology and manual analyses. Bertelson and Mousty designed registration equipment based on two television cameras, a microphone, a digital timer, a video combiner, and a video recorder and carried out two studies (Bertelson, Mousty, & D'Alimonte, 1985; Mousty, & Bertelson, 1985). Data were combined and recorded on a video recorder. The purpose was to find out how reading speed is affected by hand usage (left hand only, right hand only, and both hands) and types of text (prose, statistical approximations, and scrambled words). The human analysis was carried out by playing back the recordings on a TV monitor. Susanna Millar (Millar, 1988, 1997) performed a pioneering study, also based on video registration equipment similar to Bertelson and Mousty's. However, Millar used transparent Braille sheets and filmed the hand movements from below, yielding an extremely good output on the TV monitor. The reading behaviors were analyzed on the basis of manually coded video frames.

In this project, we used two cameras, one filming from below through transparent Braille sheets as did Millar, but now with computer based registration and analysis. A second camera, also connected to the computer, filmed from an angle above to reflect more holistic movements of the reading hands. A microphone registered the conversations and oral reading during the test sessions. The results of the pilot study (for which the technology described here was developed), along with its interdisciplinary backgrounds and procedures have been published (Breidegard, Eriksson, et al., in press; Breidegard, Fellenius, Jönsson, & Strömqvist, in press). This paper deals mainly with the technical aspects.

Automatic finger tracking enables computer based automatic analyses and large scale classifications with many subjects.

TOP-DOWN DESIGN

A top-down approach was adopted to methodically design the complete system in its interaction with human subjects: the hardware (in the form of supporting furniture, the cameras, a glass plate, the illumination, the semitransparent reading material, the microphone, the optic processing, the PC computer) and the software. The top-down method facilitates planning, understanding and handling of the system's complexity. The basic methodology used, adopted, and adapted by the author is summarized here:

- **Exploring the design space** A number of trial solutions were created top-down as a hierarchy without details (empty elements) to provide a structural overview of the complete system. Many trial solution candidates were rejected and some were kept. This first exploratory phase was also characterized by knowledge acquisition, finding and testing suitable technical equipment and by freely experimenting to gain deeper intuition regarding possibilities as well as difficulties for the project.
- **Stepwise refinement** The remaining trial solutions were elaborated to some extent and favorite solutions were chosen. Its hierarchy was then gradually developed through a sequence of design decisions (stepwise refinement) (Wirth, 1971) by changing, adding, partitioning and

The feasibility study was supported by the Swedish Council for Working Life and Social Research (FAS), grant no 2002-0567 and the follow-up project "The Tactile Reading Process" (2006-). Correspondence concerning this article should be addressed to Björn Breidegard, Certec, Division of Rehabilitation Engineering Research, Department of Design Sciences, Lund University, P.O. Box 118, SE-22100 Lund, Sweden.

detailing the elements. This phase included improvements of the basic ideas: new ideas emerged, and weaknesses in the specification were disclosed. Functionality was added and decisions were postponed as far as possible to keep the door open for future changes, extensions and surprises.

- **Functional from the start** The system was designed to have basic functionality from the start, e.g. being able to perform basic tasks such as monitoring the cameras and microphone, playing video/audio disk files, and storing on the hard disk.
- **Extendibility** General solutions were preferred that tolerated and facilitated later planned or unplanned extensions. Empty elements in the design hierarchy could act as placeholders for these future expansions.
- **Pre-existing software library** An extensive and versatile C++class library hierarchy (developed by the author in earlier projects) containing classes for audio/video capture, rendering, signal processing, etc., speeded up the implementation.
- **User interactivity with audio-visual feedback** The designed software interface was highly interactive all the time. The audio-visual feedback to the designer (and later to the end users on different levels) was crucial.
- **Inbuilt system debugging** System debugging was built in as a part of the final application in development. Audio-visual feedback was designed for testing, experimenting and debugging hardware, software, algorithms, etc.
- **Safety through rigidity and consistency** Conservative implementation: use a consistent and standardized style and be soundly skeptical of new "features", yet open to new ideas.

MATERIAL AND METHODS

This design project centered on the blind test subjects and the human evaluators. It had three components:

- artifacts such as the reading table with its cameras, glass plate, reading transparencies
- computer hardware
- computer software

The reading table was to fit the test subjects as well as possible so as not to disturb their reading. The computer software's interactive interfaces were to fit the human, not necessarily the technically oriented evaluators, as smoothly as possible. Different trade-offs were taken into consideration and evaluated with respect to functionality and implementation costs.

Design emphasis on computer software

A good rule of thumb is to implement as much as possible of the total system in software that can run on today's inexpensive and powerful PCs. The main benefit of this approach is that software is inexpensive to implement (compared to purchasing/designing computers or other hardware) and easy to change and improve on demand. Using software makes it easy to test new ideas and algorithms efficiently without wasting too much time on ideas that lead nowhere. Hardware, on the contrary, is rather inflexible and expensive to change. It should be designed as simple, general and straightforward as possible, yet be flexible and extendible enough for the future.

The reading table with its transparent glass plate, illumination, cameras and microphone was designed as simple as possible. Three cables (two cameras, one microphone) were connected to the computer. The computer used in the first version was a state-of-the-art Pentium 4 (2.7GHz) based Windows XP PC with inbuilt video capture hardware and 300 GB of disk space. Today, laptop computers would be preferable.

Visual C++

Microsoft's Visual C++ version 8.0 was used for software development (Kruglinski, Shepherd, & Wingo, 1998).

DirectX

The DirectX packages designed and distributed by Microsoft were extensively used in the software development. DirectShow (Linetsky, 2001; Paesce, 2003) was of great value because of the possibility to build audio/video filter graphs either graphically (with the GraphEdit program tool) or programmatically. DirectShow highly facilitates the design of video/audio-applications. With DirectShow it is easy to build applications for video recording, playback, compression/decompression and disk storage. With a special purpose filter, the Sample Grabber, the behavior of the filter can be programmatically defined, e.g. to perform image and audio processing. A DirectShow filter graph example is shown in Figure 1.

Pre-existing software library

The author has used Visual C++ for the last eight years, and during this time has developed a large and versatile hierarchical class library including, among other things, classes for video/audio capture, playback, and digital image/audio processing. The library has been continually developed in different concurrent projects which has as a bonus enabled crossover usage between the projects.

Visualizations and interactivity

During the whole project, in which system development was intertwined with user tests and evaluations, a strong emphasis was placed on the extensive use of visualizations and the interactive software user interface. Custom visualizations were designed for testing, development, improvement, debugging, and data presentation for the specialists in visual impairments who analyzed the results of test readings. The software user interface was designed on the same premises.

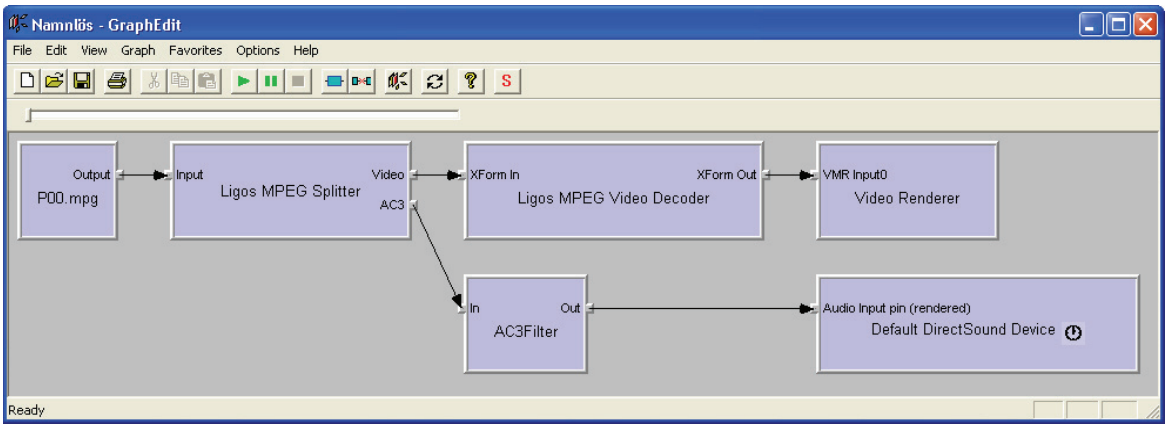


Figure 1. DirectShow filter graph rendering the video/audio file "P00.mpg". The first filter "Ligos MPEG Splitter" splits the file into a video stream (MPEG-2 format) and an audio stream (Dolby AC3 format). Then the two streams are decoded (decompressed) and rendered to the computer screen and loudspeakers respectively. The graph can be built programmatically or with the GraphEdit tool. GraphEdit can also be used to rapidly test different filters and graphs before programmatically building in the final application. Finally all graphs are generated and executed programmatically in the application program context.

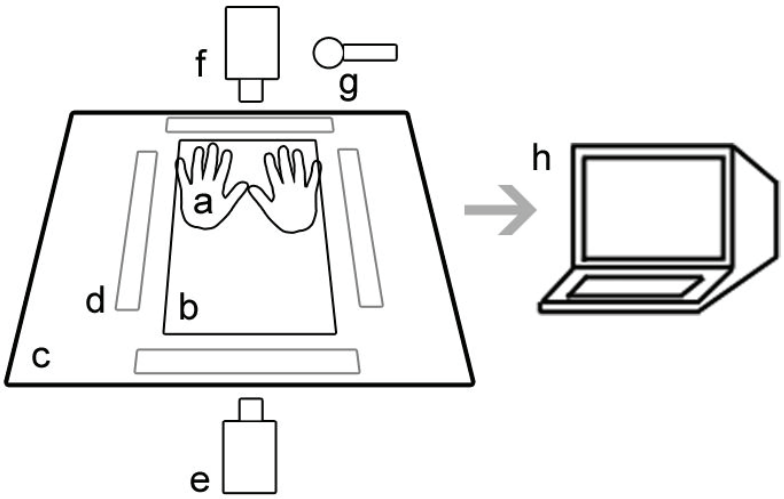


Figure 2. Schematic view of the small-scale tactile lab. a. Reading hands. b. Plastic semitransparent Braille page. c. Solid, transparent glass plate also functioning as a part of the table. d. Illumination directed upwards to the Braille page. e. Upward-directed camera registering the fingers from below. f. Camera registering the fingers from an angle above. g. Microphone. h. Computer registering and storing the two video streams.

SYSTEM DESIGN AND DESCRIPTION

What follows are descriptions and design considerations for the different parts of the system.

The small-scale tactile lab

The development of the research driven technology resulted in a small-scale tactile lab, see the schematic view in Figure 2. The main components are the reading table with its two cameras and microphone: the first camera (e) filming from below, the second (f) filming from an angle above, the microphone (g). The other main component was the computer (h) for which suitable software was to be designed.

Early critical decisions and parameter locking

A number of early critical decisions, which would affect the outcome of the project and would be very hard to change in a later phase, had to be taken, and a number of parameters had to be locked in the early phase of the project.

Some of the early design considerations and decisions were:

- Limited size of the reading sheets. The size chosen was 26.0 x 29.5 cm.
- Use of standard video cameras and web cameras from an ordinary radio/TV/computer shop.
- Restricted camera resolutions and frame rates, even though large resolution and high frame rates

would facilitate the automatic finger tracking implementation. The resolution chosen for the first camera (e in Figure 2) was 768 x 576 pixels, and for the second (f in Figure 2), 320 x 240 pixels. A frame rate of 25 frames per second was chosen for the two cameras.

- The sound quality chosen was a 44.1 KHz sampling frequency, 16 bit sample resolution, and stereo.
- State-of-the-art desktop PC. A Pentium 4 (2.7GHz, 512 MB RAM) based Windows XP PC with inbuilt video capture hardware and 300 GB of disk space. Today (two years after the project start) we would use laptops, which are now in the same class.
- Critical selection of plastic material for the reading sheets. They should be moderately semitransparent to enhance the "whitening effect" of the fingertips, see Figure 4. The use of the whitening effect would facilitate the design of the finger tracking algorithms as well as the interactive analysis.

THE READING TABLE

The purpose of the reading table was to serve as an interface between the tactile reader and the registration components (cameras and microphone). The reading table was designed to be convenient for the reader, and not to disturb his/her normal way of reading. It was also designed so that the cameras and microphone could perform accurate registrations.

The physical realization can be discerned in Figure 3. Its base is a vertically adjustable table with a rectangular cut out in the wooden board. A thick glass plate covers the cut out, and the transparent Braille sheet is placed on the glass plate. The first camera is placed below the table, and the second camera on the table's farther side directed at the reader's hands. The microphone is also placed on the table.

All Braille texts and images were printed in black on plastic transparent sheets (using a specialized silk screen process) to make it possible for the camera to record the finger movements and the Braille text from below. There were some complaints about the plastic reading material used in the tests. The "feel" was different from what the subjects were used to. The Braille sheets were held in place on the glass plate with plastic guides and a strip of tape.

The camera registration from below produced excellent picture quality, see Figure 4. The illumination was placed under the table and directed at the semitransparent sheet from beneath. The rest of the room was in relative darkness. The whitening effect can be seen clearly as an indication of finger pressure against the sheet. Fingers not pressed against the sheet have no such effect, and the harder the fingertip is pressed, the whiter the image becomes. When the camera is filming from below the image is mirrored in the vertical axis (left becomes right and right becomes left). It is very annoying to analyze the mirrored recordings, where the readers seem to be reading from right to left. Therefore the video from the camera is remirrored in the vertical axis (by software) before display and storage.

Figure 3. The reading table. S.B. (key research person, right) together with researchers in the tactile lab.

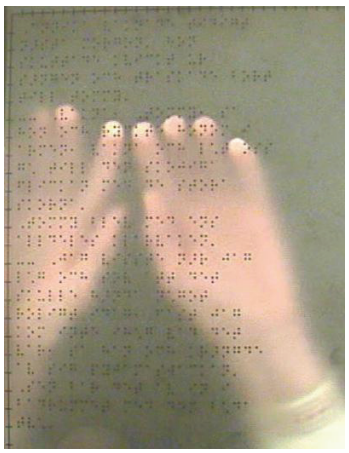
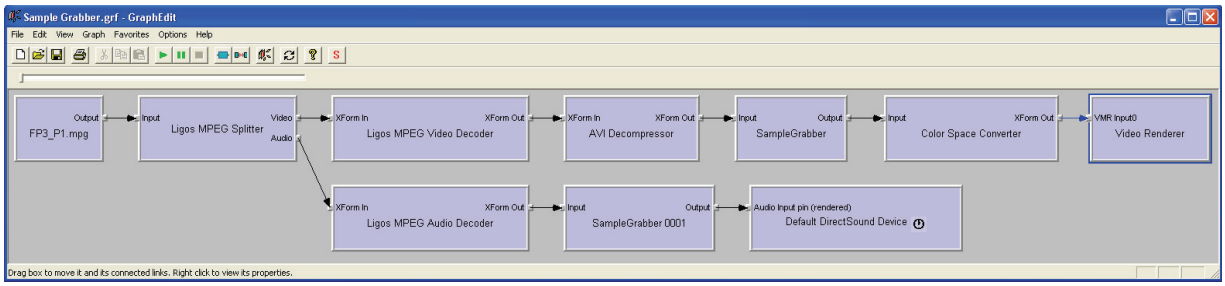


Figure 4. Camera's view of the plastic semitransparent sheet. Here we see the Braille sheet and the reader's hands from below. The Braille dots are also printed in black to facilitate visual analysis. Calibration lines with scale marks are also printed in black. The whitening effect is clearly visible, especially for the left index finger, as an indication of pressure against the sheet. The video frames (like this image) are mirrored in the vertical axis to preserve the impression of reading direction from left to right. This gives the illusion that the hands are filmed from above, even though you are actually seeing the underside of the hands, and particularly the fingertips that carry out the actual reading.

The cameras and microphone were directly connected to the PC with three separate cables. The camera filming from below was a standard VHS-C camera recorder (Panasonic NV-S85E, only the camera part was used) connected to the S-VHS input of the inbuilt video capture card of the PC. The camera filming from above was a web camera (Logitech QuickCam Pro 4000) connected via USB to the PC. The microphone




```
for (y=0; y<Height; y++) {for (x=0; x<Width/2; x++)  {
  B = p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + x*4+0]; // B
  G = p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + x*4+1]; // G
  R = p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + x*4+2]; // R

  p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + x*4+0] = p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + (Width-1-x)*4+0];
  p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + x*4+1] = p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + (Width-1-x)*4+1];
  p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + x*4+2] = p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + (Width-1-x)*4+2];

  p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + (Width-1-x)*4+0] = B;
  p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + (Width-1-x)*4+1] = G;
  p_buffer[(Height-y-1)*Width*4 + (Width-1-x)*4+2] = R;
}}
```

Figure 5. A. DirectShow filter graph used for the calibration mode in the Registration Program. Both the video and audio paths contain Sample Grabbers which can be used to access and eventually manipulate video/audio data. B. The C++code executing in the video Sample Grabber to implement the mirroring operation.

was connected directly to the PC's sound card. Firewire (IEEE 1394) cameras could also be used. Today we use a Pinnacle USB capture device with S-VHS and microphone inputs connected to a PC USB port. Since this is an external device, it is now possible to use a laptop computer.

THE REGISTRATION PROGRAM

The registration program serves two purposes: the first is to facilitate camera calibration and function as a camera monitor for testing the equipment; the second is to carry out the actual recording (with two cameras and one stereo microphone), data processing and storage on the hard disk. The program was designed in Visual C++ and the audio/video manipulation was built by programmatically generated DirectShow Filter Graphs.

In the calibration/monitor mode, the picture from the underneath camera is shown on the computer screen. The image is mirrored in the vertical axis, cropped (to filter out the surrounding underside of the wooden table), and two red lines are shown (one horizontal and one vertical) to adjust the camera's origin and perpendicularity. These image processing operations are performed in C++code with the DirectShow Sample Grabber filter, see Figure 5A. The program code for the mirroring operation is shown in Figure 5B. In the Millar project (without computers) they solved the mirroring problem by using a soldering iron to reverse the wires driving the video camera's horizontal deflection coils.

In the recording mode, the two video streams are captured, mirrored, cropped, MPEG-2 compressed and finally written to the hard disk as two separate files. The sound is captured, compressed and written to the disk files. The files can be given appropriate names for each test reading. The two video files can be played back with standard media players.

The recordings were also stored on standard DVD's. This was of great benefit in that the recordings could be distributed easily among the project members and evaluated with standard DVD players, or even better with the Interactive Analysis Program (see next section).

THE INTERACTIVE ANALYSIS PROGRAM

In the analysis phase that followed the test reading sessions, specialists in visual impairments made detailed analyses and measurements using a special purpose analysis program, see Figure 6.

User interactivity and audio-visual feedback

The program displays two video streams and one audio stream, and has basic functions such as record, play, pause and stop. Among the added functions are playback rate selection, repetition of user selected sequences, stepping frame by frame and a manual stop-watch function. New functions were successively added to enhance the program at the researchers' requests. The program was based on programmatically generated DirectShow filter graphs, and DirectShow's API (Application Programmer's Interface) to implement the diverse playing functions.

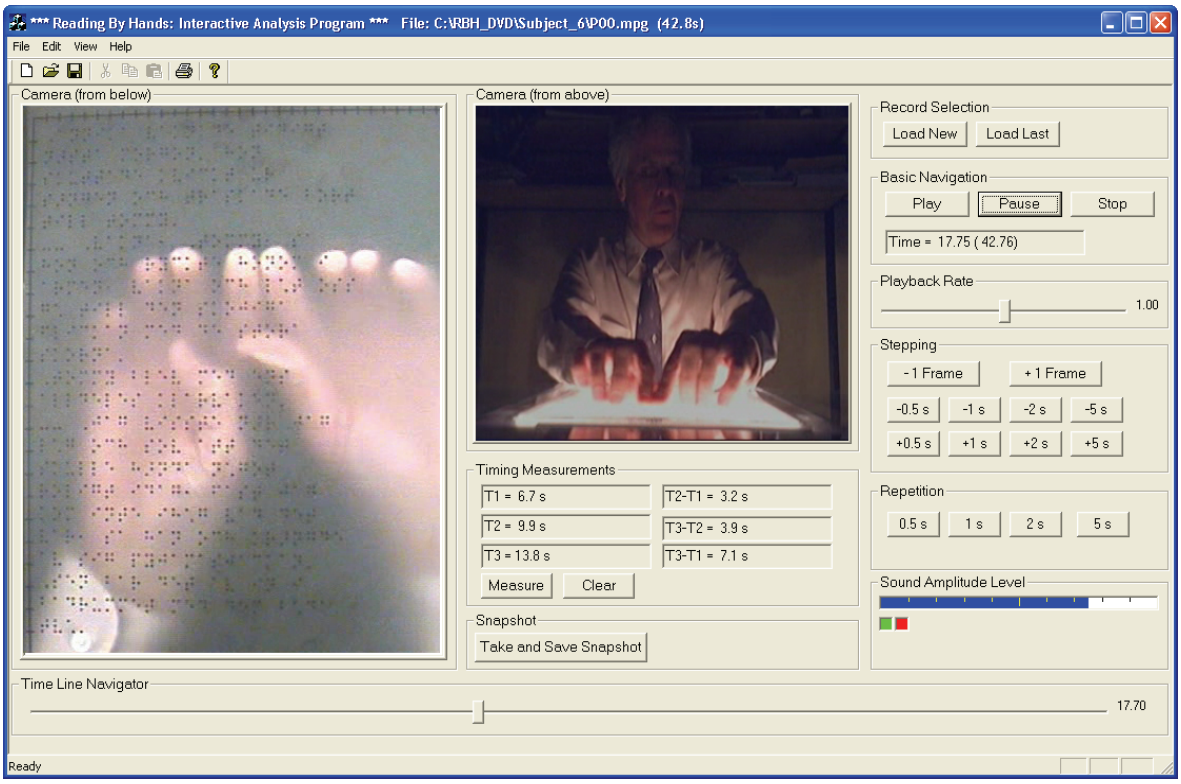


Figure 6. User interface of the Interactive Analysis Program. The left video pane shows the image from the first camera registering from below. The whitening patches from the fingertips pressing against the Braille sheet show up distinctly. The right video pane shows the image from the second camera registering from an angle above. This view complements the view from below disclosing more about specific hand/finger constellations, finger twisting, reading rhythm, etc. The rest of the user interface controls are designed to facilitate the human analysis of the registrations such as record selection, navigation, slow motion, stepping, repetition, manual time measurements, and so on. Snapshots from the analysis can be saved and printed for documentation purposes.

THE AUTOMATIC FINGER TRACKING SYSTEM

The automatic finger tracking was divided into four steps:

1. Automatic decoding of the Braille text to plain text. The decoded plain text was stored both as a text file (containing each character in the text, its coordinates on the sheet, and also row and column numbers) and as an image file in jpg format. Most of the people involved were not able to decode Braille visually, so this step made the analyses more convenient, see Figure 8, right pane.
2. Automatic finger tracking of the two index fingers for each video frame in a recording.
3. Storing the coordinates of the index fingers for each video frame in a position file that could be used by other programs or the Interactive Analysis Program.
4. Back-annotating the Interactive Analysis Program with the plain text image file, and the position file for each recording to be able to show the plain text and the positions of the index fingers as red and green circles, see Figure 8.

Braille to text decoding

Technically, the decoding from Braille to the plain text stage is based on template matching using normalized correlation:

$$Corr = \frac{\hat{x}_1 \cdot \hat{x}_2}{\|\hat{x}_1\| \|\hat{x}_2\|}$$

$$\hat{x}_1 = x_1 - mean(x_1)$$

$$\hat{x}_2 = x_2 - mean(x_2)$$

$\|\cdot\|$ is the L2-norm

x1 and x2 are the vectors obtained by raster scanning the template bitmap and a patch of the same size as the template, respectively, in the video image.

First of all, the video frame of the Braille page is analyzed. The Braille dots are embossed and printed in black. The incoming video frame contains noise, and the illumination is not evenly distributed. The template matching algorithm finds all Braille dots and computes a new and synthetic image where all Braille dots are black, and everything else is white, see Figure 7. The next step is to identify the positions of all Braille cells (letters and digits). The white horizontal and vertical spaces between Braille cells are used to compute an orthogonal grid that guarantees that there is exactly one Braille cell somewhere in each square in

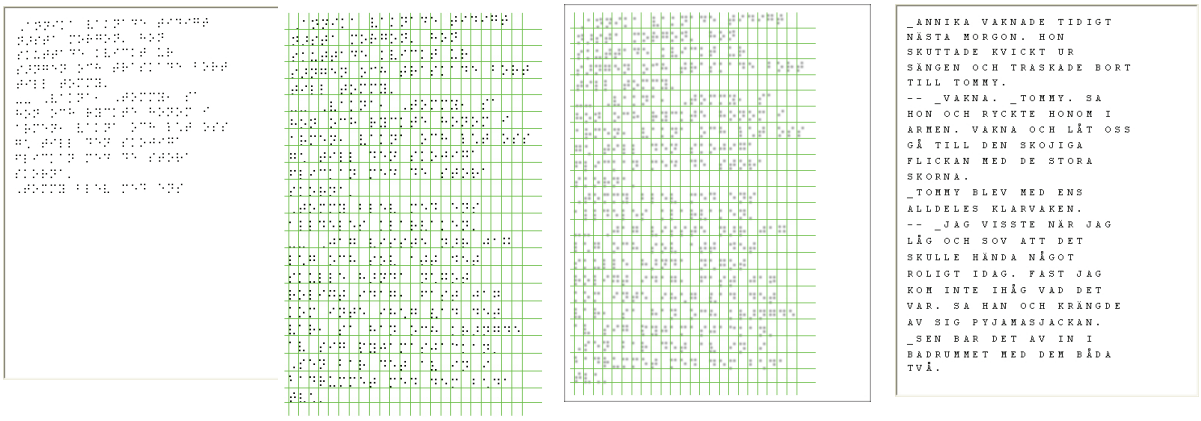


Figure 7. A. A template matching procedure finds all Braille dots and generates this synthetic image. The computer now knows the positions for all dots. B. Finding all Braille cells. A space analysis procedure finds all Braille cells by computing an orthogonal grid (green) so there is exactly one Braille cell in each green square. C. An unsharpening (low-pass filtering) operation improves the following Braille cell template matching process. D. Synthetic templates for each Braille character are swept through each grid cell (green). After this procedure is completed, each Braille character has been decoded into plain text.

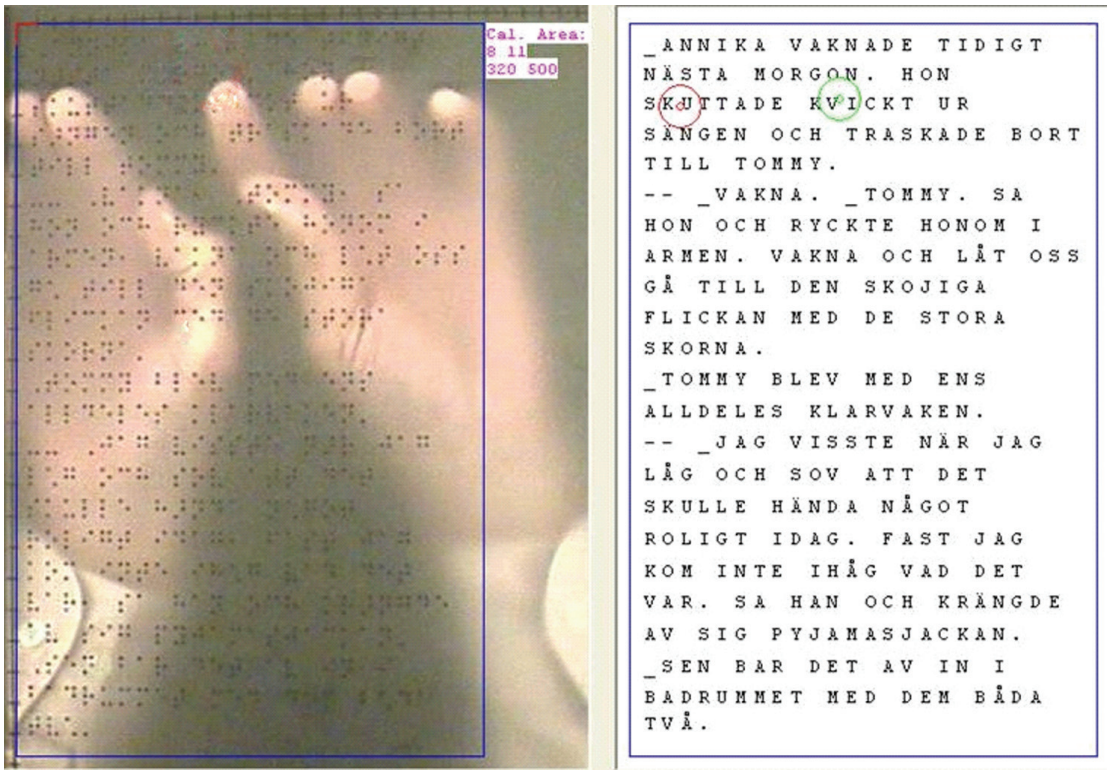


Figure 8. Interactive Analysis Program with back-annotated position file created by the Automatic Finger Tracking System. The left part shows the video recorded by the upward camera. The fingertips are naturally accentuated in that they turn white when pressed against the reading material – a property used by the automatic analysis program. The right part shows the same video image automatically analyzed with the plain text as background and the two index fingers marked by a red (left) and green (right) circle respectively.

the grid. This step also takes in account the spatial distortion introduced due to imperfections in the camera optics. A template for each Braille character is then swept through each grid square and the character with the highest correlation (matching score) is chosen. As an extra safety precaution, a check sum is used: the chosen Braille character must have the same number of dots as there are dots in the grid square. In this way the plain text is obtained, see Figure 8.

Automatic Finger Tracking with Kalman filter
The automatic finger tracking stage is based on template matching and a tracking filter algorithm called a g-h filter (Brookner, 1998). Considering the one-dimensional case, and that the object (a fingertip) is moving at constant speed, the system dynamic model can be written as:

$$x_{n+1} = x_n + v_n T$$
$$v_{n+1} = v_n$$

where v is the speed, x the position of a fingertip (in horizontal direction), n is the time step, and T the time interval between time steps. These equations constitute the base for the algorithm to estimate the new position and new speed. If the measured position y_n of the object is not equal to the estimated position x_n, the speed is not constant – it has been changed and the estimated speed and position are predicted by the g-h tracking filter equations:

$$v_{n+1} = v_n + h_n \frac{y_n - x_n}{T}$$
$$x_{n+1} = x_n + v_{n+1} T + g_n (y_n - x_n)$$

where g_n and h_n are small parameters that can be time dependent. Here, constant values are used for g_n and h_n and related so that the tracking filter is a steady-state Kalman filter (Brookner, 1998). There are two independent g-h filters: one for the horizontal direction and one for the vertical.

A synthetically generated template resembling a fingertip is used for finding the positions of fingertips. The template is circular to avoid problems with fingertips that are rotated during the reading process. The starting positions for the index fingers are marked interactively in the computer display with the mouse. The tracking algorithm automatically tracks the two finger positions and stores them on a hard disk file. The tracking algorithm based on the g-h filter predicts the next two fingertip positions from current positions and speeds. The template matcher then searches a window centered on the estimated position for the best match, and assigns the best match position as the current position. The size of this search window is a compromise: as large as possible to facilitate tracking, but as small as possible to avoid confusion with other fingertips. This process continues to the end of the recording. During reading, especially of tactile images, finger constellations sometimes emerge (fingers from both hands intertwined or overlapping) that defy automatic tracking. Here, the human eye must do the analysis and recalibrate the tracking algorithm with the correct position of the fingertip. In order to include these particular events in the analyses, around ten minutes of manual calibration or trimming is needed for a five-minute recording containing 7500 picture frames. The return sweeps during the reading of Braille text can also cause problems – they are sometimes too fast to be picked up by the current sampling rate (25 picture frames per second). In our further development of the AFTS, we will increase the sampling rate to minimize this type of problem.

Inbuilt visual debugging
The tracking algorithm was crucial, and it took much iteration to get it to work reliably. The tracking algorithm was visualized (e.g. displaying the predicted search window) and overlaid the film showing the reading fingers (left pane in Figure 8). The tracking algorithm was run frame by frame, and by watching the graphics and textual data representations of the filter variables, the tracking algorithm could be debugged, improved and trimmed to satisfaction.

Visualization results generated by the Automatic Finger Tracking System
With the position file generated by the Automatic Finger Tracking System, it was now encouraging to start analyzing the test reading data obtained. Two obvious visualizations suitable for human visual analysis are the xy diagram and the xt diagram, see Figure 9. For specialists in visual impairments, these diagrams disclose much about the test subjects' reading styles.

As seen in the diagrams, the text line reading is cyclic, and each cycle can be divided into non-overlapping phases. We can, for example, partition the text line reading into four phases, and let the Automatic Finger Tracking System compute the time percentages for each one visualized in Figure 9. The four phases chosen here are:

- **RR:** both fingers are reading from left to right.
- **LR:** left finger makes a return sweep – from right to left – to the beginning of the next line, right finger continues reading.
- **LL:** both fingers make return sweeps.
- **RL:** left finger is reading again, and right finger is still making a return sweep.

The resulting time percentages for five test subjects are shown in Table 1.

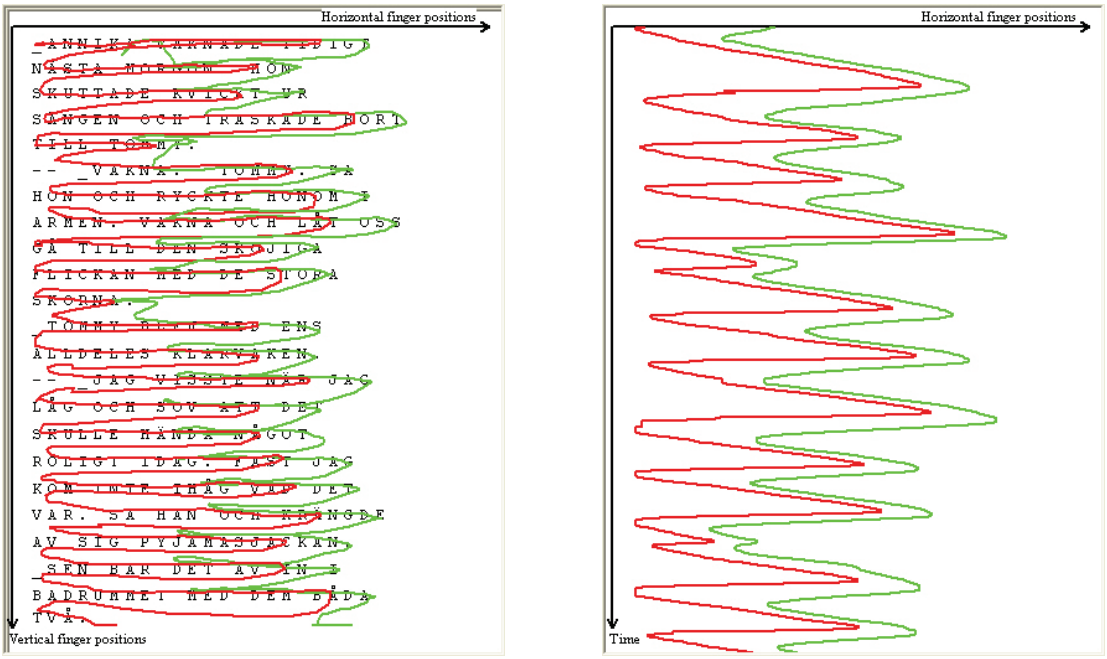


Figure 9. A. The xy diagram shows the traces for the left (in red) and right (in green) index fingers generated during reading of a Braille page. The Braille to plain text decoded image is shown as background to make human analysis easier. B. The xt diagram shows the two index fingers' horizontal positions on the Braille sheet on the horizontal axis, and time on the vertical axis. As can be seen in both diagrams, the test person mainly reads the left part of the sheet with the left index finger, and the right part with the right index finger. In the middle, both fingers are reading in parallel.

Table 1. Example from the Automatic Analysis: Phase time percentages and reading style classifications are computed automatically.

Subject	RR	LR	LL	RL	Hand preference	Type
A - female	0%	79%	21%	0%	Right	Onehanded
B - female	33%	31%	10%	26%	Right	Disjointed
C - female	62%	15%	14%	9%	Right	Mixed
D - male	54%	11%	11%	24%	Left	Mixed
E - male	54%	12%	12%	22%	Left	Mixed

Subject D, for example, spends most of the time (54%) reading with both index fingers in parallel, 24% reading with the left index finger only, and 11% with the right index finger only. 11% of the time, the fingers are engaged in return sweeps, that is, phases of transportation to the next line. The left index finger is engaged in reading 78% of the total reading time and the right index finger, 65%. Although S.B., our research person, is not left-handed, his most employed reading finger was nonetheless the left index finger. AFTS also computes the reading style and hand dominance on the basis of the time percentages for the four phases. The hand preference is also anticipated based on which of the LR or RL phases dominates.

The xt diagram, shown in Figure 9B, can be extended with the computed phase time information by adding color coded horizontal stripes to further visualize the reading behaviors, see Figure 10.

Tactile picture reading

Hitherto, all examples have shown Braille reading. Figure 11 shows the corresponding xy diagram for a subject exploring a tactile picture of a human face. Just as in the text reading activity, the spatial exploration of the tactile image reveals that the left part is mainly decoded by the left index finger and the right part by the right index finger.

THE AUTOMATIC FINGER AND SPEECH TRACKING SYSTEM

After the success with automatic finger tracking and the promising automatically computed results of the tactile test readings, new ideas emerged. It would be very interesting to also track oral reading on the syllable level, and compare the oral reading position in the text with the finger positions, and how the tactile preread time varied during sentences.

Extendibility

This was a completely new idea not included in the original project aspirations. But the system design tolerated extensions, and most of the basic mechanisms for testing speech tracking were already present in the system.

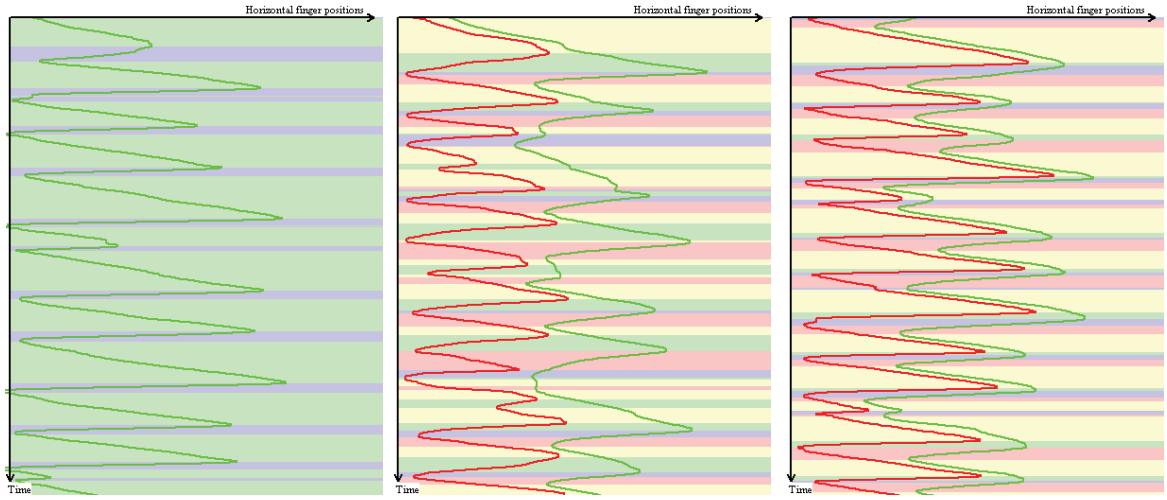


Figure 10. Extended xt diagram: The visualization in the xt diagrams has been extended with phase time information by adding horizontal colored stripes, where yellow corresponds to phase RR, green to LR, blue to LL, and red to RL. The reader in A reads only with one hand. The reader in B is a "disjoint" reader, the left part of the sheet is read by left index finger, and the right part with the right index finger. The reader in C reads in "mixed mode", there is a substantial area in the middle of the sheet that is read with the two index fingers in parallel.

From the beginning, this was thought to be impossible to implement in the pilot project – a speech recognition system (Becchetti, & Ricotti, 1999) would have to be used and interfaced to the Automatic Finger Tracking System. There was doubt about the existence of qualified speech recognition systems that could react on the syllable level, especially in recognizing a minor language like Swedish.

Instead, an approach based on the interaction between a human analyzer (inherently good at speech recognition and understanding) and a computer program was taken – a semiautomatic way of solving the problem. An easy way to perform speech tracking on a syllable level was to let the program recognize rapid amplitude increases (RAI) in the oral speech stream. After pauses, RAI events were generated, e.g. after pauses between words (not always) and inside words, such as the onset of stop consonants. The word "rapid", for example, was divided into the two syllables "ra" and "pid". RAI events were generated not only after complete silent pauses, but anytime the amplitude increases with a certain amount. The human analyzer edited the text file generated from the Braille to the plain text decoder and placed the special RAI event character "¤" where he/she judged that an RAI event should occur (within or between words), see Figure 12. Then the human analyzer ran the Automatic Finger and Speech Tracking System, see Figure 13. The oral reading was heard from the computer's speakers and a blue frame advanced syllable by syllable on the computer screen. The human analyzer verified if the blue frame sequencing agreed with the oral reading. If there were any disagreements, the human analyzer edited the text file again to add or remove RAI event characters, and then ran the Speech Tracking System again. This process was iterated until no errors were found. The human analyzer could run the Speech Tracking System at a lower speed, but after

Figure 11. In tactile perception, the two hands can move independently, perhaps simultaneously taking in information from more than one position. The picture shows the trajectories of the left and right index fingers (red and green respectively) during the hands' exploration of a tactile picture of a face. The finger movements cluster around the eyes, mouth and nose – objects which are criterial to the categorization of the depicted entity as a face.

a while he/she became so skilled that the playback could be played at full speed. In this first version, it took 15-30 minutes to complete the task. With enhanced computer interaction, this time could probably be reduced to about 5-10 minutes. The places for the syllable separating RAI events varied, considerably according to reader, dialect and prosody (e.g. a long vocal could eventually be accentuated by placing a short pause in it, thereby generating an unexpected RAI event after the pause).

Technically, the pause detector was implemented in C++code in a Sample Grabber filter in the DirectShow filter graph for the sound path, see Figure 5A. A short

```
'A'   0   1   28  16
'N'   0   2   41  16
¤
'N'   0   3   53  16
'I'   0   4   65  16
¤
'K'   0   5   78  16
'A'   0   6   91  16
' '   0   7  103  16
'V'   0   8  116  16
'A'   0   9  129  16
¤
'K'   0  10  141  16
'N'   0  11  154  16
'A'   0  12  167  16
¤
'D'   0  13  179  16
'E'   0  14  192  16
```

Figure 12. Excerpt from an RAI-character-tagged ("¤") text file for facilitating automatic speech tracking. The name "ANNIKA" is divided into the three syllables "AN", "NI" and "KA". The word "VAKNADE" (English "woke up") is divided into "VA", "KNA" and "DE". The columns of numbers are for row, column, and x-y-coordinates on the Braille sheet.

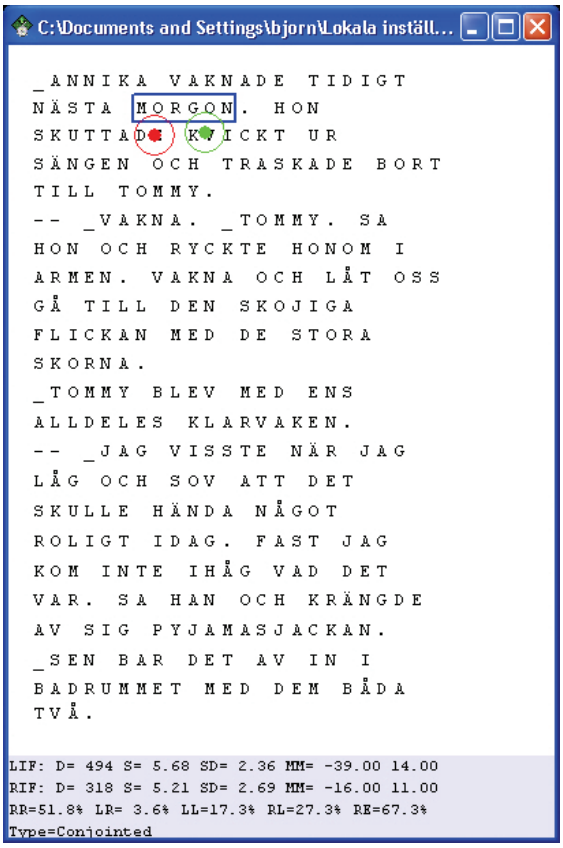


Figure 13. The program extended with Speech Tracking. The blue rectangle follows the reading aloud on the syllable level.

segment was taken under consideration. The mean amplitude for this segment was calculated and normalized to the range [0.0, 1.0]. Then the mean value was compared to the mean value for the previous segment. If the new mean value was larger

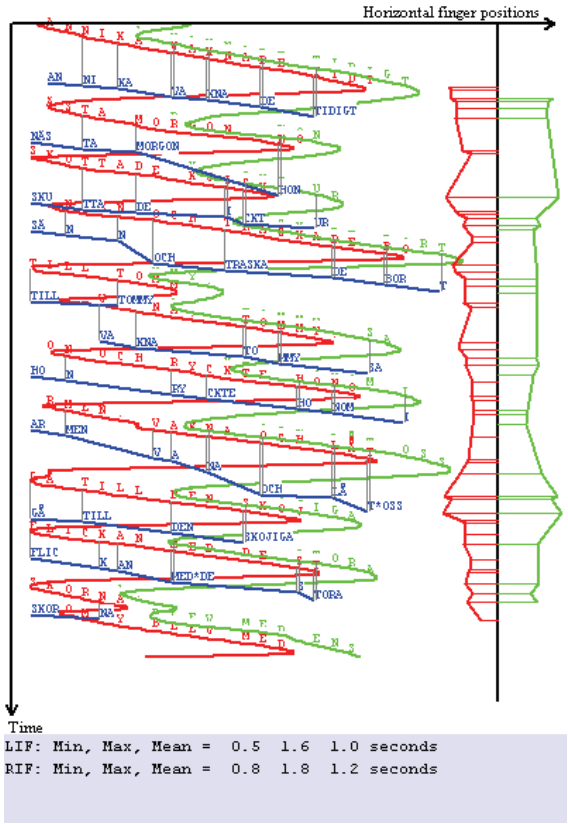


Figure 14. Automatic analysis with both finger and speech tracking (red, green and blue). The right part of the diagram shows the preread times with respect to the positions of the left and right fingers, and how it varies during reading, especially on the sentence level.

than the old by a fixed threshold value, the computation generated an RAI event – the amplitude had increased rapidly (determined by the threshold value). Further RAI events were not generated until the mean amplitude had decreased rapidly enough, generating an RAD event (not currently used), and then again increased.

When the syllable-calibration process was completed, and the Speech Tracking System was run, a new result file was generated. It contained the positions of the two index fingers and the oral reading for each frame. Those data are visualized in the enhanced xt diagram, see Figure 14. The red and green traces are visible as before. A blue trace has been added that reflects the timing of the oral reading process. The text accompanies the three traces as they are processed by the fingertips and speech. The right part of each diagram shows the two index fingers' preread time (red and green) with respect to the oral reading. The program has also calculated the minimum, maximum, and mean preread times for left (LIF) and right (RIF) index fingers.

CONCLUSIONS

The top-down approach and the highly interactive user interfaces, relying on audio-visual feedback, resulted in safe, maintainable, extendible and useworthy technology, enabling large scale studies of blind people reading Braille or tactile images. Large scale classifications of different reading styles of many subjects are within reach using the same equipment.

ABOUT THE AUTHOR

Björn Breidegard has long-standing experience in computer engineering. He is the designer of the complete system described in this article.

REFERENCES

1. Becchetti, C., & Ricotti, L. P. (1999). *Speech Recognition: Theory and C++ Implementation*. New York: Wiley.
2. Bertelson, P., Mousty, P., & D'Alimonte, G. (1985). A study of Braille reading: II. Patterns of hand activity in one-handed and two-handed reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*. 37(2-A), 235-256.
3. Breidegard, B., Eriksson, Y., Fellenius, K., Jönsson, B., Holmqvist, K., & Strömqvist, S. (in press). Enlightened: The Art of Finger Reading. *Studia Linguistica*.
4. Breidegard, B., Fellenius, K., Jönsson, B., & Strömqvist, S. (in press). Disclosing the Secrets of Braille Reading – Computer Aided Registration and Interactive Analysis. *Visual Impairment Research*.
5. Brookner, E. (1998). *Tracking and Kalman Filtering Made Easy*. New York: Wiley.
6. Kruglinski, D., Shepherd, G., Wingo, S. (1998). *Programming Visual C++*. Redmond, WA, USA: Microsoft Press.
7. Linetsky, M. (2001). *Programming Microsoft DirectShow*. Plano, TX, USA: Wordware Publishing Inc.
8. Millar, S. (1988). An apparatus for recording hand-movements. *British Journal of Visual Impairment and Blindness*, 1, 87-103.
9. Millar, S. (1997). *Reading by Touch*. London and New York: Routledge.
10. Mousty, P., Bertelson, P. (1985). A study of Braille reading: I. Reading speed as a function of hand usage and context. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*. 37 (2-A), 217-233.
11. Paesce, M. (2003). *Programming DirectShow For Digital Video, Television and DVD*. Redmond, WA, USA: Microsoft Press.
12. Wirth, N. (1971). Program Development by Stepwise Refinement. *Communications of the ACM*, 14, 221-227. New York: Association for Computing Machinery, Inc.