

# Identifiering av försöksdjur med biometriska metoder

Projektplanen har tagits fram i samarbete mellan Thorsteinn Rögnvaldsson (HiH), Kenneth Nilsson (HiH), Jens Cameron (DiLab) och Krister Martin (AstraZeneca). Detta är en utökad version av projekt/forskningsplan (30 mars 2005) med komplettering enligt KK stiftelsens önskemål. Vi är dock medvetet vaga kring vissa detaljer eftersom vi förväntar oss att kunna ta patent på systemet.

## Introduktion

Vid medicinska djurförsök är det viktigt att vid varje provtagning säkert identifiera de djur som ingår i en studie eftersom olika individer reagerar olika på samma behandling. Idag används två metoder för identifiering av försöksdjur: inoperering av elektroniska chips samt märkning av öron med klipp. Båda dessa metoder har svagheter.

**Inopererade elektroniska chips** Det operativa ingreppet är en belastning för djuret och metoden är dyr; ett chip kan inte återanvändas och kostar nästan lika mycket som en råtta och mer än en mus.

**Märkning av öronen med klipp** Klippen kan bli infekterade (flera djur går ofta i samma bur och andra djur kan riva upp såren och göra koderna oläsliga) och antalet koder är begränsat (till c:a tio). Systemet är känsligt för mänskliga misstag eftersom metoden bygger på att en tolkning av öronens utseende.

Båda metoderna innebär fysiska ingrepp (operation eller klipp) i djuret och ingen skulle använda dessa metoder på människor som ingår i en klinisk studie. Vi föreslår att ta fram en icke-invasiv metod för att identifiera försöksdjur, en metod som inte innebär något ingrepp i djuret och som (i bästa fall) innebär att djuret inte ens behöver fixeras (hållas fast) vid identifieringen. Det viktigaste skälet att pröva en sådan identifieringsteknik är det djurrättsliga.

De senare åren har flera tekniker utvecklats för att identifiera personer med s.k. biometriska metoder [1], metoder som använder fysiska/fysiologiska egenskaper för identifiering, och flera kommersiella system finns idag för detta. Biometrisk personidentifiering bygger på att alla människor har specifika fysiska drag, t.ex. fingeravtryck, som kan användas för att med stor säkerhet skilja en person från andra. Unika fysiska egenskaper är dock inget speciellt för människor utan även djur har unika drag som kan användas för identifiering, t.ex. finns kommersiella system för att identifiera hundar utifrån deras nosavtryck (<http://www.dognoseid.com>) och samma teknik kan användas på får, getter och nötkreatur. Vi avser ta fram ett system för biometrisk identifiering av små försöksdjur (möss, råttor och marsvin i första hand) i samband med provtagning. En sådan biometrisk identifieringsmetod är icke-invasiv, smärtfri och snabb.

## Metod

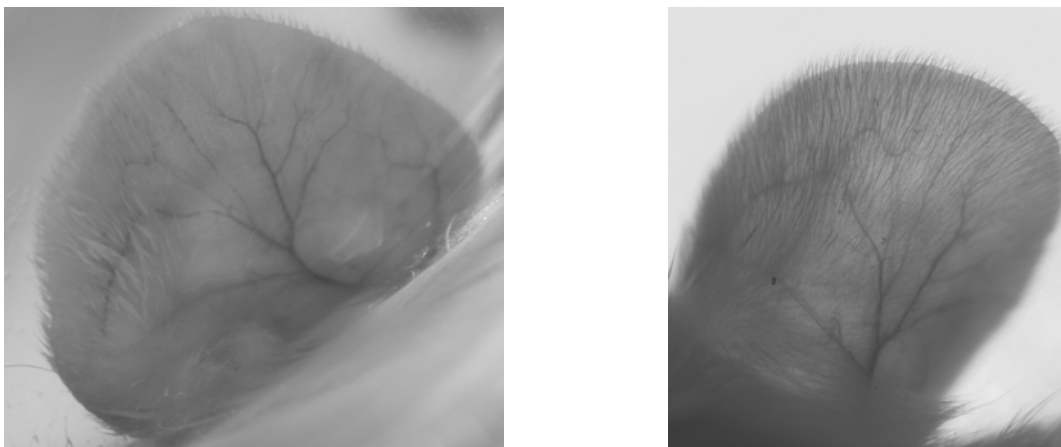
Biometri handlar om att identifiera individer baserat på deras fysiologiska egenskaper. Det mest kända exemplet är identifiering med fingeravtryck men flera andra biometriska metoder har utvecklats under de senaste åren, bl.a. identifiering med ansiktsgeometri, handgeometri, röst, signatur, samt blodkärlsgeometri i hand och ögonbotten. De senare metoderna använder de mönster som blodkärlen bildar för identifiering. Vi avser att utveckla en icke-invasiv metod som använder blodkärlen i öronen på laboratoriedjur för identifiering (figur 1). En sådan mätning bör bli snabb och smärtfri för djuret samtidigt som den är säker.

Flera saker talar för att en sådan ansats blir framgångsrik. En väsentlig egenskap för det biometrimått som används för identifieringen är att det är unikt, stabilt över tiden och mätbart. Det är enkelt att avbilda blodkärlen i mus- och råttöron (figur 1) och de goda identifieringsresultat man erhållit på människor med blodkärlsmönster visar att sådana mönster är ett lämpligt unikt biometrimått för identifiering och tillräckligt stabilt för tillämpningen. Laboratoriedjurförsök involverar oftast mindre grupper (några hundra djur) och identifieringen sker därför i en ganska begränsad databas. Detta förenklar identifieringen eftersom sannolikheten att finna två djur med liknande mönster bör vara mindre i en liten grupp. Dessutom är det ingen risk att någon försöker förfalska en identitet, vilket ytterligare förenklar identifieringen. En målsättning med projektet är att lyckas identifiera djur i en databas med några tusen djur. En annan målsättning är att ta fram en teknik som inte kräver att djuret fixeras vid identifieringen. I fallet med laboratoriedjur sker provtagning och mätning under kontrollerade förhållanden och så frekvent att man enkelt bör kunna följa eventuella förändringar i kärlmönster (vi tänker oss t.o.m. att i en möjlig fortsättning på detta projekt titta på system för att följa förändringar av blodkärlsmönster hos djur i samband med sjukdomsprogression).

Det system vi avser ta fram består av följande delar:

- En sensor som "läser in" ett öra. Denna består av en väldefinierad ljuskälla som genomlyser örat och en bildsensor som fångar upp en kontrastrik bild av örats blodkärl. Ett starkt önskemål här är att sensorn inte kräver någon fixering av djuret. (Denna tas fram av DiLab i samarbete med AstraZeneca.)
- En algoritm för att identifiera väsentliga strukturer i örats blodkärl och parametrisera dessa till ett kompakt sökbart format. Fler än en algoritm kommer att utvecklas och utvärderas. (Denna tas fram av Högskolan i Halmstad.)
- En algoritm som jämför den parametriserade bilden mot andra parametriserade bilder i en databas. (Denna tas fram av Högskolan i Halmstad.)
- En databas som innehåller djur och identifieringsparametrar. (Denna designas av DiLab.)
- Ett gränssnitt där användare kan identifiera djur såväl som lägga in nya djur och ta bort gamla. Eventuellt kan man här även uppdatera identifieringsparametrarna om kärlmönstret förändras då unga djur växer. (Detta tas fram av DiLab i nära kontakt med AstraZeneca.)

Såvitt vi känner till har ingen publicerat (eller patenterat) något liknande.



**Figur 1.** Bilderna visar ett öra (från en och samma mus). Bilden till vänster är när örat är fixerat mellan två glasplattor och bilden till höger visar örat fritt. Blodkärlen är väl synliga i båda fallen.

Högskolans del i projektet består i att ta fram en snabb algoritm för att behandla bilden och extrahera relevanta egenskaper hos blodkärlsträdets (figur 1), samt en snabb och säker algoritm för att matcha det observerade blodkärlsträdets mot registreringar i en databas.

Projektet har erhållit finansiering från Vinnova (700 000 kronor) för att utveckla en första prototyp. I denna första prototyp ingår dock inte kravet att djuret inte skall fixeras och heller inte någon längre utvärdering av algoritmerna (med förändringar som kan behövas efter de erfarenheter man gör med prototypsystemet). Vi vill, med den finansiering vi söker från KK-stiftelsen, utöka projektet i dessa två avseenden.

I den första delen avser vi dels att undersöka huruvida man kan identifiera djuret utan att fixera det, d.v.s. att kunna ta bilder av örat från olika vinklar och i olika storlekar men ändå kunna bestämma djurets identitet, och dels att undersöka hur många egenskaper som krävs för att uppnå en viss säkerhet vid identifieringen. Att inte fixera djuret är en viktig aspekt ur djurrättssynpunkt men inte direkt enkel att uppnå i ett identifieringssystem. Man kan uppnå det på två sätt: antingen transformerar man blodkärlsträdets till en given orientering eller så representerar man blodkärlsträdets med invarianta egenskaper, d.v.s. egenskaper som inte ändras när man roterar örat eller ändrar skalan. Detta skiljer situationen från biometri på människor; vid identifiering av människor med blodkärlsmönster på handryggen vet man, i stort sett, hur objektet är orienterat.

I uppföljningsdelen, där AstraZeneca kommer att vara en mycket viktig part, avser vi testa algoritmerna i olika lab och bl.a. undersöka inverkan av den yttre miljön på identifieringsförmågan. Temperatur och stress påverkar blodkärlens utvidgning, små blodkärl kan t.o.m. stängas av om det blir för kallt, och där behöver vi undersöka hur känsliga algoritmerna är. Om fallet är att algoritmerna är för känsliga behöver vi modifiera dem.

## Unikhet hos blodkärlsmönster

Det är viktigt att betona att området med identifiering av smådjur utifrån blodkärlsmönster i öronen är obeforskat. Det finns inga studier som visar hur mycket blodkärlsmönster varierar mellan olika individer. Vi måste därför inledningsvis

ta reda på detta. I djurförsök används dessutom djur som i stort sett skall vara identiska, vilket kan påverka blodkärlsmönstret. Det fortsatta arbetet kommer att påverkas av de slutsatser vi drar i inledningsfasen.

## Beröringsfri mätning och bilder

Vi vet inte i dagsläget hur fixeringsfri identifieringen behöver vara (det är en del av projektet att avgöra det). Vi vet att fixering av djuret är otänkbart men det är möjligt att vi kan konstruera ett mätsystem som mycket kortvarigt fixerar djurets öra utan att detta upplevs stressande för djuret. Vi har testat med ett fåtal individer (marsvin, råtta, mus) hos AstraZeneca R&D Lund och de djur vi har undersökt verkar inte stressade av att man vidrör eller håller fast deras öron en kort stund. Det kan dock variera mellan olika stammar, en del stammar är avsevärt mer aggressiva än andra, och det kan variera med hur habituerade djuren är till sina djurskötare.

Om det är möjligt att fixera örat kortvarigt blir huvudproblemet att identifiera avvikelser (t.ex. vikta öron) och ”registrera” alla bilder, d.v.s. orientera dem till ett väl definierat koordinatsystem, så att bilderna kan jämföras. Denna situation är i stort sett densamma som vi idag har för identifieringssystem med fingeravtryck på en sensorplatta (vilket förvisso inte är triviale men där det finns mycket erfarenheter att bygga på). Det är vår förhoppning att detta skall vara tillräckligt.

Om det visar sig nödvändigt att identifiera djuren helt beröringsfritt ser vi följande möjligheter (nämnda även i avsnittet ovan):

- Invarianter: Vi undersöker om det går att hitta invarianter i mönstren, d.v.s. representationer av mönstren som inte förändras (eller förändras lite) vid rotation, skalförändring, vridning. Här kan det bli aktuellt att även titta på andra saker än blodkärlsmönster som t.ex. örats geometriska form (kontur), placering av brosk, avstånd mellan öron och ögon, etc.. Utmaningen här är att finna representationer av det geometriska mönstret som inte påverkas av omskalningar, rotationer och andra relevanta transformationer.
- Att uppskatta örats form och position: Genom att sätta upp en linjeljuskälla (t.ex. en laser) i vinkel (t.ex. 30 eller 45 grader) mot kamerans betraktningvinkel visas linjen som en sned höjdprofil (liksom ett kägelsnitt om linjen träffar en kon) och vi kan därur uppskatta örats form. Lämpligen tar man då två bilder i snabb följd varav den ena med en ljuslinje synlig (ger höjdprofilen) och den andra används för att få fram blodkärlsmönstret, som kan döljas av ljuslinjen. Utifrån dessa bilder kan vi sedan transformera blodkärlsmönstret (den del som syns) tillbaka till en flat orientering där vi kan jämföra bilderna.

## Bildoperatorer/egenskaper

Vi tänker oss i första hand arbeta med bilder på öron, eftersom vi förväntar oss att blodkärlsmönstret har tillräckligt stor variation (unikhet) för att identifieringen skall fungera. Om det skulle visa sig att öronmönstret inte är tillräckligt unikt behöver vi komplettera med annan information.

De bildanalysansatser som vi börjar med bygger på det arbete vi gjort tidigare med fingeravtryck, d.v.s. vi kommer att titta på orienteringsfält  $z(x,y)$

$$z(x, y) = (f_x + i \cdot f_y)^2$$

där  $f_x$  och  $f_y$  är derivatan i bilden i  $x$  respektive  $y$ -led. Orienteringsfälten beräknas i olika skalor, s.k. Gaussisk pyramid, varifrån placeringen av s.k. ”minutiae” punkter (förgreningar, avslutningar) identifieras. Dessa operatorer kan beräknas mycket snabbt.

## Relevant tidigare forskning internationellt

Den forskning som är mest relevant är biometriska metoder som bygger på mänskliga öron [2], fingeravtryck, handavtryck [3] och blodkärlsmönster (jfr. figur 1). Exempel med blodkärlsmönster är handryggen [4,5], handflatan [6] och fingertopparna [7][8]. En skillnad mellan vårt projekt och typiska applikationer på fingeravtryck, handavtryck och blodkärlsmönster är att i de senare bygger metoderna på att den intressanta kroppsdelens endast har (som mest) två frihetsgrader. Ett exempel är det patent från 1998 som bygger på blodkärlsmönster i handryggen [4], där handens orientering är helt känd p.g.a. att man håller i en fixerad pinne. Andra exempel är applikationer med fingeravtryck [13] och handflator [6] där objektet (fingerblomman eller handflatan) trycks mot en sensor därför endast behöver roteras och translateras i ett plan för att matchas med ett annat avtryck. Ett mål i vårt projekt är att djuret helst inte skall behöva fixeras alls (den vänstra bilden i figur 1 visar ett öra fixerat mellan två glasplattor, d.v.s. en situation lik den med fingeravtryck och handflata, medan den högra bilden visar samma öra fritt) och vi förväntar oss att detta ökar svårighetsgraden i projektet avsevärt. System med fingeravtryck är intressanta i sammanhanget p.g.a. användandet av relativa positioner hos minutiaepunkter. Minutiaepunkter är en lågdimensionell representation av fingeravtrycket (i motsats till själva bilden av fingeravtrycket) för identifiering [9] och ett blodkärlsmönster har också sina

“minutiae-punkter”, t.ex. förgreningspunkter i blodkärlstrådet. Andra metoder som är intressanta i sammanhanget är identifieringsmetoder som bygger på den lokala orienteringen av fingeravtryckets mönster [10]. Det senare är också applicerbart på blodkärlsmönstret eftersom detta består av linjesegment med olika orienteringar.

## Relevant tidigare forskning i Halmstad

Högskolan i Halmstad har en framstående verksamhet inom biometri, ledd av Professor Josef Bigün ([www.hh.se/staff/josef/](http://www.hh.se/staff/josef/)). Den person vid högskolan som kommer att utveckla biometrialgoritmer (Tekn. Lic. Kenneth Nilsson) är doktorand till Professor Bigün och har ägnat flera år åt identifiering med fingeravtryck. Kenneth Nilsson kommer att avsluta sin avhandling under 2004 och disputerar i inledningen av 2005. Den andra personen vid högskolan (Docent Thorsteinn Rögnvaldsson) i projektet har i flera år forskat på mönsterigenkänning och maskinlärningsalgoritmer, samt tagit fram bioinformatiska algoritmer för att snabbt matcha proteiner mot databaser. Rögnvaldssons huvudsakliga roll inom projektet är som projektledare och hans erfarenheter från proteinidentifiering och maskinlärande är högst relevanta.

### Biometri/fingeravtryck

Tekn. Lic. Nilsson har inom sitt doktorandarbete arbetat med fingeravtrycksmatchning, vilket har stora likheter med det föreslagna projektet. En kort beskrivning av Nilssons forskning återfinns nedan.

Ett fingeravtryck är ett mönster av mörka och ljusa linjer med både lokala och globala egenskaper. De globala egenskaperna är riktningen på linjemönstret samt kärnpunkternas position och orientering. De lokala egenskaperna är positionerna av minutiae-punkterna. Globala egenskaper används för registrering<sup>1</sup> av två fingeravtryck och lokala för matchningen av två fingeravtryck. Ett fingeravtryck representeras med dess orienteringsfält i olika skalor eller upplösningar. Orienteringsfältet estimeras med gradienten i varje punkt och olika skalor erhålls med lågpas-filtrering och nedsamling. Globala egenskaper extraheras från skalor med låg upplösning och lokala från skalor med hög upplösning.

Stora delar av fingeravtrycket har lokalt linjär symmetri (parallella linjer, d.v.s. lokalt samma orientering) men det finns även områden som lokalt saknar linjär symmetri (kärn- och minutiae-punkter). Vi använder egenskapen ”avsaknad av lokal linjär symmetri” i referens [11] för att lokalisera minutiae punkter. Den linjära symmetrin på en cirkel runt sådana punkter modelleras m.h.a. fourierkoefficienter, vilka används för att kategorisera punkterna i olika typer. Positionen och kategorin hos dessa punkter används sedan för registrering och matchning av två fingeravtryck. I referenserna [12, 13, 14] beskriver vi hur kärnpunkterna i ett fingeravtryck kan användas för att registrera två fingeravtryck innan en matchning av fingeravtrycken görs. Kärnpunkternas position samt deras spatiala orientering estimeras med hjälp av två komplexa filter konstruerade för att extrahera lokal symmetri av ordning ett (hyperbolisk symmetri). Filtringen utförs för de olika skalorna. Detektering av kärnpunkter görs successivt från låg till hög upplösning för att undvika att få med falska kärnpunkter. I [15] använder vi egenskapen ”lokal linjär symmetri” för att beräkna en mer anpassad scanning (jämfört med den vanliga rad-scanningen) av ett fingeravtryck. Tillsammans med en förlustfri komprimeringsalgoritm ger detta en bättre komprimering än om radscanning använts.

### Identifiering/matchning mot databas

Rögnvaldsson har i flera år forskat på maskinlärningsalgoritmer för identifiering/kategorisering av mätningar. De senare åren har han även tagit fram (i samarbete med andra) ett komplett system för identifiering av proteiner. Detta system bygger på att extrahera egenskaper från mass-spektra och matcha dessa mot en databas – en applikation som har många saker gemensamt med vårt biometriprojekt.

I referens [16] beskriver vi systemet, hur databasmatchningen fungerar och hur man validerar den match man fått mot databasen. Mjukvaran finns att ladda ner från högskolans bioinformatikhemsida (<http://www.hh.se/bioinf/>). Matchningen görs i princip som en hypotesprövning där nollhypotesen är ”sluppmässig matchning”. I referens [17] beskriver vi hur maskinlärningsalgoritmer kan användas för att förbättra resultaten och göra dem mer okänsliga för operatörsmisslag. I referens [18] beskriver vi hur man kan använda en uppsättning data som är uppmätta vid samma tidpunkt för att minska brusnivån i data och dessutom förbättra möjligheterna för att köra automatiserad analys.

---

<sup>1</sup> Registrering innebär att man ser till att två fingeravtryck är likadant translaterade och roterade (så att de kan jämföras).

## Relevant tidigare utveckling vid DiLab

DiLabs kundkrets är läkemedelsföretag som arbetar in vivo (med försöksdjur). DiLab (<http://www.dilab.se/>) har byggt ett flertal system för insamling av mätdata under samlingsbeteckningen AccuGauge (mäter bl.a. öronsvullnad hos möss, ledinflammationer, tumörtillväxt, monitorering av kroppsvikt, scoringprotokoll). Idag fokuserar DiLab på en robot som automatiskt (utan operatörsingripande) tar blodprover på frigående försöksdjur. Systemet kallas AccuSampler (<http://www.dilab.se/accusampler.htm>) och har idag (sept-2004) sålts i över 250 exemplar i Europa och Nordamerika.

Försöksdjur stressas av all hantering och syftet med AccuSampler är dels att kunna ta blodprover utan att störa djuret, dels att ta proverna på ett kontrollerbart och repeterbart sätt (samma volym och flödes hastighet), vilket ger bättre kvalitet på proverna. Studier har visat att försöksdjur inte märkbart påverkas av AccuSamplers blodprovstagning och man kan därför minska antalet försöksdjur med upp till 80% (d.v.s. till en femtedel) med bibehållen statistisk signifikans. AccuSamplern möjliggör även mätningar som tidigare varit omöjliga, t.ex. har farmakodynamiska mätningar av tillväxthormon kunnat utföras i AccuSampler vilka tidigare var (i princip) omöjliga att genomföra med manuell provtagning p.g.a. att tillväxthormon helt slutar frisättas då djuren stressas.

Försöksdjursetik är centralt för DiLab och DiLabs kunder och en internationellt erkänd auktoritet på området är därför knuten till företaget. Idén om ett bildbaserat/biometriskt identifieringssystem har diskuterats hos DiLab sedan länge men man har inte sett sig ha resurser och kompetens att driva projektet förrän kontakt etablerades med högskolan i Halmstad.

## Legala och marknadsmässiga förutsättningar

Tekniken med identifiering av laboratoriedjur medelst blodkärlsmönster i öronen är inte patenterad. Det finns flera patent inom biometri men inget som vi känner till med den här applikationen.

Högskolans projektdeltagare och företaget har detaljerat diskuterat äganderätt till patent och produkt (och ersättningar vid eventuell produkt). Inga avtal har skrivits ännu men parterna (Kenneth Nilsson, Thorsteinn Rögnvaldsson, Dilab och AstraZeneca) har muntligt kommit överens om formerna och innehållet. Avtal kommer att skrivas innan projektstart (1 januari 2005).

## Tidsplan

Steg	Beskrivning	Period
1	En kravspecifikation på de delar som ingår i systemet, framför allt sensorn och algoritmen för parametrering.	Jan./2005
2	Sensorprototyp för att få fram distinkta bilder på kärlmönster i smådjursöron.	Feb. – Mars/2005
3	Insamling av bilder.	April – Maj/2005
4a	Utveckling av första prototyp av biometrisk algoritm	Mars – Okt./2005
4b	Utveckling av sensor.	Juni – Okt./2005
5a	Implementering av djurdatas och användargränssnitt för ett generiskt identifieringssystem, samt integrering med DiLabs nuvarande produkt. Första prototyp färdig.	Aug. – Dec./2005
5b	Vidareutveckling av biometrialgoritmer (f.a. för identifiering utan fixering).	Nov./2005 – Juni/2006
6	Utvärdering/testning av systemet	Jan. – Juni/2006
7	Ändringar, modifieringar av systemet (algoritmer, databas, m.m.)	Maj – Dec./2006

## Referenser

- [1] Jonietz, E., "Boosting biometrics", *Technology Review*, **107**, pp. 20-21 (2004).
- [2] Hurley, D.J., Nixon, M.S. and Carter, J.N., "Automatic ear recognition by force field transformations", *IEE Colloquium on Visual Biometrics*, March 2, pp. 7/1-7/5 (2000)
- [3] Li, W., Zhang, D. and Xu, Z. "Image alignment based on invariant features for palmprint identification", *Signal Processing: Image Communication*, **18**, pp. 373-379 (2003)
- [4] Clayden, D.O. "Biometric identification of individuals by use of subcutaneous vein patterns", *US Patent* 5787185 (1998)
- [5] Im, S-K, Park, H-M, Kim, Y-W, Han, S-C, Kim, S-W, Kang, C-H, and Chung, C-K, "An Biometric Identification System by Extracting Hand Vein Patterns", *J Korean Physical Society*, **38**, pp. 268-272 (2001)
- [6] [pr.fujitsu.com/en/news/2003/03/31.html](http://pr.fujitsu.com/en/news/2003/03/31.html)
- [7] Kono, M, Umemura, S-I, Miyatake, T., Harada, K., Ito, Y. and Ueki, H. "Personal identification system", *US Patent Application* 20040120556 (2004)
- [8] [www.hitachi.com/ICSFiles/afiedfile/2004/06/18/r2004\\_02\\_102.pdf](http://www.hitachi.com/ICSFiles/afiedfile/2004/06/18/r2004_02_102.pdf)
- [9] Chang, S.H., Cheng, F.H., Hsu, W.H., and Wu, G.Z. "Fast Algorithm for Point Pattern-Matching: Invariant to Translations, Rotations, and Scale Changes", *Pattern Recognition*, **30**, pp. 311-320 (1997)
- [10] Jain, A.K., Prabhakar, S., Hong, L., and Pankanti, S. "Filterbank-Based Fingerprint Matching". *IEEE Transactions on Image Processing*, **9**, pp. 846-859 (2000)
- [11] Nilsson K. and Bigün J. "Using linear symmetry features as a pre-processing step for fingerprint images", *Audio and Video Based Person Authentication – AVBPA 2001* (Bigün & Smeraldi, eds.), Springer, pp. 247-252 (2001)
- [12] Nilsson K. and Bigün J. "Complex filters applied to fingerprint images detecting prominent symmetry points used for alignment", *International ECCV Workshop on Biometric Authentication*, Copenhagen, Denmark, June (2002)
- [13] Nilsson K. and Bigün J. "Prominent symmetry points as landmarks in fingerprint images for alignment", *Proceedings of the international Conference on Pattern Recognition, Quebec, Canada*, IEEE computer society, August (2002)
- [14] Nilsson, K. and Bigün, J. "Localization of corresponding points in fingerprints by complex filtering". *Pattern Recognition Letters*, **24**, pp. 2135-2144 (2003)
- [15] J. Tharna, K. Nilsson, and J. Bigun. "Orientation scanning to improve lossless compression of fingerprint images." In J. Kittler and M. S. Nixon (eds.), *Audio and Video based Person Authentication - AVBPA03, LNCS-2688*, pp. 343-350. Springer Verlag (2003).
- [16] Samuelsson, J., Dalevi, D., Levander, F. and Rögnavaldsson, T.. "Modular, Scriptable, and Automated Analysis Tools for High-Throughput Peptide Mass Fingerprinting". Kommer att publiceras i *Bioinformatics* (2004)
- [17] Rögnavaldsson, T. Häkkinen, J. Lindberg, C. Marko-Varga, G., Potthast, F. and Samuelsson, J. "Improving Automatic Peptide Mass Fingerprint Protein Identification by Combining Many Peak Sets". *J. Chromatography B*, **807**, pp. 209-215 (2004)
- [18] Levander, F. Rögnavaldsson, T. Samuelsson, J. and James, P. "Automated methods for improved protein identification by peptide mass fingerprinting". Kommer att publiceras i *Proteomics* (2004).