VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

ERKENNUNG DER FEINEN HAUTBEWEGUNGEN DES FINGERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE BC. PETER DRAGULA
AUTHOR

BRNO 2007

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRNO
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTÄT FÜR INFORMATIONSTECHNOLOGIEN
INSTITUT FÜR INFORMATIONSSYSTEME
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

ERKENNUNG DER FEINEN HAUTBEWEGUNGEN DES FINGERS

RECOGNITION OF FINE SKIN MOVEMENTS ON A FINGERTIP

DIPLOMARBEIT
MASTER'S THESIS

AUTOR BC. PETER DRAGULA
AUTHOR

LEITER ING., DIPL.-ING. MARTIN DRAHANSKÝ, PH.D.
SUPERVISOR

BRNO 2007

Diplomarbeit Spezifikation – Diese Seite wird mit dem Original ersetzt

---

Lizenz der Diplomarbeit – Diese Seite wird mit dem Original ersetzt.

Abstrakt

Heutzutage beeinflusst die Biometrie mehr und mehr unsere Leben. Diese Technologie soll uns Sicherheit und auch Bequemlichkeit erschaffen. Biometrische Systeme ersetzen jeden Tag ältere Sicherheitssysteme und die Firmen versprechen sich mehr Leistung zu bekommen. Aber trotzdem kann man über viele Bereiche der Biometrie sagen, dass sie noch zurückgeblieben sind. In meiner Arbeit analysiere ich den Zustand der ganzen biometrischen Industrie, ich lerne die neuesten Technologien kennen. Die Mängel dieser Industrie sind noch deutlich und es müssen noch viele Innovationen durchgesetzt werden. Ich widme mich meistens der Sicherheit der biometrischen Systeme, konkret orientiere ich mich auf die Fingerabdruckstechnologie. Nach der Analyse der neuesten Angriffe und Sicherheitsvorgänge, werte ich die Technik der Erkennung der feinen Hautbewegungen der Fingerspitzen aus.

Schlüsselwörter

Biometrie, Sicherheit, feine Hautbewegungen, Erkennung, Fingerabdruck, optisches Prinzip, Lebendigkeit, Identifizierung.

Abstract

Biometrics nowadays influences more and more our lives. This technology should offer us security and comfort. Biometric systems replace each day older security systems and companies hope getting more performance. Nonetheless, we can say, there are many areas of biometrics, which still fall behind. I analyze in my Thesis the state of the whole biometrics industry and I familiarize myself with the newest technology. The shortcomings of this industry are still obvious and there are many innovations to be carried through. I pay attention mainly to the security of biometric systems, especially to fingerprint technology. After analyzing the newest attacks and security procedures, I evaluate the technique of recognition of fine skin movements on the fingertips.

Keywords

Biometrics, security, fine skin movements, recognition, fingerprint, optical principle, liveness, identification.

Erkennung der feinen Hautbewegungen des Fingers

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Diplomarbeit allein unter der Führung von Dipl.-Ing. Martin Drahanský, Ph.D. verfasst habe.

Ich habe alle Literaturquellen und Publikationen, die ich benutzt habe, angegeben.

……....
Peter Dragula
22.05.2007

Danksagung

Besonders möchte ich mich bei Dipl.-Ing. Martin Drahanský, Ph.D. bedanken. Er hat mich stets unterstutzt und war immer sehr hilfreich. Mein Dank geht auch Ing. Ilona Kalová, die mir besonders mit der Apparatur geholfen hat. Und zu letzt will ich mich auch bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, deren Ratschläge mir wertvolle Unterstützung waren.

© Peter Dragula, 2007.

Diese Arbeit entstand als ein Schulwerk auf VUT Brno, Fakultät Für Informationstechnologien. Die Arbeit ist mit Urheberrechtsgesetz geschützt und ihre Benutzung ohne Befugnis des Urhebers ist nicht erlaubt (mit der Ausnahme der durch das Gesetz definierten Fälle).

Inhalt

1 EINLEITUNG 9

1.1 HINTERGRUNDINFORMATIONEN 9
1.2 MÖGLICHKEITEN DER ERKENNUNG 9
1.3 PROBLEME 9
1.4 LÖSUNGEN 10

2 BIOMETRISCHE SYSTEME 11

2.1 IDENTIFIZIERUNG UND VERIFIZIERUNG 11
2.2 ERKENNUNG UND IHRE FEHLER 12
2.3 SCHWACHE STELLEN DER BIOMETRISCHEN SYSTEME 12
2.4 MERKMALE DER BIOMETRISCHEN SYSTEME 13

3 FINGERABDRÜCKE 15

3.1 NACHTEILE DER FINGERABDRUCKSENSOREN 15
3.2 ANGRIFFSMÖGLICHKEITEN 17

4 PRÜFUNG DER LEBENDIGKEIT 21

4.1 TRANSPIRATION 21
4.2 LEITFÄHIGKEIT 23
4.3 HERZSCHLAG 23
4.4 RELATIVE DIELEKTRIZITÄTSKONSTANTE 24
4.5 AUFNAHME DER UNTER-EPIDERMIS 24
4.6 ERKENNUNG DER FEINEN HAUTBEWEGUNGEN DES FINGERS 24

5 BEFESTIGUNG DER HAND UND DES FINGERS 28

5.1 PROBLEME MIT DER MESSUNG 28
5.2 DIE BEFESTIGUNG DER HAND UND DES FINGERS 28

6 ENTWURF DER ERKENNUNG 31

6.1 DAS ANFANGSBILD 31
6.2 SEGMENTATION 35
6.3 BESCHREIBUNG VON OBJEKTEN 40
6.4 AUF REGIONEN AUFGEBAUTE FORMENBESCHREIBUNGEN 41
6.5 OBJEKT-ERKENNUNG 41

7 IMPLEMENTIERUNG 43

7.1 .NET PLATTFORM 43
7.2 DAS INTERFACE 43
7.3 APPARATUR 43
7.4 KANTENDETEKTION 44
7.5 AUFLÖSUNG 45
7.6 DAS PROGRAMM 47
7.7 SUCHE FÜR CHARAKTERISTISCHE PUNKTE 47
7.8 AUTOMATISCHE DETEKTION DER CHARAKTERISTISCHEN PUNKTE 50
7.9 ERGEBNISSE DER MESSUNGEN 50

APPENDIX A - ABBILDUNGEN 55

Liste der Abbildungen

ABB. 2—1 IDENTIFIZIERUNG UND VERIFIZIERUNG [SAN04] 11
ABB. 2—2 ERKENNUNGSFEHLER [SAN04] 12
ABB. 2—3 SCHWACHE STELLEN [ULU04] 13
ABB. 3—1 OPTISCHER SENSOR 15
ABB. 3—2 RESISTENZ-SENSOR [KRA01] 15
ABB. 3—3 GRAPHITSCHICHT UND EIN GUMMI-FINGER [KRA01] 16
ABB. 3—4 DRUCK-SENSOR [KRA01] 16
ABB. 3—5 KAPAZITIVE SENSOREN [KRA01] 17
ABB. 3—6 FAR DER GETESTETEN GERÄTE IST SEHR HOCH!!! [MAT02] 19
ABB. 4—1 LINKS SCAN T = 0 S, RECHTS T = 5 S [KLU05] 22
ABB. 4—2 GUMMIFINGER UND KADAVERFINGER (UNTEN) [KLU05] 22
ABB. 4—3 SIGNALE AUFGENOMMEN VOM SENSOR [SCH00] 23
ABB. 4—4 ILLUSTRATION DER BEWEGUNGEN VON PAPILLARLINIEN 24
ABB. 4—5 BERECHNUNG DER DISTANZ VON ZWEI POSITIONEN DER PAPILLARLINIE 25
ABB. 4—6 PRINZIP DER MESSUNG [DRA06] 25
ABB. 4—7 MAKRO 1 – 4X VERGRÖßERUNG 26
ABB. 4—8 MAKRO 2 26
ABB. 4—9 PRINZIP DER MESSUNG MIT EINEM LASERMODUL [DRA06] 27
ABB. 4—10 MESSUNGEN MIT DEM LASERMODUL [DRA06] 27
ABB. 4—11 BLUTDRUCK-GRAPH [BEN00] 27
ABB. 5—1 EINE PLATTE WURDE FÜR BEFESTIGUNG DES FINGERS BENUTZT 28
ABB. 5—2 DIE BEFESTIGUNG-DER KAMERA UND DER HAND 29
ABB. 5—3 DER FINGER KANN SICH NICHT BEWEGEN 29
ABB. 5—4 EINE EINSENKUNG FÜR DEN FINGER 30
ABB. 6—1 DIE PERSPEKTIVANSICHT [HLA02] 31
ABB. 6—2 DAS RGB MODELL [HLA02] 32
ABB. 6—3 TRANSLATION [HLA02] 33
ABB. 6—4 MAßÄNDERUNG [HLA02] 34
ABB. 6—5 ROTATION UM DEN A WINKEL [HLA02] 34
ABB. 6—6 LOKALE DERIVATION [GON92] 37
ABB. 7—1 DIE BENUTZTE AUSSTATTUNG 44
ABB. 7—2 SOBEL KANTENDETEKTION 45

ABB. 7—3 GEÄNDERTE VERGRÖßERUNG 45
ABB. 7—4 DISTANZ DER BEDEUTENDEN PUNKTE IN EINEM ABGENOMMENEN BILD 46
ABB. 7—5 DAS PROGRAMM..... 47
ABB. 7—6 DETEKTIERTE KANNTEN 48
ABB. 7—7 MARKIERTE PUNKTE UND DEREN DISTANZÄNDERUNG AUF EIN GRAPH EINGETRAGEN 49
ABB. 7—8 MARKIERTE PUNKTE UND DEREN DISTANZÄNDERUNG (%) 49

1 Einleitung

1.1 Hintergrundinformationen

Biometrische Systeme sind wie noch nie zuvor ausgebreitet, und das auf allen Ebenen unseres Lebens. Es gibt 2 Bereiche, in die wir diese Systeme einteilen können:

- Systeme, die unter der Aufsicht der Experten arbeiten, z.B. Fingerabdruck-Scans für die Polizei.
- Automatisierte biometrische Systeme, die ohne einer Überwachung arbeiten.

Die automatisierten Systeme sind heutzutage sehr verletzbar geworden. Viele Methoden des so genannten „Spoofing“ wurden präsentiert, die das biometrische System zu täuschen ermöglichen [Mat02]. Diese Arbeit stellt sich die Aufgabe, die Sicherheit dieser Systeme zu erhöhen, und die Möglichkeit des „Spoofing“, wie es nur geht, zu erniedrigen.

Möglichkeiten der Verbesserung der biometrischen Systeme wurden schon mehrmals präsentiert, aber viele kommerzielle Produkte sind noch immer sehr verwundbar und können leicht manipuliert werden. Diese Arbeit soll die bestehenden Lebendigkeitsprüfung-Methoden analysieren und ein neues Verfahren entwerfen und implementieren.

Ich werde mich auf die optische Prinzipe konzentrieren und mit einer CCD Kamera arbeiten. Jedoch in dem Verlauf der Arbeit schließe ich nicht Änderungen des konkreten Verfahrens aus.

1.2 Möglichkeiten der Erkennung

Es stehen mir mehrere Möglichkeiten der Erkennung von feinen Hautbewegungen der Finger zur Verfügung, die ich weiter verfolgen werde.

In den nächsten Kapiteln erstelle ich eine Recherche der biometrischen Systeme, ihrer Anwendung und analysiere ihre Schwachpunkte. Nach Verfassung dieser Problematik, sind in den folgenden Kapiteln die Methoden, die auf dem optischen Prinzip gegründet sind, im Detail analysiert. Ich vergleiche natürlich diese, auf dem optischen Prinzip basierte Methoden, mit anderen Erkennungsverfahren, die heutzutage zur Verfügung stehen.

1.3 Probleme

Ich widme mich nachher den Problemen, die bei dem Verfahren entstehen, und versuche diese Hindernisse zu lösen.

Viele der möglichen analysierten Methoden haben das gleiche Problem. Beim Testen der Lebendigkeit der biometrischen Merkmale, stoßen wir immer wieder mal auf zu Höhe FRR (Falschrückweisungsrate, siehe Biometrische Systeme). Diese Probleme entstehen, weil die Faktoren, die Lebendigkeit repräsentieren, sehr variabel sind. Menschen sind oft erregt, was den Pulsschlag wesentlich ändert. Aber der Pulsschlag ist nicht der einzige variable Faktor.

1.4 Lösungen

Diese Diplomarbeit versucht nicht alle Probleme zu lösen. Sie analysiert die Problematik, sucht Lösungen für die schwachen Stellen und implementiert dann einige Algorithmen die wesentliche Verbesserungen bringen könnten.

Die Lösungen werden nicht nur auf der theoretischen Ebene vergleicht, viele werden auch praktisch angesetzt und bewertet.

2 Biometrische Systeme

Unter Biometrie verstehen wir Systeme, die für Identifizierung der Menschen durch Merkmale wie z. B. Fingerabdrücke, Gesichtseigenschaften, Retina, u.a. entwickelt sind [San04].

Diese Systeme identifizieren oder verifizieren den Benutzer auf der Basis von physiologischen oder verhaltensbasierter Merkmalen. Der Fingerabdruck sowie der Iris-Scan repräsentieren die prominentesten Vertreter der biometrischen Verfahren. Biometrische Systeme eignen sich beispielsweise für physische Zugangskontrollen, logische Zugangssysteme, Legitimationsvorgänge oder Überwachungen. Alle Methoden unterscheiden sich in Kosten, Benutzerfreundlichkeit, Erkennungsgeschwindigkeit oder Genauigkeit. Eine Kombination verschiedener biometrischer Verfahren erhöht das Sicherheitsniveau.

Es ist schwer vorstellbar, aber biometrische Systeme existierten tatsächlich schon mehr als 1000 Jahren. Es wurde bewiesen, dass schon die Chinesen und Ägypter körperliche Merkmale benutzt haben, um sich untereinander zu identifizieren [NST06].

Auf der Wende des 19. und 20. Jahrhundert wurde die Entwicklung deutlicher und die Biometrie würde anerkannt. Sie wurde meistens bei der Polizei benutzt, und sie wurde meistens auf den Fingerabdrücken basiert. Die Entwicklung wurde beschleunigt und heutzutage fasst die Biometrie alle möglichen menschlichen Merkmale um, die mit zahllosen möglichen Geräten aufgenommen werden können.

2.1 Identifizierung und Verifizierung

Biometrische Systeme ermöglichen zwei Varianten der Erkennung der Identität.

- Identifizierung sucht nach der Identität der Person in einer Datenbank der Identitäten. Es werden Merkmale, die von einem Scanner aufgenommen wurden, mit den Merkmalen in der Datenbank verglichen. Es kann zu sehr vielen Vergleichungen kommen.
- Verifizierung vergleicht die Identität, zu der sich der Benutzer melden will, mit der Identität, die mit dem Scanner aufgenommen wurde. Es wird nur ein Vergleich durchgeführt.

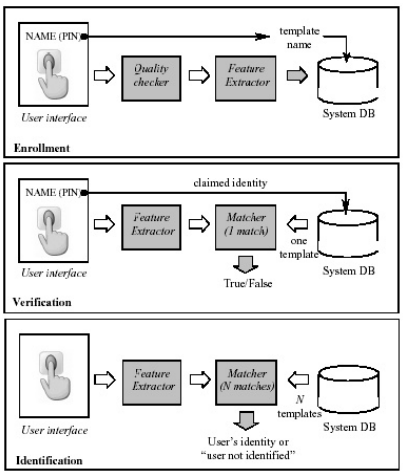

Abb. 2—1 Identifizierung und Verifizierung [San04]

Wenn eine Person identifiziert oder verifiziert werden soll, muss schon vorher in der Datenbank eine Schablone der Merkmale dieser Person bestehen. Der Prozess der Einführung einer neuen

Identität in die Datenbank wird auch „Enrollment“ genannt. Die grafische Repräsentation dieser Prozesse kann man in Abb. 2—1 sehen.

2.2 Erkennung und ihre Fehler

Bei der Erkennung der Identität definieren wir Fehlerraten

- FAR - Falschakzeptanzrate – diese Werte spezifizieren wie viele Identitäten irrtümlich akzeptiert wurden.
- FRR - Falschrückweisungsrate – diese Werte spezifizieren wie viele Identitäten irrtümlich abgewiesen wurden.

Die Linie EER (Equal Error Rate) repräsentiert die Werte, bei denen die FRR und FAR abgeglichen sind.

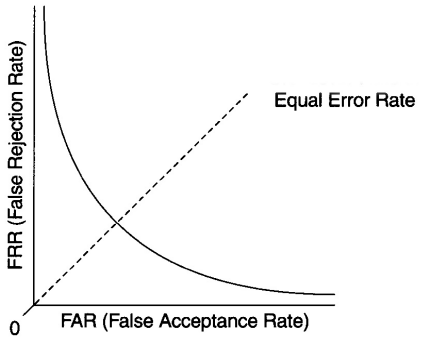

Abb. 2—2 Erkennungsfehler [San04]

2.3 Schwache Stellen der biometrischen Systeme

Es wurden 8 verschiedene Schwachstellen in den biometrischen Systemen erkannt [Thu05], siehe Abb. 2—3.

- Die Schwachstelle Nr. 1 ist Einreichung einer falschen Biometrie zu dem Sensor.
- Abschicken von Daten, die wir vorher abgehört haben, kann man als Offensive 2 benennen.
- Wenn der zuständige Modul für Eigenschaftenextraktion kompromittiert wird, geht es um die Offensive Nummer 3.
- Im 4. Fall sind die Originalwerte von dem ExtraktionsModul geändert und weiter gesendet.
- Das Vergleichsmodul, dass für das Vergleichen zuständig ist, kann geändert werden, damit dieses hohe Werte für falsche Identitäten sendet.
- Änderung der Datenbank der Muster, z.B. ein neues Identitätsmuster eingeben, schon existiertes Muster editieren, ein Muster löschen, gilt für den 6. Punkt.
- Das Medium zuständig für Transport wird angegriffen, Resultat ist ein geändertes Muster.
- Das Resultat des ganzen Prozesses kann von dem Angreifer geändert werden, damit falsche Identität akzeptiert wird.

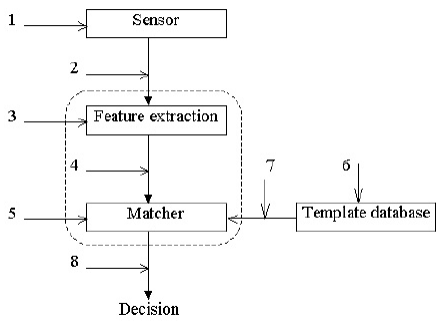

Abb. 2—3 Schwache Stellen [Ulu04]

Die meistens dieser Schwachstellen können beseitigt werden und ich werde in meiner Arbeit nur die Schwachstelle Nr. 1 analysieren, weil diese Schwäche am schwierigsten gelöst werden kann. Gleichzeitig werde ich versuchen die Sicherheit dieser Stelle zu erhöhen.

2.4 Merkmale der biometrischen Systeme

Die Merkmale, die in der Biometrie benutzt werden, kann man in 2 Gebieten einteilen. Bei der Aufnahme von biometrischen Merkmalen (basierend auf physischen Eigenschaften) kann die Person, die sich authentifiziert, inaktiv bleiben. Diese Merkmale werden daher auch als passive Biometrie bezeichnet. Im Gegensatz dazu muss bei der Aufnahme verhaltensbasierter Merkmale Aktivität gezeigt werden, daher werden solche auch als aktive Biometrie bezeichnet. Das hat z.B. wichtige Implikationen bzgl. *cooperative* oder *covert environments*.

2.4.1 Die physiologische Merkmale

- Fingerabdrücke – die Fingerabdrücke werden aufgenommen, gespeichert und dann später verglichen.
- Gesicht – die Merkmale des Gesichtes werden gespeichert, z.B. Position von Augen, Lippen, oder Nase.
- Handabdrückegeometrie – diese Technik ist ähnlich der Fingerabdrückstechnologie, aber Sensoren die benutzt werden, sind größer.
- Blutgefäße Merkmale – diese Merkmale sind ähnlich den Fingerabdrücken, aber sie können nicht so leicht kopiert werden.
- Netzhaut – jedes Auge hat ein einzigartiges System von Adern und Nerven usw., das man für Biometrie benutzen kann.
- Iris – Oberfläche der Iris kann auch als ein Merkmal dienen.

2.4.2 Verhaltensmerkmale

- Unterschrift – Druck des Kugelschreibers oder die Frequenz werden gemessen.
- Tastendrücke – Statistiken der Tasten Betätigung werden aufgenommen und gespeichert.
- Gangart.
- Mimik des Gesichtes.

- Lippen Bewegungen.

Die Verhaltungsmerkmale können oft mit jeder neuen Messung deutlich anders sein, deshalb können sie schlechter für Erkennung dienen.

Die biometrischen Systeme werden nach der Anzahl der Merkmale, die sie benutzen, auf unimodale und multimodale Systeme geteilt. Die multimodalen Systeme benutzen mehr als nur ein Merkmal, um Sicherheit und Zuverlässigkeit zu erhöhen.

Da bei physiologischen Merkmalen keine Aktivität notwendig ist, ist es für die Sicherheit eines solchen Systems sehr hilfreich die Lebendigkeit des aufgenommenen Materials zu bestätigen (z.B. Angriffe durch Gummi-Fingerabdrücke, abgeschnittene Finger, Masken, Fotos usw.). Strategien sind:

- Randomisierung (mehrere Vorgänge der Aufnahmen).
- Aufzeichnung früherer Samples (um im Zweifel besser entscheiden zu können).
- Multimodel-Biometrie (Kombination von mehreren Merkmalen oder verschiedenen Sensoren für ein Merkmal).
- Multi-Faktor Authentifizierung (Kombination von Biometrie, Besitz und Wissen).

In bewachten Umgebungen kann Lebendigkeitsdetektion entfallen. Auch bei verhaltensbasierten Merkmalen gibt es Täuschungsmöglichkeiten, z.B. durch erzwungenes Verhalten. Dies könnte eventuell auch durch weitere Tests untersucht werden.

3 Fingerabdrücke

Bisher habe ich nur generell über die biometrischen Systeme geschrieben. Jetzt werden wir uns genauer den Fingerabdrücken widmen und analysieren, wo genau wir die Sicherheit erhöhen müssen, um die Biometrie der Fingerabdrücke zuverlässiger zu machen.

3.1 Nachteile der Fingerabdrucksensoren

3.1.1 Optische Sensoren

Der optische Sensor enthält eine Lichtquelle (meistens LED, für *Light Emitting Diode* bzw. lichtemittierende Diode) und eine Kamera (meistens CCD, deshalb wird er auch CCDSensor genannt). Die CCD-Bildsensoren bestehen meistens aus einer Matrix (seltener einer Zeile) mit lichtempfindlichen Zellen. Bei dem Optischen Sensor wird das Licht der Lichtquelle reflektiert, aber die Papillarlinien ändern die Lichtstärke, das Licht wird schwächer und deshalb kann man dann die Papillarlinien gut in der Kamera sehen.

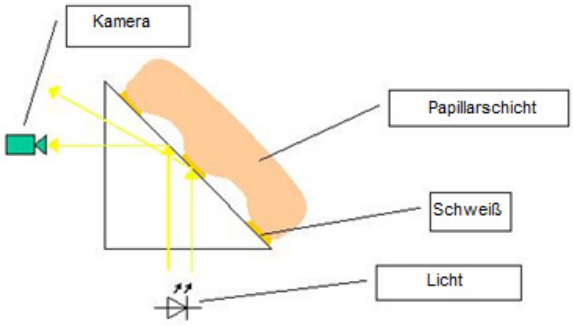

Abb. 3—1 Optischer Sensor

Dieser Sensor hat aber große Nachteile. Auf dem Glass des Sensors bleibt Schweiß und der verursacht denselben Effekt als ob der Finger auf dem Sensor war. Deshalb kann man latente Bilder des früheren Fingerabdruckes sehen. Der Sensor muss unbedingt gereinigt werden.

3.1.2 Resistenz-Sensoren

Dieser Sensor misst die Resistenz des Fingers. Die Papillarlinien mit dem Schweiß haben kleinere Resistenz und deshalb können gut erkannt werden.

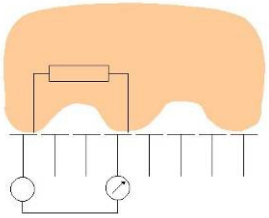

Abb. 3—2 Resistenz-Sensor [Kra01]

Die Resistenz kann aber auch gut mit Salzwasser imitiert werden. Eine andere Möglichkeit ist es, wenn man z.B. Gummi-Fingerabdrücke benutzt, den Abdruck mit einer Schicht von Graphit einreiben. Graphit simuliert sehr genau die Resistenz der normalen Haut.

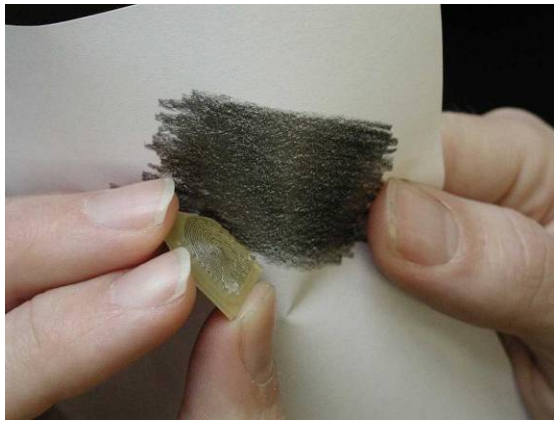

Abb. 3—3 Graphitschicht und ein Gummi-Finger [Kra01]

3.1.3 Drucksensitive-Sensoren

Der Drucksensitive-Sensor entfernt die latenten Bilder der optischen Sensoren. Es misst den Druck, der auf dem Sensor entsteht. Sensor, der angezeigt, wird ist eine Modifizierung der Optischen Sensoren. Das Prisma des Sensors hat eine Plastikschicht, die durch die Papillarlinien deformiert wird und das Licht der Lichtquelle wird geändert.

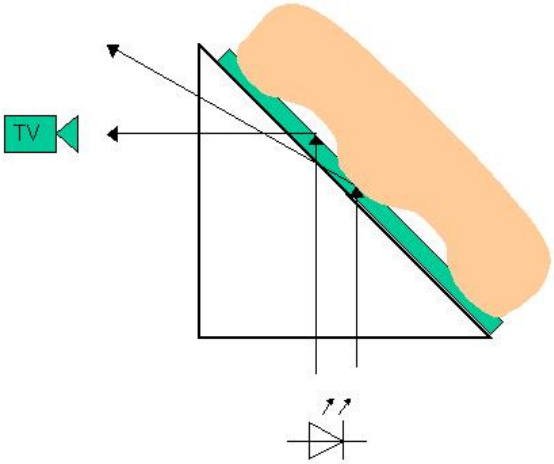

Abb. 3—4 Druck-Sensor [Kra01]

Der Nachteil dieses Sensors ist eine kleine Auflösung. Deshalb kann der Sensor auch mit einem Bild des Laserdruckers getäuscht werden. Das Bild des Druckers hat eine 3D Struktur und kann die Papillarlinien simulieren.

3.1.4 Kapazitive Sensoren

Das Prinzip dieses Sensors ist ähnlich einem Resistenz-Sensor. Es wird die Impedanz zwischen den Elektroden gemessen. Dieser Sensor hat dieselben Nachteile wie der Resistenz-Sensor. Aber es wurden auch Situationen gesehen, wo nur durch das Atmen auf den Sensor der vorherige Fingerabdruck simuliert wurde.

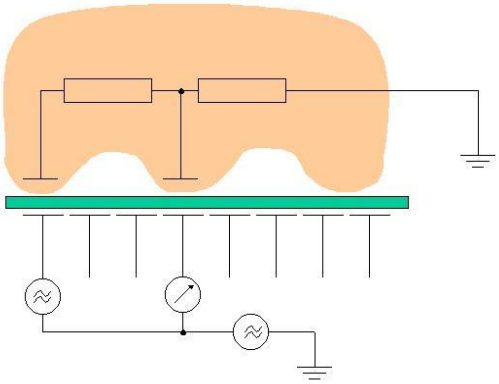

Abb. 3—5 Kapazitive Sensoren [Kra01]

Wenn wir eine Tabelle der Nachteile und/oder Vorteile der einzelnen Bilderzeugnisverfahren herstellen, sieht es so aus:

	Ultraschall	Optisches Prinzip	Kapazitäts-Sensor
Benutzung	Ultraschallwellen werden ausgesendet und von der Umgebung unterschiedlich reflektiert Reflektion wird gemessen und zu einem Bild verarbeitet	Finger wird auf die Oberfläche gelegt CCD-Sensor erzeugt digitales Bild des Abdrucks	misst Kapazitäten zwischen Silizium-Sensor und dem Finger Messung wird in digitales 8-bit Grau-stufenbild umgewandelt
Nachteil	Methode wurde in Letzen Jahren Entwickelt, sie sieht aber sehr vielversprechend aus	Sensoren müssen ausreichend groß sein alte Abdrücke können Ergebnis verfälschen	eventuell zu kleine Sensorflächen
Vorteil	die exakteste Methode wird bei der Abtastung nicht von Schmutz, Narben und Kratzern beeinflusst	am meisten erprobt vergleichsweise günstig temperaturunempfindlich	gute Qualität geringe Messoberfläche

Tabelle 3-1 Vorteile und Nachteile der Fingerabdrucksensoren

3.2 Angriffsmöglichkeiten

Dieser und der nächste Abschnitt befassen sich mit den technischen Risiken bei der Benutzung biometrischer Systeme. Ein biometrisches System besteht aus der Sensorhardware (z.B. ein Fingerabdrucksensor) und einem Trägersystem (beispielsweise ein Personalcomputer), auf dem die Zusatzsoftware installiert ist und eventuell biometrische Daten gespeichert werden.

Wir werden uns den direkten Angriffsmöglichkeiten auf einen Sensor widmen, die Angriffe auf das Trägersystem interessieren uns nicht, die Überschreiten das Thema dieser Arbeit.

3.2.1 Latenz-Reaktivierung

Ein großes Problem bei Fingerabdrucksensoren sind Rückstände auf der Sensorfläche (Latenzabdrücke). Da diese größtenteils von autorisierten Personen stammen, kann sich ein Unbefugter mit ihrer Hilfe Zutritt verschaffen. Es reicht möglicherweise aus, diese Abdrücke durch Atemluft sichtbar zu machen, indem man mit beiden Händen eine Muschel über den Sensor bildet und rein pustet. Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine dünnwandige Plastiktüte gefüllt mit Wasser vorsichtig auf die Sensoroberfläche zu drücken. Dabei verteilt sich die Feuchtigkeit besser als bei der Atemluft-Methode. Diese Methoden funktionieren jedoch nur bei System ohne Lebenderkennung.

Bei der folgenden Methode kann ein System trotz Lebenderkennung getäuscht werden: Die Latenz-Abdrücke werden mit Graphit eingestäubt und fixiert. Dann kann man durch leichten Druck auf den Sensor die Identifizierung täuschen.

3.2.2 Ausnutzen der Toleranz

Ein Fingerabdrucksystem trifft die Entscheidung, ob ein Benutzer autorisiert ist oder nicht, anhand des Grades der Übereinstimmung und eines definierten Schwellwertes.

Je strenger diese Vorgaben sind, umso öfter werden autorisierte Benutzer zurückgewiesen (hohe Falschrückweisungsrate). Daher wird immer ein Kompromiss zwischen Benutzerfreundlichkeit und Sicherheit geschlossen, d.h. das System wird toleranter konfiguriert. Möglicherweise kann ein Angreifer bei einem identifizierenden System mit einer Vielzahl an eingelernten Benutzern durchaus schon Erfolg haben, indem er den Sensor wie vorgeschrieben benutzt. Bei einem sehr tolerant konfigurierten System reicht es oftmals schon aus, den gleichen Fingerabdrucktyp (Wirbel, Schleife usw.) eines registrierten Benutzers zu verwenden, um Zugang zu erhalten.

3.2.3 Täuschen des Sensors mit Hilfe eines Fingerabdrucks auf Papier

Beim Testen eines Sensors wurde zunächst ein Benutzerprofil erstellt. Mehrere Testdurchläufe haben gezeigt, dass das Einlernen erfolgreich war und dass das System ordnungsgemäß identifiziert. Nur der eingelernte Benutzer erhielt Zugriff in das System, andere Teilnehmer wurden zurückgewiesen. Dann wurde getestet, wie der Sensor auf einen Abdruck reagiert, der mit Hilfe von Klebestreifen vom eingelernten Finger abgenommen wurde. Er wurde nicht akzeptiert, kein Bild des Abdrucks wurde angezeigt. Auch beim Auflegen einer Fingerabdruckskizze kam das gleiche Ergebnis heraus. Da beim Auflegen eines echten Fingers (auch eines nicht eingelernten) stets ein Bild angezeigt wurde, war es offensichtlich, dass eine Lebenderkennung vorhanden ist. Durch Ausprobieren wurde schnell erkannt, welche Art der Lebenderkennung eingesetzt wird: Der Sensor ist ein so genannter kapazitiver Sensor, d.h. es muss ein Strom fließen, bevor überhaupt gescannt wird. Dabei bildet der Finger eine und die Oberfläche des Sensors andere Leiterplatte.

Mit etwas Speichel auf der Sensoroberfläche war es möglich, diesen Zustand zu simulieren und die Lebenderkennung zu täuschen: Der Sensor zeigte jetzt die „gefälschten“ Fingerabdrücke an. Allerdings war die Qualität der Abbildungen nicht ausreichend, so dass immer noch kein Zutritt gewährt wurde. Das Einzige, was jetzt noch benötigt wurde, war ein qualitativ hochwertiger Fingerabdruck vom Finger des eingelernten Benutzers. Druckerschwärze eines Kopierers (Toner) lieferte das beste Resultat, so dass es tatsächlich gelang, unberechtigten Zugriff zu erhalten. Es war dazu nichts weiter nötig als Klebestreifen, Papier, Toner, etwas Speichel und ein Zeitaufwand von etwa einer halben Stunde. Die Überlistung des Systems klappte mehrmals hintereinander.

3.2.4 Täuschen von Fingerabdrucksensoren mit Gelatine und Gummi

Dem japanischen Mathematiker Tsutomu Matsumoto ist es gelungen, mit künstlich produzierten „Gummifingern“ und Gussformen, kommerzielle Fingerabdrucksensoren zu täuschen. Matsumotu lehrt an der *Graduate School of Environment and Information Sciences der Yokohama National University in Japan*. Getestet wurden sowohl optische als auch kapazitive Sensoren [Mat02].

Er beschreibt zwei Wege: Die Herstellung künstlicher Finger mit Hilfe lebender Finger und die Herstellung eines künstlichen Fingers aus latenten Abdrücken. Ich werde hier nur die Herstellung eines künstlichen Fingers mit Hilfe eines lebenden Fingers demonstrieren:

Matsumoto hat bei seinen Experimenten 35g Plastikmasse und 30g Gelatine verwendet. Das Plastik wird erhitzt und zu einer Kugel geformt. Dann wird ein Finger in das weiche Plastik gedrückt und ca. 10 Minuten gewartet, bis das Material abgekühlt ist. Jetzt ist die Gussform fertig. Die Gelatine wird mit 30 ml kochendes Wasser versetzt und vermischt. Die flüssige Gelatine-Mischung wird in die Gussform gefüllt, in den Kühlschrank gelegt und nach 10 Minuten kann der künstliche „Gummifinger“ entnommen werden. Das nächste Bild zeigt uns, wie der Test verlief. Die FAR ist sehr hoch, um die 90 Prozent, und das gilt für alle getesteten Geräte.

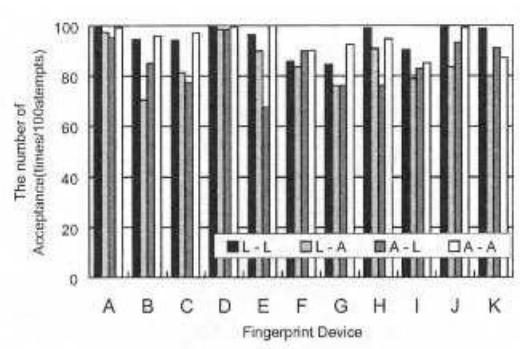

Abb. 3—6 FAR der getesteten Geräte ist sehr hoch!!! [Mat02]

Seit den 90. Jahren letzten Jahrhunderts wurden viele Sensoren mittels „Dummy-Fingers“ getestet. Diese Tabelle zeigt die getesteten Scanner, meistens wurde der falsche Finger sofort akzeptiert:

Hersteller	**Model**	**Technologie**	**Datum**	**Schwierigkeit**
Identix	TS-520	Optische	Nov. 1990	Erster Versuch
Fingermatrix	Chekone	Optische	Mär. 1994	Zweiter Versuch
Dermalog	DermalogKey	Optische	Feb 1996	Erster Versuch
STMicroelectronics	TouchChip	Solid state	Mär. 1999	Erster Versuch
Veridicon	FPS110	Solid state	Sept. 1999	Erster Versuch
Identicator	DFR200	Optische	Okt, 1999	Erster Versuch

Tabelle 3-2 Alle Geräte akzeptierten den “Dummy-Finger” [Put00]

3.2.5 Amputationsangriff

Besonders skrupellose Angreifer könnten einem dem System bekannten Benutzer einen Finger amputieren und ihn auf die Sensorfläche drücken. In diesem Fall hängt das Ergebnis von der Lebenderkennung des Systems ab. Verfahren, die die Pulsoxymetrie messen, lassen sich in diesem Fall nicht täuschen. Kapazitive Sensoren können mit etwas Feuchtigkeit überwunden werden. Allerdings wird ein Angreifer diese Methode nur in Erwartung sehr wertvoller Ergebnisse anwenden. Diese wertvollen Ressourcen sollten daher auch auf anderem Wege gesichert sein, nicht nur durch Lebendigkeit des Merkmals.

4 Prüfung der Lebendigkeit

Unter diesem Begriff verstehen wir Methoden, die in der Phase der Identifizierung/Verifizierung oder in der Phase des Musteraufnehmens uns ermöglichen zu beurteilen, ob die Probe lebendig ist. In derselben Zeit müssen wir uns auch sicher sein, dass der Muster der auf die Lebendigkeit geprobt wird, dem Mensch, der in der Dateibank gespeichert ist, gehört. Weil die Epidermis als ein nahezu totes Material angesehen wird, müssen wir zu anderen Charakteristik des Fingers greifen. Ich werde mich auf die Lebendigkeit der Fingerabdrücke konzentrieren, dennoch werde ich auch etwas über die Lebendigkeit ganz allgemein schreiben.

Es werden sehr viele biometrische Systeme benutzt, die leicht betrogen werden können, z.B. mit Hilfe künstlicher Fingerabdrücke, Photos des Gesichtes, usw. Es wurde bewiesen, dass die FAR bis auf 90 Prozent steigen kann [Mat02].

Jedoch muss man bemerken, dass die Versuche mit leblosen „Fingern“ ohne Lebendigkeitserkennung, also Methoden zum Erkennen von Vitalität der Fingerkuppen, stattfanden. Würden diese mit einbezogen, könnte die Fehlerrate auf rund zehn Prozent gesenkt werden.

Tatsächlich sind heutzutage die Wissenschaftler mit der Entwicklung solcher Systeme beschäftigt, die zum Beispiel mit Hilfe von Schweißmustererkennung ziemlich genau feststellen können, ob der Finger aus Kunststoff besteht oder ob er von einer Leiche stammt, und auf jeden Fall nicht mehr „lebendig“ ist.

Allerdings sind solche Lösungen bislang nicht so viel in der Praxis benutzt. Marktgängiger biometrischen Systeme bleiben also angreifbar. Der Fingerabdruck-Scanner kann mittels eines Laptops überlistet werden. Vielen ist es schon gelungen, durch einfaches Behauchen eines Scanners den latenten Abdruck des letzten Benutzers zu reaktivieren und sich so Zugang zum System zu verschaffen.

Die durchaus wichtigen Lebendigkeitseigenschaften sind bisher nur wenig getestet. Bekannt gewordene und teilweise realisierte Methoden sind die Erfassung der Hautfarbe, elektrische Eigenschaften und Hautreflexionen. Eine weitere Methode basiert auf der Pulsoxymetrie, d.h. es wird der Anteil des mit Sauerstoff angereicherten Hämoglobins am Gesamtniveau des Hämoglobin (=Sauerstoffsättigung des Blutes) gemessen. Dies geschieht mit einer kleinen Sonde, die mit einem Clip am Finger befestigt wird und diesen mit Licht einer bestimmten Wellenlänge durchleuchtet. Das mit Sauerstoff gesättigte Hämoglobin absorbiert das Licht, während sauerstoffarmes Hämoglobin das Licht passieren lässt. Je höher die Sauerstoffsättigung, desto weniger Licht erreicht den Sensor. Bei einem lebenden und gesunden Finger liegt der Sauerstoffgehalt im Blut zwischen 96 und 98 Prozent. Einen Hinweis auf einen lebenden Finger kann auch die Temperatur und Pulsschlagmessung geben.

4.1 Transpiration

Die Menschliche Haut enthält mehr als 80 Schweißporen auf Quadratzentimeter. Durch diese Pore kann der Schweiß auf die Oberfläche auftreten. Die Position der Pore ändert sich nicht und der Abstand der Pore beträgt 0.5 mm. Das Schwitzen der Haut erhöht die Konduktanz der Papillarlinien. Diese Konduktanz ist 30-mal höher als die Konduktanz der Haut ohne Schweiß. Das nächste Bild zeigt uns genau, wie sich 2 gescannte Bilder (0 Sekunden und 5 Sekunden des Festhaltens auf dem Sensor) unterscheiden.

Abb. 4—1 Links Scan t = 0 s, Rechts t = 5 s [Klu05]

Das nächste Bild zeigt, dass beim Gummi- und Kadaverfinger keine Änderung deutlich ist.

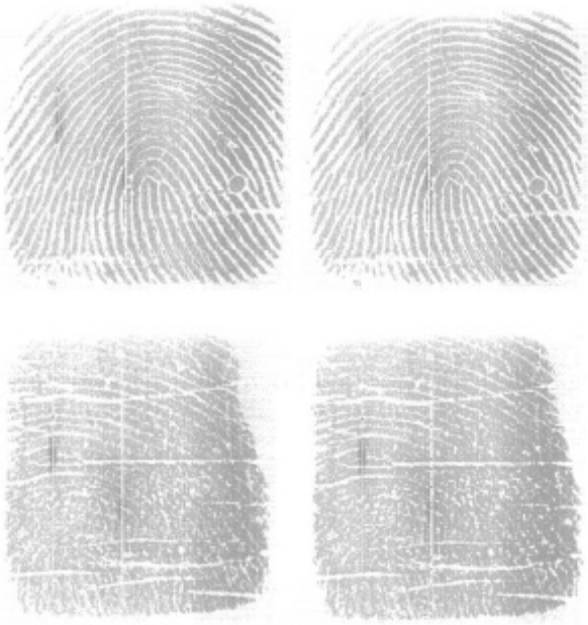

Abb. 4—2 Gummifinger und Kadaverfinger (Unten) [Klu05]

Die Amplitude des Signals ist direkt mit der Feuchtigkeit des Fingers verbunden. Bei einem lebenden Finger beginnt die Transpiration an den Poren und dann verbreitet sich entlang der Papillarlinien. Der Muster des lebenden Fingers ist mehr oder weniger regelmäßig, was man nicht über die 2 anderen Muster sagen kann.

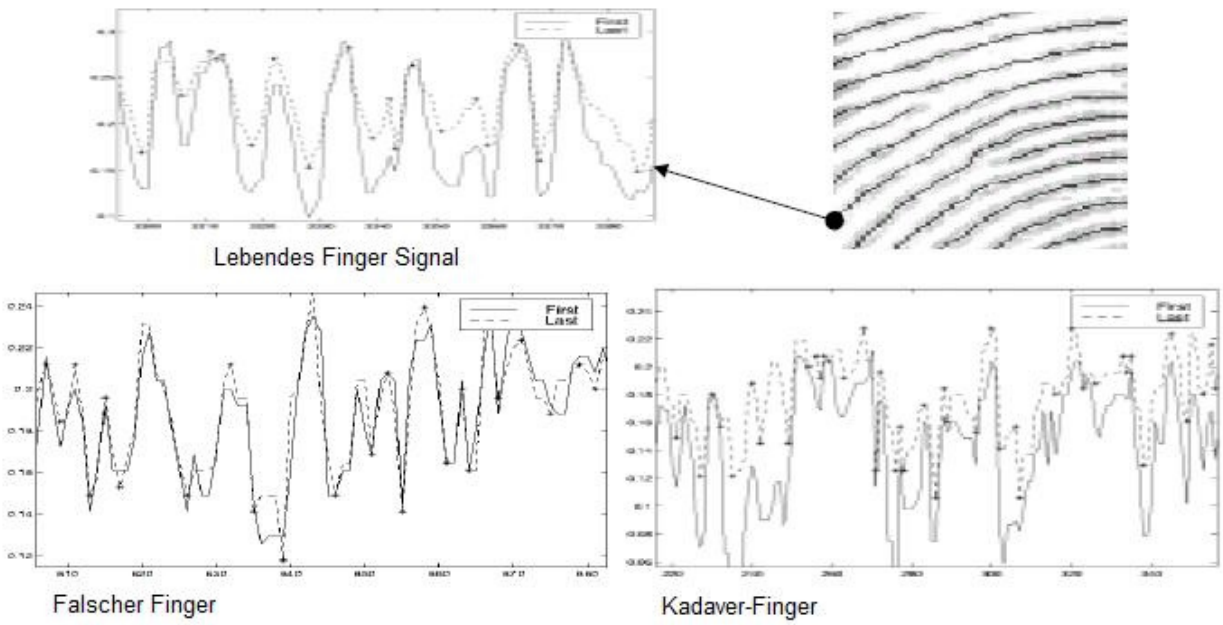

Abb. 4—3 Signale aufgenommen vom Sensor [Sch00]

Statische und dynamische Charakteristiken dieses Signals wurden mit Hilfe eines neuronalen Netzes verarbeitet und sehr große Präzision (bis zu 100 Prozent) der Unterscheidung zwischen dem Kadaver/falschen Finger und den lebenden Fingern wurde erreicht [Sch00].

4.1.1 Temperatur

Normalerweise ist die Temperatur der oberen Schicht der Haut um 8 bis 10 Grad höher als die Zimmertemperatur. Wenn wir einen Gummi-Finger benutzen, sinkt die Temperatur nur um 2 Grad. Das liegt immer noch in der Toleranzgrenze der Sensoren (eine größere Toleranz existiert noch in den Außensensoren).

4.2 Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit eines Fingers kann drastisch variabel sein. Die Leitfähigkeit ist abhängig von dem Typ der Haut (feucht oder trocken). Der Finger kann eine Leitfähigkeit von 100kΩ beim normalen Zustand. Aber wenn es friert und trocken ist, kann sie auch viele Mega-Ohms betragen. Die Gummi-Finger können mit Salzwasser angespritzt werden, und damit die Sensoren getäuscht werden können.

4.3 Herzschlag

Es ist möglich, die Präsenz des Herzschlags auf der Fingerspitze zu detektieren. Da erscheinen aber auch Probleme, die gelöst werden müssen. Z. B. ein Sportler kann den Herzschlag sehr niedrig haben, was verursacht, dass er den Finger unter dem Scanner mehr als 4 Sekunden halten muss. Natürlich kann man auch das andere Extrem sehen. Wenn derselbe Sportler vor dem Scan trainiert, kann seine Herzschlagfrequenz zweimal so schnell wie vorher sein. Ein anderes Problem entsteht, wenn man einen dünnen Gummifingerabdruck benutzt. Der Herzschlag des untergesetzten Fingers kann detektiert werden, um den Sensor zu irreleiten.

4.4 Relative Dielektrizitätskonstante

Es werden Sensoren benutzt, die die relative Dielektrizitätskonstante (RDK) benutzten, um die Lebendigkeit des Fingers zu erweisen. Die RDK des lebenden Fingers und eines Gummifingerabdrucks ist deutlich unterschiedlich. Es wurden aber Experimente gemacht, in denen man den Gummiabdruck mit Alkohol und Wasser benutzt hat, um die Sensoren zu täuschen. Das Wasser hat eine RDK von 24 und das Alkohol hat 80. Finger hat eine RDK dazwischen. Der Gummifinger wird mit der Mischung des Alkohols und Wassers besprüht. Der Alkohol evaporiert und die RDK der Mischung sinkt, bis sie die RDK des Fingers erreicht. Jetzt kann der Sensor diesen Gummifinger akzeptieren.

4.5 Aufnahme der Unter-Epidermis

Diese Sensoren testen die Schicht, die unter der Epidermis liegt. Es werden Ultraschall-, oder auch Dielektrizitäts-Sensoren benutzt, die die untere Schicht unterscheiden können. Diese Sensoren können trotzdem betrogen werden. Eine neue Schicht aus Silikon kann hergestellt werden. Diese Schicht simuliert die Merkmale, die erprobt werden. Es ist ein bisschen schwieriger, diesen Fingerabdruck zu herstellen, aber trotzdem ist es möglich.

4.6 Erkennung der feinen Hautbewegungen des Fingers

Der Herzschlag jeder Person verursacht, dass sich das Volumen des Fingers verändert, die Papillarlinien bewegen sich voneinander. Obwohl diese Bewegungen gering sind, sind sie trotzdem messbar. Die Idee ist, mit einer CCD Kamera diese Bewegungen der Papillarlinien zu filmen, analysieren und vergleichen. Diese Bewegungen entsprechen einer bestimmten Charakteristik, und wenn künstliche Finger benutzt werden, sollte diese Charakteristik deutlich anders aussehen.

Es wurden zwei Methoden vorgeschlagen, um diese Bewegungen zu messen [Dra06]. Man kann entweder in 2D oder 3D arbeiten, die 2D Messungen sind eine Projektion aus 3D. Diese Bewegungen der Haut (der Papillarlinien) sind mikroskopisch klein, weniger als 10 µm.

4.6.1 Benutzung einer Linse

Wir möchten die Bewegungen, die auf der Fingerspitze vorhanden sind, mit einer Linse vergrößern, um sie dann mit einer CCD Kamera aufzunehmen.

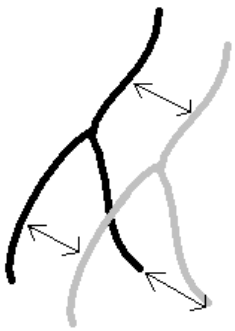

Abb. 4—4 Illustration der Bewegungen von Papillarlinien

Uns interessiert die Vergrößerung, die wir benutzen müssen, um messbare Bewegungen zu sehen. Die Abbildung zeigt, dass der Unterschied zwischen den zwei Positionen derselben Papillarlinien berechnet werden kann. Wenn wir die Distanz zwischen R_1 und R_2 wissen, können wir die Bewegungen der Papillarlinien kalkulieren. Die Volumenänderung des Fingers ist $R_2 - R_1 = 6.5\mu m$ [Dra06]. Und es gilt

$$x = (R_2 - R_1). \cos \alpha.$$

Wenn wir eine Papillarlinie beobachten, die im Winkel von 45 Grad auf dem Finger liegt wird x = 4.59 µm.

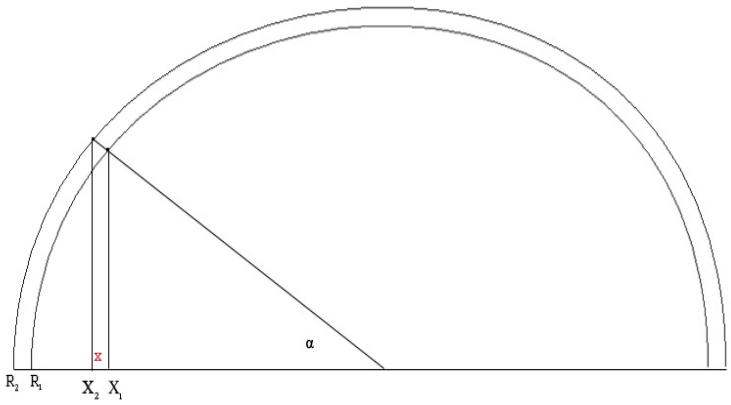

Abb. 4—5 Berechnung der Distanz von zwei Positionen der Papillarlinie

Jetzt wissen wir, dass die Bewegungen groß genug sind (bis zu 5 µm), und wir können sie mit einem Makroobjektiv beobachten. Die Messung läuft folgendermaßen ab:

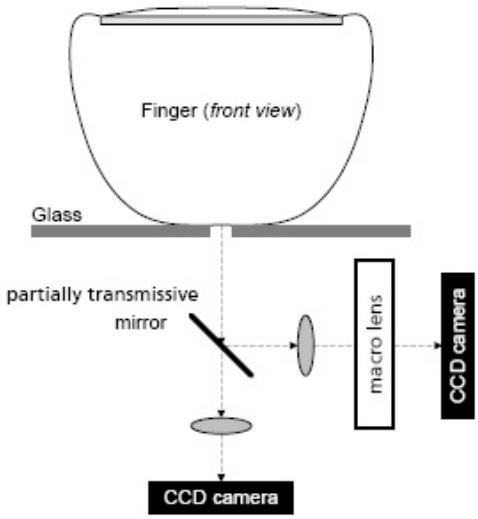

Abb. 4—6 Prinzip der Messung [Dra06]

Der Finger wird auf eine Glasplatte gelegt. Ein Bild des Fingers wird mit einem optischen Fingerabdruckscanner aufgenommen, und das gleiche Bild wird gleichzeitig durch eine Linse vergrößert (ungefähr 10-mal). Diese vergrößerten Bilder werden dann verarbeitet und für charakteristische Vorgänge durchgesucht. Einige Tests wurden durchgeführt [Dra06], aber die Qualität

der Optik muss verbessert werden, um bessere Resultate hervorzubringen. Auf den nächsten Bildern können wir 2 vergrößerte Ausschnitte sehen, Makro 1 hat eine kleinere Vergrößerung als Makro 2. Nur auf dem „Makro 2“ Video könnte man deutlich die Ausdehnung der Fingerspitze sehen.

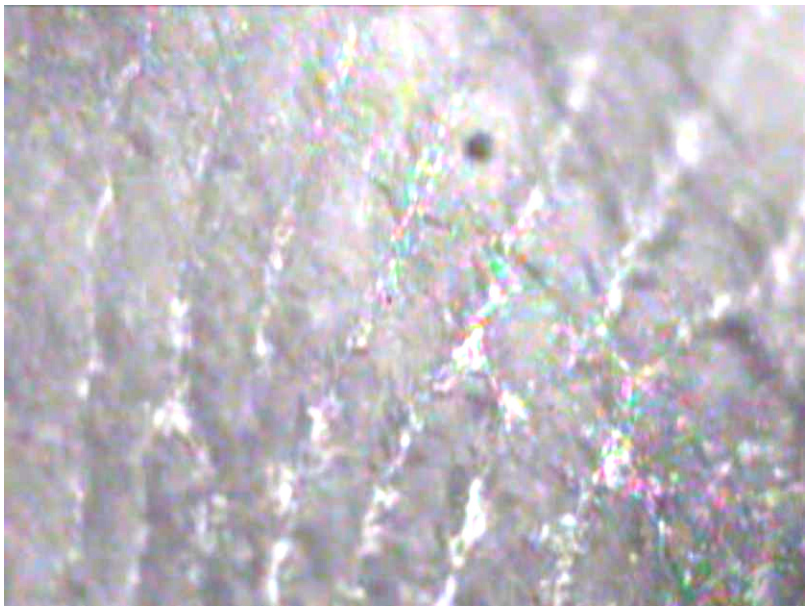

Abb. 4—7 Makro 1 – 4x Vergrößerung

Die Abb. 4—7 hat noch nicht die benötigte Vergrößerung, um die Bewegungen der Papillarlinien zu sehen. Die Abb. 4—8 repräsentiert aber eine Videodatei, die ermöglicht, die feinen Bewegungen der Haut zu sehen.

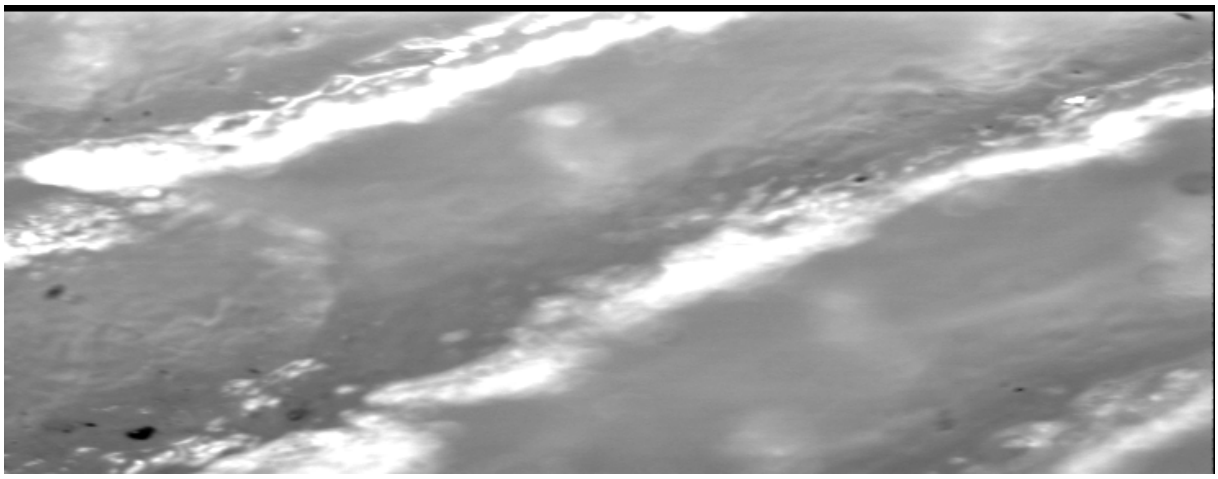

Abb. 4—8 Makro 2

Trotzdem ist das Video, wie man auch auf diesem Bild sehen kann, sehr unscharf und es sollten noch mehrere Tests durchgeführt werden, um das Prozess zu optimieren.

4.6.2 Messungen mit Hilfe eines Lasers

Es existiert jedoch eine andere Methode, um die Ausdehnung der Fingerspitze zu messen. Dieses Vorgehen arbeitet mit einem Laser, der die Ausdehnung misst.

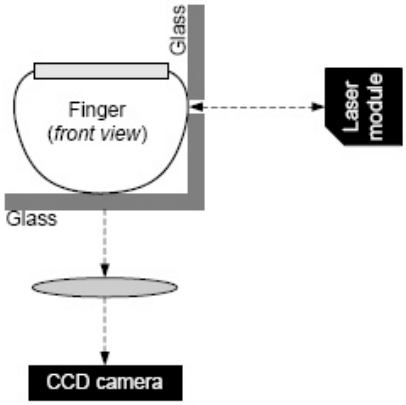

Abb. 4—9 Prinzip der Messung mit einem Lasermodul [Dra06]

Der Finger wird auf eine Glasplatte gelegt, ein optischer Fingerabdruckscanner kann benutzt werden, und gleichzeitig wird die Bewegung der Haut der Fingerspitze mit einem Laser gemessen. Die Messungen können kleinste Bewegungen anzeigen, was auch benötigt ist.

Mit dieser Konfiguration wurden dann folgende Daten erstellt, siehe Abb. 4—10.

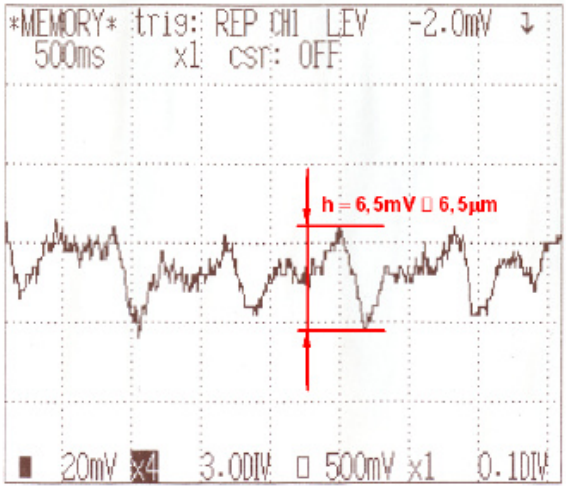

Abb. 4—10 Messungen mit dem Lasermodul [Dra06]

Die maximale gemessene Amplitude der Ausdehnung der Fingerspitze war 6.5 µm. (dieser Wert wurde auch bei theoretischem Berechnen der Bewegungen im Kapitel 4.6.1 benutz). Wir sehen, dass das Signal periodisch ist, und es ähnelt sich deutlich dem Graph des Blutdruckes.

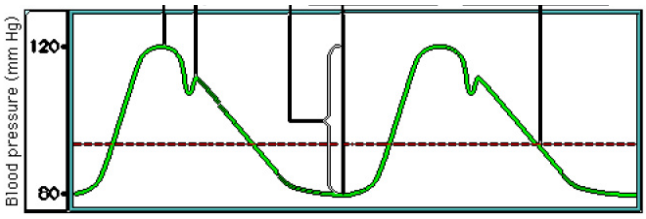

Abb. 4—11 Blutdruck-Graph [Ben00]

Diese Technik sieht hoffnungsvoll aus, aber es müssen noch mehrere Tests durchgeführt werden, um genauere Problemsituationen darzustellen.

5 Befestigung der Hand und des Fingers

5.1 Probleme mit der Messung

Bei den Messungen feiner Hautbewegungen der Fingerspitze mit Hilfe einer Linse und CCD Kamera sind mehrere Probleme aufgetreten. Das ganze System ist sehr empfindlich, deshalb muss die Hand und noch mehr der Finger gut befestigt werden.

Diese Befestigung soll die Hand und den Finger stabil halten, weil schon die kleinsten Bewegungen die Bildschärfe beeinflussen können. Es muss möglich sein, die Bewegung der Linse und der Kamera zu kontrollieren um kleine Schritte mit ihr durchzuführen. Die zweite Möglichkeit ist nur die Platte, auf der der Finger liegt, zu bewegen.

5.2 Die Befestigung der Hand und des Fingers

In dem Test wurde die ganze vorgeschlagene Konfiguration aus der Abb. 4—6 mit Hilfe einer Befestigung-Plattform und einer Platte präsentiert.

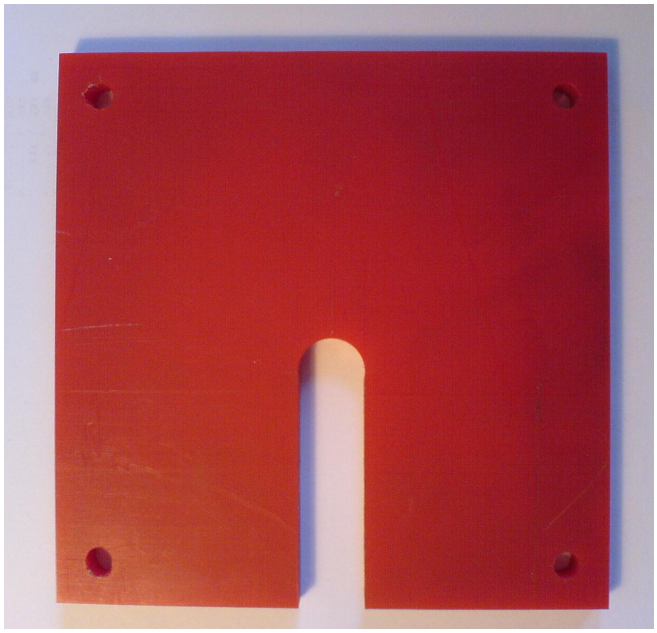

Abb. 5—1 Eine Platte wurde für Befestigung des Fingers benutzt

Diese Platte wird auf die Befestigung-Plattform (Abb. 5—2) montiert, die Bewegungen der Kamera ermöglicht. Jetzt kann der Arretier-Mechanismus benutzt werden, um die Höhe (und auch die Schärfe des Bildes) einzustellen. Genauso kann man kleine Schritte links, rechts, nach oben und nach unten machen und damit die ganze Oberfläche der Fingerspitze durchsuchen. Die Einstellungen der Befestigung-Plattform, die gemacht werden, verursachen kleine Bewegungen der Kamera. Mit diesen Schritten ist es dann möglich, das Bild so einzustellen, dass es Scharf ist.

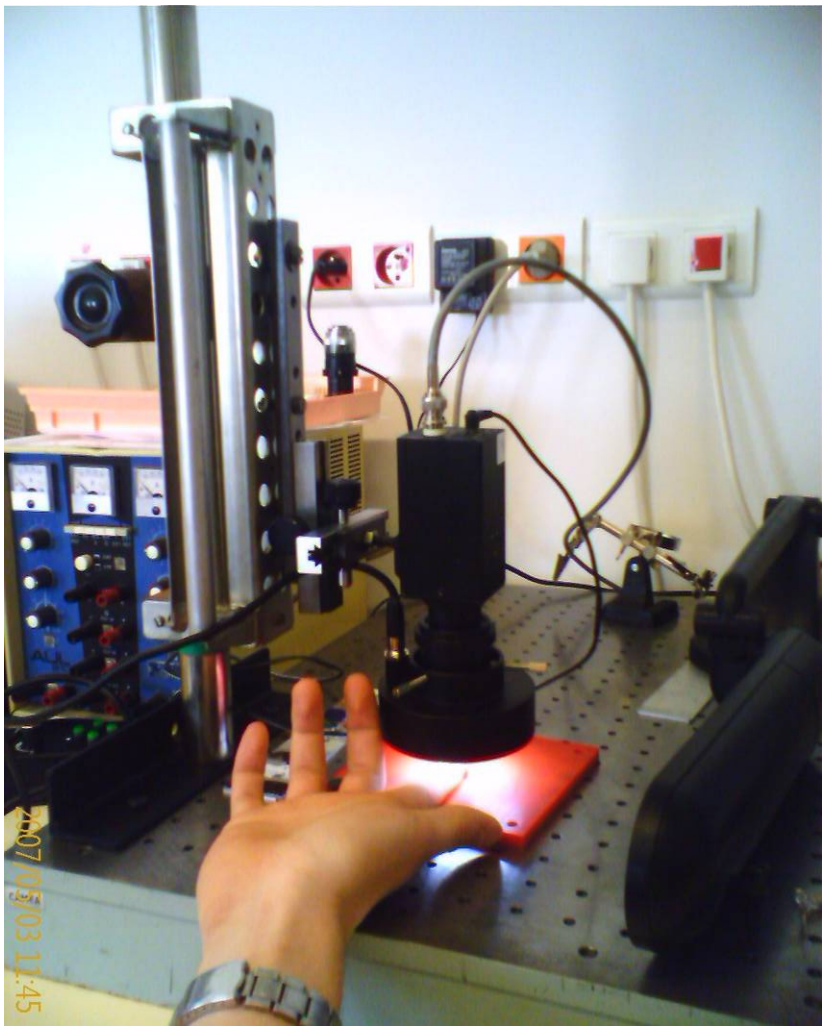

Abb. 5—2 Die Befestigung-der Kamera und der Hand

Auf der Abb. 5—3 kann man sehen, wie der Finger in die vorbereitete Hölle einpasst. Das hilft die Bewegungen der Hand und des Fingers zu eliminieren und das Bild fast Zitterfrei zu machen.

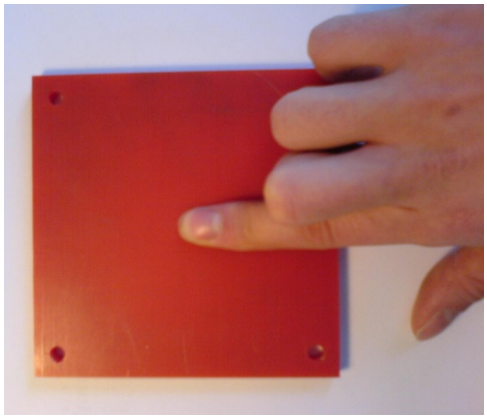

Abb. 5—3 Der Finger kann sich nicht bewegen

Es müssen noch weitere Verbesserungen probiert werden, um den Komfort der Benutzung zu erhöhen. Jedoch diese Konfiguration ist ausgedacht, um das ganze System zu testen. Falls nötig, wird eine neue Art der Befestigung entworfen.

Die Abb. 5—4 zeigt, wie die Ausstattung, die ich benutzte, ausgesehen hat. Die Konfiguration ermöglicht die unerwünschten Handbewegungen zu vermindern. Das Objektiv wird direkt über der Einsenkung platziert. Der Runde Objekt auf dem Makroobjektiv ist eine Form der Beleuchtung. Sie verursacht eine gleichmäßige Verteilung des Lichtes über der Oberfläche des Fingers. Die Einsenkung für den Finger bewirkt, dass die Hand sind nicht bewegen kann und deshalb wird das Bild fast zitterfrei.

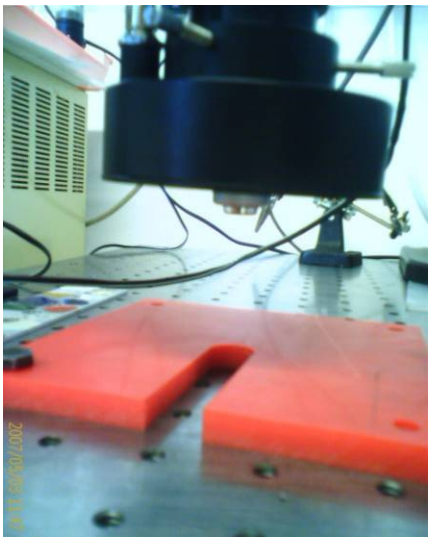

Abb. 5—4 Eine Einsenkung für den Finger

Trotzdem wurden nach längerer Benutzung der Ausstattung Probleme entdeckt. Die Bildschärfe wird nach einer kurzer Zeit erniedrig. Charakteristische Punkte auf dem Finger bewegen sich außer der Reichweite der Kamera. Um längere Sequenzen mit höherer Qualität aufzunehmen, wurde ich noch eine zusätzliche Form der Befestigung benutzten. Die Hand könnte mit einem Mechanismus befestigt sein, der auf dem Prinzip des Klettverschlusses arbeitet. Das Handgelenkt wurde mit Hilfe des Klettverschlusses auf die Plattform fixiert sein. Diese Fixation kann noch mehr die Bewegungen vermindern und den Komfort der Benutzung erhöhen. Der Klettverschluss wurde mit Hilfe zwei Schrauben auf die Plattform fixiert. Die Plattform ist speziell für solche Fälle vorbereitet. Wie man in Abb. 5—4 sehen kann, enthält die Plattform viele Gewinde, die zur Befestigung benutzt sein können.

Abb. 5—5 Eine Variante des Klettverschlusses, der benutzt sein könnte

Die Abbildung (Abb. 5—5) repräsentiert einen normalen Klettverschluss, der potentiell benutzt sein kann, um die Stabilität der Hand zu erhöhen. Jedoch dieser Mechanismus befestigt nur die Hand, und der Finger, der Analysiert wird, kann sich noch frei bewegen. Falls nötig, könnte auch der Finger fast bewegungslos gemacht werden. In diesem Fall wird aber der Komfort der Bedienung noch mehr eingeschränkt. Weil wir die Fingerspitze sichtbar haben wollen, müssten wir denn Finger tiefer, in der Nähe der Handfläche, befestigen. Eine Variante des Klettverschlusses wäre auch in diesem Fall benutzbar. Der Finger wurde, ebenso wie die Hand, an der zubereiteten Plattform festgehalten.

6 Entwurf der Erkennung

Im diesem Kapitel folgt eine Beschreibung der Schritte, benötigt bei der Verarbeitung aufgenommener Bilder. Es existieren mehrere Möglichkeiten der Verarbeitung und ich werde mehrere beschreiben und die vielversprechendsten Prinzipen implementieren.

6.1 Das Anfangsbild

6.1.1 Bildaufnahme

Es existieren mehrere Varianten der Bildaufnahme. In der Praxis werden meistens Kameraaufnahmen benutzt. Bei der Umwandlung aus einer 3D Welt in ein 2D Modell kommt zu einem großen Verlust der Daten.

6.1.2 Perspektive

Das Ergebnis einer Abbildung der realen Welt in ein 2D Modell ist die Perspektivansicht [Hla02]. Dieses Modell ist sehr realistisch, seine Geometrie ist in der Tab. 6—1 erwähnt.

$x` = \frac{xf}{z}$	$y` = \frac{yf}{z}$

Tab. 6—1

Die Perspektivansicht entspricht nicht manchmal unseren Forderungen, deshalb wird vielmals eine vereinfachte Orthogonalabbildung benutzt. In dieser Abbildung (Abb. 6—1) gilt für die Bildbrennweite f = ∞.

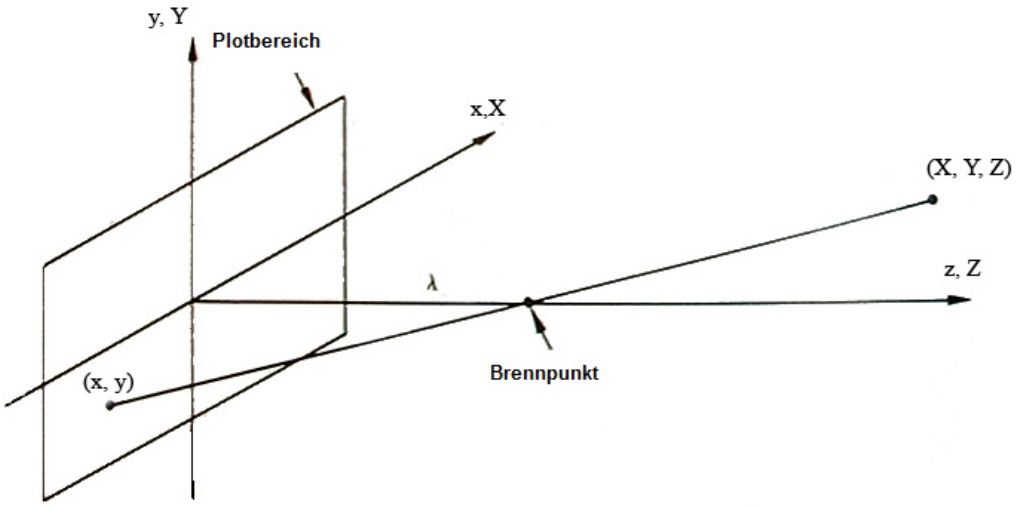

Abb. 6—1 Die Perspektivansicht [Hla02]

Gerade bei der Perspektivansicht aus 3D ins 2D werden viele Daten verloren. Dieses Problem wird meistens mit Hilfe zusätzlicher Informationen über das Objekt gelöst.

6.1.3 Digitalisierung

Der Prozess der Überleitung aus der Analogform in digitale Daten wird Digitalisierung genannt. Es kommt bei dem Prozess zur Speicherung des Bildes in einer Digitalform in den Rechner. Meistens schließt dieser Prozess Überleitung der physikalischen Eingabeparameter auf ein elektrisches Signal ein. Für Eingabe können wir Fernsehen, Kameras, aber auch Strahlen äußer des sichtbaren Spektrums betrachten (infrarot, ultraviolett, röntgen). Oft werden die Daten auch in der Form einer zweidimensionalen Fourier-Transformation ausgedruckt. Der Vorteil dieser Transformation ist die Möglichkeit der Vorverarbeitung der Daten vor der Digitalisierung.

6.1.4 Farbenmodelle

Es existieren mehrere Farbenmodelle, ich werde hier nur die meistbenutzten erwähnen. Farbenmodelle repräsentieren ein 3D Systeme der Punkte und den Unterraum, wo jede Farbe durch einen Punkt repräsentiert ist.

Die Mehrheit der Farbenmodelle, die heutzutage eingesetzt werden, ist entweder auf Hardware (Bildschirme und Drücker), oder auf Applikationen (Animationen) orientiert. Die Hardware orientierte Modelle meistens in der Praxis benutzt sind RGB (*Red, Green, Blue*), wo R rot, G grün und B blau repräsentiert (Abb. 6—2). Dieses Modell wird für Bildschirme und Kameras verwendet. Der Modell CMY (*Cyan, Magenta Yellow*) wird für Drücker benutzt. YIQ ist ein Modell, der ein Standard für das Fernsehen ist. Ein Modell, das oft für Farbenmanipulation gebraucht wird, ist das HSI Modell (*hue, saturation, brightness*).

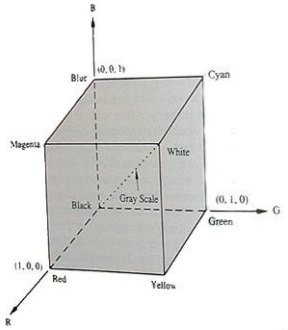

Abb. 6—2 Das RGB Modell [Hla02]

Die meist benutzten Modelle sind RGB, YIQ und HSI. Ich arbeite mit dem RGB Modell, deshalb werde ich mich diesem Modell widmen.

6.1.5 RGB Modell

In dem RGB Modell wird jede Farbe mit Hilfe der Spektralkomponente Rot, Grün und Blau dargestellt. Das Modell ist auf dem kartesischen Koordinatensystem aufgebaut. Die RGB Farben sind in den drei Ecken des Vierecks (Abb. 6—2). Die schwarze Farbe ist in der Anfangsposition des Koordinatensystems und die weiße Farbe ist auf dem äußersten Ende. In diesem Modell ist die graue Skale auf dem Schwarzweißen Strich ausgebreitet. Die Farben befinden sich in dem Viereck und ihre Werte werden durch den Vektor, der in der Anfangsposition beginnt, repräsentiert. Wir nähmen an, dass alle Farben normalisiert sind und deshalb hat das Viereck normalisierte Dimensionen.

Abbildungen in diesem Modell enthalten drei unabhängige Ebenen, eine für jede Farbe. Deshalb ist dieses Modell geeignet für Situationen, wo die Abbildungen mehrere Farbkomponente des Spektrums enthalten.

Der Nachteil dieses Modells sind Probleme, die bei der Applikation des Histogramms entstehen. Einzelne Ebene haben geänderte Intensitäten, aber diese Änderungen ignorieren die Abhängigkeiten zwischen den drei Ebenen.

6.1.6 Bildänderungen

Dieser Schritt sichert die Korrektionen, deren Bedarf durch die Fehler bei der Digitalisierung entstand. Manchmal kommt zu Entstehung des Geräusches und zu Verzerrungen. In anderen Fällen wird die Abbildung vorverarbeitet, um bestimmte Merkmale zu betonen.

6.1.7 Abtastung

Im Kontext des Abtastens treten Frage über das Intervall der Abtastung auf. Das Intervall repräsentiert die kürzeste Distanz von zwei Punkten in dem Bild. Laut des Shannon-Satzes muss die Abtastrate zweimal so groß sein, wie die maximale Frequenz in originalem Signal. In der Mitte der Verarbeitung können wir nicht die Menge uns verfügbarer Information erhöhen.

6.1.8 Intensität-Transformation

Diese Transformationen sind in zwei Gruppen geteilt: Bildhelligkeit Korrektionen und Korrektionen der Helligkeit-Skala. Diese Korrektionen können wir oft nicht vermeiden. Besonders im Falle einer Beschädigung des Bildes im Grunde von CCD Sensor Ungleichheiten oder einer ungleichmäßigen Belichtung des Raumes. Die Transformation sollte das Histogramm ausgleichen. Das Ziel ist ein gleichmäßiges Vertreten der Helligkeit-Ebenen.

6.1.9 Geometrische Transformationen

Das Bild kann vielmal geometrische Deformationen enthalten, die wegen des fehlerhaften Winkels der Abnahme entstehen. Diese Transformationen sind in zwei Schritten realisiert. Der erste Schritt ist eine Flächentransformation. Ihre Aufgabe ist die Transformation des entsprechenden Eingangspunktes auf den Ausgangspunkt. Danach wird die Helligkeit des Pixels berücksichtigt.

6.1.10 Translation

Nehmen wir an, dass wir einen Punkt mit den Koordinaten (X, Y, Z) auf eine neue Position verschieben möchten. Die Realisation können wir auf der Abbildung (Abb. 6—3) sehen:

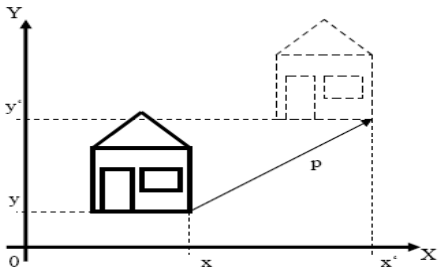

Abb. 6—3 Translation [Hla02]

Oft ist es hilfreich mehrere Transformationen zu bündeln, wie z.B. Translation gefolgt von der Änderung des Maßes und danach noch eine Rotation. Mit Hilfe einer Quadrat Matrix kann man die Beschreibung dieser Aktionen vereinfachen.

6.1.11 Änderung des Maßes

Änderung des Maßes um die Faktoren S_x, S_y, S_z in den Achsen X, Y, Z ist mit einer Transformationsmatrix spezifiziert.

Ein Beispiel können wir uns in nächster Abbildung illustrieren (Abb. 6—4 Maßänderung)

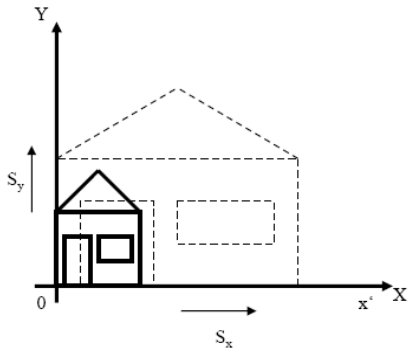

Abb. 6—4 Maßänderung [Hla02]

6.1.12 Rotation

3D Rotation ist mehr komplex als die höher angegebenen Transformationen. Die einfachste Form der Rotation ist eine Rotation herum der Achseln. Rotation um einen Punkt erfordert drei Transformationen. Erstmal eine Translation in den Anfang des Koordinatennetzes, nächst eine Rotation und zuletzt Translation zurück auf die ursprüngliche Position des Punktes.

Die Rotation eines Punktes um die Z Achse um einen Winkel von θ ändert nur die X- und Y-Koordinaten des Punktes. Die Rotation um die Achsel X wird dann ähnlich aussehen, aber nur die Y- und Z-Koordinaten werden geändert. Ein Beispiel der Transformation kann man in nächster Abbildung sehen (Abb. 6—5).

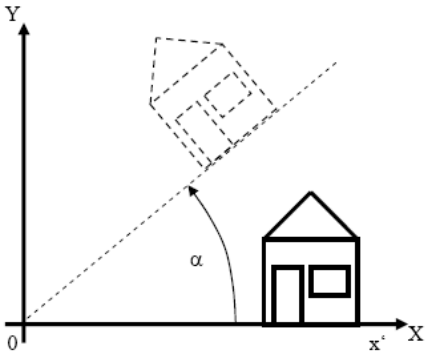

Abb. 6—5 Rotation um den α Winkel [Hla02]

6.1.13 Gradientoperationen

Diese Operationen verursachen eine Verschärfung des Bildes und Betonung der höheren Frequenzen. Die Kanten werden aufgehellt, aber auch das Rauschen wird erhöht.

In der Praxis werden diese Operationen mit Verrundung kombiniert.

6.1.14 Linearoperationen

Die Linearoperationen berechnen die Gesamthelligkeit als eine lineare Kombination der Helligkeiten in Umgebung *O* des Eingangsbildes *g* mit den Gewichts-Koeffizienten *h* [Hla02]

$$f(i,j) = \sum_{(m,n)\in O}\sum h(i-m, j-n)g(m,n) \qquad (1)$$

Diese Gleichung kann man als eine diskrete lineare Konvolution repräsentieren, mit dem Konvolutionskern *h*. Die linearen Operationen der Konvolution (Filter) werden oft bei Glättungen und Kanten- oder Linien-Detektion benutzt. Diese Filter sind heutzutage meistens rekursiv oder in einer Separations-Form implementiert.

6.2 Segmentation

Das Ziel der Segmentation ist das Bild in mehrere Teile zu trennen. Diese Segmente repräsentieren oder ausdrücken die Relationen zu der realen Welt.

6.2.1 Diskontinuität in dem Bild

Unter Diskontinuität verstehen wir Punkte, Linien oder Kanten in den Bildern. In den nächsten Zeilen werde ich mich der Suche der Diskontinuitäten (das heißt plötzliche Bildänderungen) widmen. In der Praxis wird oft die Methode der Suche für Unterbrechungen im Bild mittels Masken benutzt. Die Masken werden durch das Bild gelegt. In dem Prozess werden Summen der Vervielfachungen der Maskekoeffizienten und der Helligkeitsintensitäten berechnet. Dann gilt nach [Gon92], dass wir für jeden Punkt des Bildes sagen können

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \ldots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^{9} w_i z_i \qquad (2)$$

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Tab. 6—2

Wo z_i die Graustufe des Pixels, der mit dem Maske-Koeffizient w_i zusammenhängt, repräsentiert. Die Masken-Reaktion ist mit Rücksicht auf die Mitte definiert.

6.2.2 Punkte-Detektion

Die Detektion der Punkte ist ganz gerade. Wir werden sagen, dass ein Punk detektiert wurde, wenn wir die angegebene Maske benutzen und es gilt, dass

$$|R| > T \qquad (3)$$

Wo *T* die negative Schwelle ist und *R* das Ergebnis der Gleichung für Masken-Reaktion ist. Diese Formulierung kann eigentlich nur die Gewichtsdifferenz zwischen dem Punkt im Mitte der Maske und den Nachbarn berechnen. Nur Änderungen, die groß genug sind, werden für isolierte Punkte gehalten (was durch *T* festgesetzt ist).

6.2.3 Liniendetektion

In diesem Kapitel werden wir uns mit der Liniendetektion befassen. Wir werden diese Masken benutzen

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

Tab. 6—3

Wenn wir diese Maske im Bild bewegen würden, stärkere Reaktion würden wir bei den Horizontalbewegungen messen. Mit einem konstanten Hintergrund wurde die maximale Reaktion entstehen, wenn eine Linie (mit der Stärke 1 Pixel) durch die Mitte der Maske entlangging.

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

Tab. 6—4

Ein ähnliches Experiment wurde für die zweite Maske-Empfindsamkeit auf Linien unter dem Winkel von 45˚ zeigen.

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

Tab. 6—5

Die dritte Maske reagiert am besten auf Vertikallinien.

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

Tab. 6—6

Die vierte Maske reagiert am besten auf Linien unter dem Winkel von -45˚. Präferierte Direktionen in der Maske sind mit einem höheren Koeffizient bewertet (2). Lassen wir *R1, R2, R3, R4* die Reaktionen

der Masken sein (Tab. 6—3, Tab. 6—4 , Tab. 6—5,Tab. 6—6). Nehmen wir an, dass diese Maske auf einem Bild benutzt wird. Wenn für einen Punkt in diesem Bild für alle $j \neq i$ gilt

$$|R_i| > |R_j|$$

kann man diesen Punkt dann mit einer Linie in der Direktion der Maske *i* assoziieren.

6.2.4 Kantendetektion

Auch wenn die Punkten- und Linien-Detektion ganz sicher ein Bestandteil der Segmentation ist, das meist benutzte Prinzip für Detektion der bedeutenden Diskontinuitäten in Grauen Bildern ist die Kantendetektion. Der Grund dafür ist, dass die meisten Objekte in dem Bild nicht Punkte oder Linien genannt werden können.

Unter dem Begriff Kante verstehen wir Grenzen unter zwei Regionen mit relativ verschiedenen Graustufen. Wir werden annehmen, dass die Regionen ausreichend homogen sind. Deswegen kann man den Übergang zwischen zwei Objekten auch mit Hilfe der Graustufen festsetzen. Die meisten Techniken der Kantendetektion bauen auf dem Operator der lokalen Derivation. Ein Beispiel sehen wir auf dem Bild (Abb. 6—6)

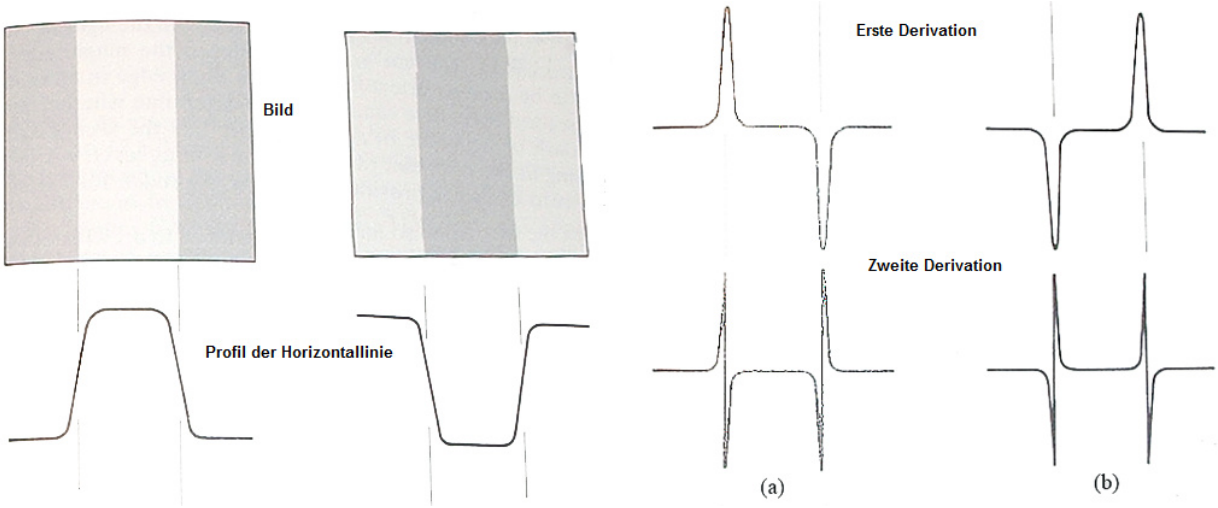

Abb. 6—6 lokale Derivation [Gon92]

Auf dem Eingang sind zwei Abbildungen, beide enthalten 3 Streifen mit geänderten Intesitäten der Grau. Auf Grunde der Diagramme können wir sehen, dass die Kante (Übergang des dunkleren Tons auf das Hellere) als ein stufenloser Übergang represäntiert ist. Das findet statt wegen der Tatsache, dass das digitale Bild immer ein wenig vernebelt ist, wegen der Abtastung. Das erste Derivat des Bildes ist positiv auf dem ersten Übergang und negativ auf dem zweiten. Der zweite Derivat ist positiv beim Übergang von der dunklen Seite und negativ im Übergang von der hellen Seite. In der Region der konstanten Stufe der Grau ist die Derivation null. Deswegen kann man die Kante sehr leicht entdecken. Das Zeichen der Derivation sagt uns dann, ob der Pixel zu der hellen oder dunkleren Seite gehört. Wichtig ist auch das Erkenntnis, dass die zweite Derivation auf dem Übergang der zwei Graustufen durch die Null geht. Das kann leicht benutz werden, um die Kante zu finden.

6.2.5 Gradient-Operatoren

Wir wissen, dass das Gradient im Sinne der größten Änderung der Funktion *F(x, y)* geht, wo die Funktion *F* das Bild repräsentiert. In dem Prozess der Detektion ist gerade der Wert dieses Gradienten wichtig. Wir bezeichnen ihn mit Δf. Gemäß [Gon92] gilt es, dass

$$\nabla f = mag(\nabla f) = \left[G_x^2 + G_y^2\right]^{1/2} \quad (4)$$

Aber oft wird der Gradient, um die Hardwareansprüche zu erniedrigen, nur ungefähr berechnet

$$\nabla f = |G_x| + |G_y| \quad (5)$$

6.2.6 Laplace Operator

Der Laplace Operator der 2D Funktion *F(x, y)* ist laut [Gon92] eine zweite Derivation definiert als

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (6)$$

Ähnlich wie im Falle des Gradienten kann er in mehreren Formen implementiert werden. Für eine Maske mit den Dimensionen 3x3 ist die meistbenutzte Form

$$\nabla^2 f = 4z_5 - (z_2 + z_4 + z_6 + z_8) \quad (7)$$

z_n sind die Intensitäten der Grau, definiert durch die Überdeckung der Maske (Tab. 6—7) und des Bildes folgender Maßen

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

Tab. 6—7

Die Grundlage beim Definieren des digitalen Laplace Operators ist die Bedingung, dass der Koeffizient in der Mitte der Maske positiv ist und die äußeren Pixel negativ sind. Auch wenn der Laplace-Operator auf die Übergänge zwischen den Intensitäten reagiert, ist er typisch sehr auf Rauschen empfindlich. Er produziert oft doppelte Kanten und mit ihm ist es nicht möglich, die Richtung der Kante zu detektieren. Deshalb wird der Laplace-Operator meistens bei Entscheidungen, auf welcher Seite (hellere oder dunklere) der Pixel liegt, benutzt. Ein mehr allgemeinerer Zugang zum Laplace-Operator ermöglicht uns die Kantenposition zu berechnen mit Hilfe der Durchdringung mit der Achse. In diesem Fall wird eine Konvolution des Bildes mit dem Laplace-Operator der 2D Gauss Funktion benutzt.

Wir wissen jetzt, dass die Kantendetektion mit Hilfe der Gradient-Operatoren eine Tendenz hat, gut zu arbeiten nur mit Bildern mit scharfen Übergängen zwischen den Intensitäten und mit relativ niedrigem Rauschen. Die Detektion mit Hilfe der Durchdringung mit der Achse ist dann eine Alternative bei unscharfen Bildern oder beim Rauschen. Der Nachteil ist eine erhöhte Berechnungszeit.

6.2.7 Hough-Transformation

Diese Methode ist verwendbar, wenn wir Objekte bekannter Former finden wollen. Diese Transformation kann gerade Linien und Kurven identifizieren (Grenzen der Objekte), wenn wir ihre analytischen Darstellungen kennen. Es ist ein robustes Instrument bei Detektion überdeckter oder verrauschter Objekte [Hla02].

Eine generalisierte Hough-Transformation kann benutzt werden, wenn die analytischen Gleichungen nicht verfügbar sind. Die Beschreibung der parametrischen Kurven (Grenzen der Regionen) ist auf Mustersituationen aufgebaut und in der Phase des Lernens festgesetzt.

Auch wenn die Formung der Regionen aus kompletten Grenzen trivial ist, eine Region zu finden, wenn wir nur Teile der Grenzen haben, kann sehr komplex sein. Eine solche Region zu bilden kann auf der Wahrscheinlichkeit, dass sich der Pixel im Inneren der Regionen mit teilweisen Grenzen befindet, begründet sein. Solche Verfahrensweisen können nicht immer akzeptablere Ergebnisse ergeben, aber sie sind sehr nutzbar in vielen praktischen Situationen.

6.2.8 Schwellenwertverfahren

Dieses Verfahren ist eines der wichtigsten Verfahren in der Bildsegmentation. In den nächsten Zeilen werden Vorgehen, die in der Praxis benutzt werden, analysiert.

Nehmen wir an, dass wir ein Histogramm haben. Dieses Histogramm entspricht einer Abbildung, die mit der Funktion $F(x, y)$ repräsentiert ist. Diese Abbildung repräsentiert ein helles Objekt und ein Hintergrund, das dunkler ist. Eine der direkten Vorgehensweisen ist, die Schwelle T am Anfang festzusetzen. Diese Schwelle kann dann dieses Objekt vom Hintergrund trennen. Jeder Punkt des Bildes, für den gilt

$$f(x, y) > T \tag{8}$$

kann für einen Punkt des Objektes gehalten werden. Alle anderen Punkte sind Punkte des Hintergrundes. Dieser Prozess kann ähnlicher Weise für Bilder, die mehrere Objekte enthalten, benutzt werden. Jedes Objekt muss allerdings mit einer anderen Farbenintensität repräsentiert werden. Diese Vorgehensweise ist jedoch weniger verlässlich wegen der problematischen Schwellenwert-Festsetzung.

Auf Grunde dieser Kenntnisse können wir auf das Schwellenwertverfahren ansehen, als auf eine Operation, die eindeutig einem Punkt des Bildes (x, y) einen Wert von 0 oder 1 zuordnet, auf Grunde der Vergleichung der Pixel Intensität und des Schwellenwertes.

Wenn der Schwellenwert T nur von der Funktion $f(x, y)$ abhängig ist, wird die Schwelle *global* genannt. Wenn auch lokale Charakteristiken verwendet werden, ist die Schwelle *lokal*. Wenn der Schwellenwert T mit denn Koordinaten x und y zusammenhängt, wird er *dynamisch* genannt.

6.2.9 Auf der Region basierende Segmentation

Das Ziel der Segmentation in den höher erwähnten Methoden war die Grenzen zwischen den Regionen zu finden. Diese Methode bildet die Regionen. Es ist einfach Regionen mit Hilfe Ihrer Grenzen zu bilden und es ist einfach die Grenzen der Regionen zu detektieren. Aber diese zwei Varianten der Segmentation verschaffen uns meistens nicht dieselben Ergebnisse. Deshalb ist es geeignet, diese zwei Vorgehensweisen zu kombinieren. Methoden, die auf den Regionen basieren,

geben meistens bessere Ergebnisse in verrauschten Bildern, wo die Grenzen schwer zu finden sind. Das Prinzip bei der Region basierender Segmentation ist die Region-Homogenität. In der Methode der Regionen-Vergrößerung (*region growing*) können die Kriterien der Homogenität auf Graustufen, Farben, Textur, Form oder dem Modell aufgebaut sein.

6.2.10 Mustererkennung (*matching*)

Mustererkennung ist ein weiterer Zugang zu der Segmentation, der bei Lokalisation uns bekannten Objekten und spezifischen Muster im Bild benutzt wird. Diese Erkennung ist sehr breit anwendbar, es kann bei Erlangung der Charakteristiken der stereoskopischen Szenen benutz werden, vor allem wenn wir mehrere Szene haben, die von mehreren Winkeln erhalten wurden. Eine andere Applikation ist die Mustererkennung in dynamischen Bildern (z.B. bewegende Automobile, Wolken). Eine Szene kann für *matching* benutzt sein und das Muster kann dann in den anderen bestehenden Szenen benutzt werden.

6.3 Beschreibung von Objekten

6.3.1 Form Repräsentation und Beschreibung

Die Regionen-Beschreibung generiert ein Vektor der numerischen Eigenschaften oder eine nicht numerische syntaktische Beschreibung, die die Eigenschaften (z.B. Form) der Regionen charakterisiert.

Es existieren mehrere praktische Methoden der Form-Beschreibung, aber eine universale Beschreibung existiert nicht. Es ist schwer zu sagen, was für eine konkrete Form wichtig ist. Die Form kann sich deutlich mit der Auflösung ändern. Konventionelle Formbeschreibung verursacht unregelmäßige Formen bei Auflösungsänderung. Deshalb werden Vorgänge eingeführt, die diese Probleme beseitigen.

Die Formen-Klassen (*shape classes*) repräsentieren universale Formen der Objekte, die in dieselben Klasse gehören. Diese Klassen sollten Betonung auf die Unterschiede untereinander legen und die Variationen in derselben Klasse sollten sich nicht in Beschreibung der Klasse kennbar machen.

6.3.2 Identifikation der Regionen

Bild Regionen (*image regions*) bekommen eine einzigartige Beschreibung, die aus nicht wiederholbaren geordneten Nummern besteht. In diesem Fall ist dann die Anzahl der Regionen mit der größten Zahl festgelegt.

6.3.3 Contour-based Beschreibung

Ketten-Kode (*chain codes*) beschreiben das Objekt mit einer Reihenfolge der Linear Segmente mit einer bestimmten Orientation. Der Kode wird auch *Freeman's code* genannt.

Die Repräsentation der einfacher geometrischen Grenzen (*simple geometric border representation*) ist auf den geometrischen Merkmalen der Regionen, wie z.B. Grenzen-länge, Krümmung, Biegung-Energie, Unterschrift.

6.3.4 Fourier-Beschreibungen (Fourier shape descriptors)

Diese Beschreibungen können für geschlossene Kurven benutzt werden. Deren Koordinate können wir für periodische Signale betrachten.

Die Formen können als eine Sequenz spezifischer Segmente repräsentiert werden. Wenn der Typ des Segmentes nicht erkennbar ist, kann die Grenze als eine Kette der Segmente beschrieben werden. Das Codewort repräsentiert dann Formen aus dem uns verfügbaren Alphabet.

B-Kurven (*B-splines*) sind partiale polynomiale Kurven, deren Form eng mit dem Kontrolpolynom verbunden ist. Das Polynom ist eine Kette der Vektoren, die die polygonale Repräsentation der Kurve vorstellen. Die *B-Splines* des dritten Grades sind die meist benutzten Kurven. Sie sind des niedrigsten Grades der schon die Änderung der Verkrümmung folgen kann.

6.4 Auf Regionen aufgebaute Formenbeschreibungen

Einfache Beschreibungen der geometrischen Regionen basieren auf den geometrischen Eigenschaften der Regionen, wie z. B. Fläche, Eulernummer, Projektion, Höhe, Breite, Exzentrizität, Richtung, Kompaktheit, Viereckigkeit.

Statistische Momente repräsentieren das normalizierte Grau-Bild als eine wahrscheinliche Dichtheit der 2D Variable. Die Eigenschaften dieser Variable können mit statistischer Charakteristik – Momenten beschrieben werden. Diese Beschreibungen können so definiert werden, dass sie unabhängig von Rotation, Änderung des Maßstabens oder Translation sind.

Kompliziertere Formen können mit Hilfe der Dekomposition auf kleinere und einfachere Unter-Regionen beschrieben werden. Objekte können mit planaren Graphen repräsentiert werden. In diesen Graphen repräsentieren die Knoten die Unter-Regionen, die sich aus der Dekomposition der Regionen ergeben. Die Regionen können mit zwei Techniken hergestellt werden: *region thinning* und Regionen-Dekomposition.

6.5 Objekt-Erkennung

Die Mustererkennung ist bei Klassifikation der Regionen und Objekte benutzt. Sie repräsentiert einen wichtigen Schritt beim komplexen Prozess der Maschinensicht. Aber keine Erkennung kann ohne Kenntnisse realisiert werden.

Spezifische Kenntnisse über das verarbeitete Objekt, und auch über Objekte die hierarchisch, höher situiert sind, sind unbedingt verlangt. Ebenso ist es notwendig, mit allgemeinen Kenntnissen über die Klasse der Objekte zu disponieren.

6.5.1 Repräsentation der Kenntnisse

Kenntnisse kann man in mehreren Weisen speichern. Zu den meist benutzen gehören Grammatiken und Sprachen, Prädikatenlogik, *production rules, Fuzzylogik* oder unter anderem auch semantische Netze [Gon92].

6.5.2 Statistische Mustererkennung

Diese Erkennung basiert auf Zuordnungen der Klassen zu den Objekten. Die Vorrichtung, die diese Zuordnung ausübt, wird ein Klassifikator (*classifier*) genannt. Die Anzahl der Klassen ist meistens bekannt und man kann sie aus der Spezifikation ableiten.

Klassifikatore alleine können nicht über die Klasse, in die der Objekt gehört, entscheiden. Sie können aber über die Merkmale der Objekte entscheiden.

Parameter der Klassifikatoren sind aus den Trainings-Mustern festgestellt, während der Phase des Lernens. Die meist benutzen Prinzipe bauen auf der Abschätzung der Wahrscheinlichkeitsdichte, und der Minimierung der direkten Verluste.

Manche Klassifizierungsmethoden brauchen keine Trainingsmengen für die Phase des Lernens. Z.B. die Methoden der Clusteranalyse teilen die Mengen der Muster in Untermengen (*clusters*) auf Base der Ähnlichkeit der Elemente der Untermengen.

6.5.3 Neuronale Netze

Meiste Neuronale Netze bauen auf den elementaren Einheiten (Neuronen). Jeder dieser Neurone empfängt eine Anzahl der Eingänge und sendet einen einzigen Ausgangswert. Jeder Eingangswert hat ein Gewicht, der Ausgangswert ist eine Funktion der Eingangswerte mit den Gewichten.

Feedforward-Netze werden oft bei Mustererkennung verwendet. Beim Lernen wird eine Menge der Beispiele benutzt und der *backpropagation* Algorithmus wird oft benutzt.Selb-Organisierte Netze erfordern keine Trainingsmengen bei der Klassifikation.

Hopfield Neuronale Netze [Gon92] verfügen am Anfang mit keinen Ein- und Ausgangswerten, aber der Zustand ist mit der aktualen Konfiguration repräsentiert. Das *Hopfield* Netz arbeitet als ein assoziativer Speicher mit gespeicherten Vorbildern.

6.5.4 Optimisierungstechniken in der Erkennung

Optimisierungsprobleme suchen für ein Minimal- oder Maximalwert einer Funktion des Objektes. Eine solche Funktion zu erschaffen ist das primäre Faktor der Leistung des Optimisierungsalgorithmus.

Konventionelle Zugänge benutzen *hill-climbing* Algorithmen, die auf dem Kalkulus (*calcul*) basieren. Aber diese Zugänge enden oft in einem lokalen Maximum und das Globale Maximum kann verloren sein.

7 Implementierung

Vor dem Anfang der Implementierungsphase, musste ich mich entscheiden, welche Umgebung ich wählen soll. Ich habe mehrere Faktoren und die neuesten Informationstechnologien berücksichtigt und mich für eine Implementierung mit Hilfe der .NET Technologie entschieden.

7.1 .NET Plattform

Diese Plattform ermöglicht nicht nur eine effektive Entwicklung der Applikationen unter der Windows™ Plattform, aber auch Entwicklung unter mehreren anderen Umgebungen wie z.B. Linux oder PocketPC. Das ermöglicht eine breite Verfügbarkeit und einen eventuellen Einsatz auf mehreren Systemen.

Einer der weiteren Vorteile dieser Plattform, ist die Möglichkeit einer rapiden Entwicklung des GUI (Graphisches Benutzer Interface). Das ermöglicht mir, sich nur auf das Wesentliche zu konzentrieren.

Angesichts meiner Erfahrung mit der .NET Plattform, habe ich mich für die C# Sprache entschieden. Andere abgelehnte Sprachen waren C++, J# oder Visual Basic.

Die Arbeit wird mit dem Quellkode distribuiert, aber ich habe auch die binäre Form hinein beschlossen. Der Quellkode kann im Visual Studio 2005 kompiliert werden, alle benötigten Dateien sind enthalten. Damit sie dieses Program laufen können, muss das .NET Framework 2.0 installiert sein. Es werden Funktionen dieses Frameworks benutzt und ohne sie kann man nicht arbeiten. Das Programm enthält eine Programmdokumentation, die Schritt für Schritt dem Benutzter zeigt, wie die Software bedient sein soll.

7.2 Das Interface

Mit Hilfe der .NET Plattform ist die Implementierung des Interfaces problemlos und ermöglicht mir ein universales Einladen vieler Bildformate (die unterstützten Formate abhängen von dem Operationssystem). Ebenso ausgezeichnet ist die Darstellung der Ergebnisse in dem Program (Benutzung von Graphen), oder die Interaktion mit dem Benutzer.

Die Implementierung eines Multithread-Programmes war einer der Probleme. Das Interface ermöglicht eine Parallelverarbeitung mehrerer Operationen, deshalb kann in dem Programm zur Problemen kommen. Zu mehreren der Variablen kann von zwei Stellen des Kodes zugetreten werden. Dieses Problem habe ich gelöst, in dem ich eine lokale Kopie der Daten, mit denen man arbeitet, erschaffen habe und jeder der Algorithmen arbeitet nur mit seiner Kopie. Solches Verhalten wurde meist beim laufen der Bildverarbeitungsalgorithmen gesehen.

7.3 Apparatur

Diese Arbeit benötigte vom Anfang an eine enge Kooperation der Hardware und Software. Meine Diplomarbeit würde auch von Ing. Ilona Kalová unterstützt, die mir sehr hilfreich bei der Bildaufnahme war. Mir stand eine CCD Kamera zur Verfügung, (Abb. 7—1) mit einer Auflösung von 740 x 287 Pixel. Die Kamera ermöglicht nur Graubilder aufzunehmen. Es wurden mehrere Lichtquellen benutzt, um das aufgenommene Bild zu beleuchten. Ich habe versucht auch Infrarot-Licht

zu benutzten, aber die Papillarlinien der Bilder waren in diesem Fall sehr schlecht detektierbar. Ich habe mehrere Makroobjektive benutzt, die mit der Vergrößerung 4x bis 10x arbeiteten. Benutzbare Bilder wurden allerdings nur mit einem Makroobjektiv, das 8- bis 10-mal vergrößerte, aufgenommen. Bei anderer Vergrößerungsrate wurden die Bilder entweder sehr unscharf oder die charakteristischen Punkte könnten nicht detektiert werden. Um die unerwünschten Bewegungen der Hand und des Fingers zu eliminieren, habe ich eine Befestingungsplatte (Abb. 5—1), die speziell für Dipl. Ing. Drahanský, Ph.D. ausgefertigt wurde, benutzt.

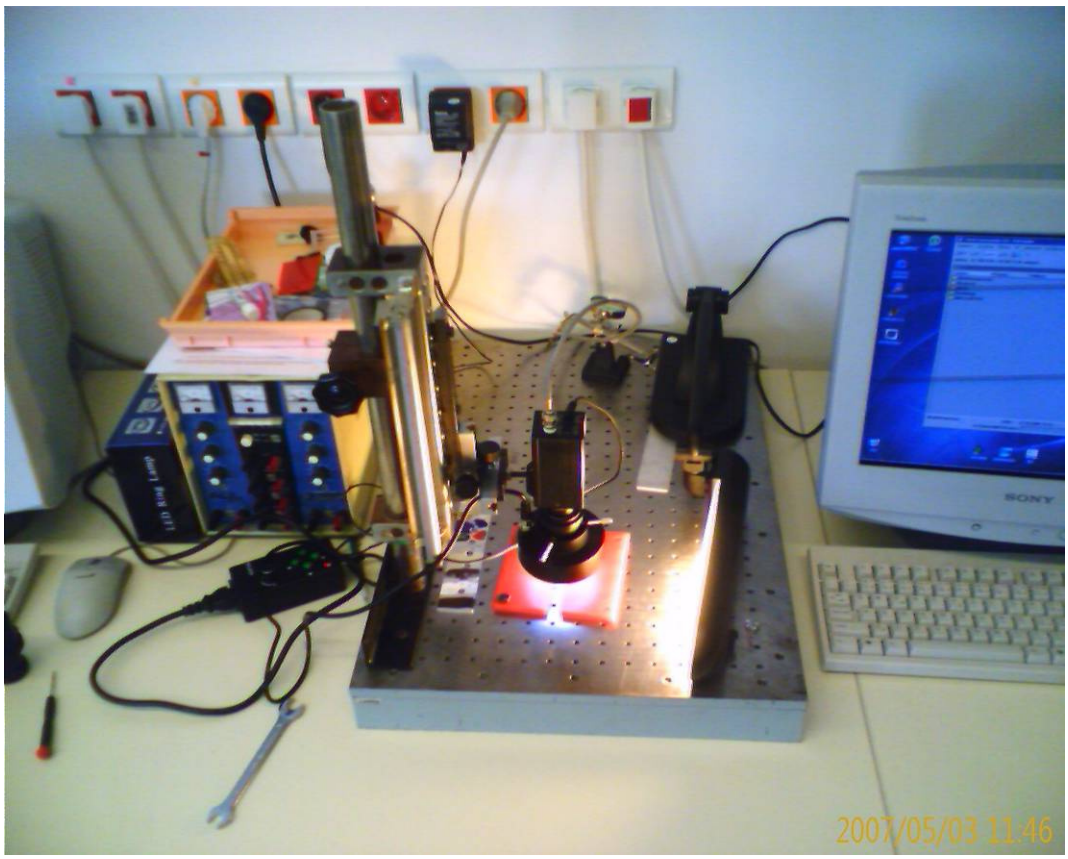

Abb. 7—1 Die benutzte Ausstattung

7.4 Kantendetektion

In dieser Phase war es nötig eine geeignete Methode der Kantendetektion zu implementieren. Nach mehreren Überlegungen habe ich mich entschieden mehrere Algorithmen zu implementieren und deren Ergebnisse zu vergleichen. Normalerweise arbeiten diese Methoden mit einem Graubild, aber ich habe einige Versionen so implementiert, dass sie auch farbige Bilder akzeptieren. Auf diese Weise habe ich versucht einem Verlust der Information vorzukommen (leider standen mir am Ende keine Farbbilder zur Verfügung). Ich habe mich entschlossen zu den Implementierten Methoden Laplace Operator, Sobel Operator (Abb. 7—2) und den Canny Kannten Detektor zuordnen. Wegen des Laplace Operators war es nötig auch die Bildfiltration mit Hilfe eines Gaussfilters zu implementieren. Diese Filtration verursacht eine Glättung des Bildes. Durch die Glättung kann das Bildrauschen vermindert werden, größere Strukturen bleiben dagegen erhalten. Eine andere hilfreiche Methode war die Bildtransformation auf ein Graubild.

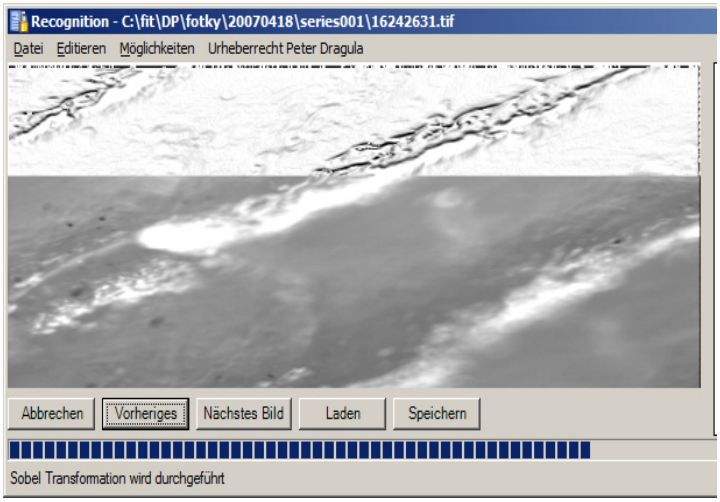

Abb. 7—2 Sobel Kantendetektion

Wenn auf das Ergebnis des Sobel Operators ein Gaussfilter appliziert wird, wird das Rauschen beseitigt und nur die Kanten der Papillarlinien werden aufgezeigt. Ebenso kann diese Filtration auch für die anderen Kantendetektion-Algorithmen benutzt werden.

7.5 Auflösung

Das größte Problem bei der Implementierung der Arbeit, zu dem es vorgekommen ist, war die zu niedrige Auflösung der Kamera. Wegen der kleinen Bewegungen auf der Fingerspitze, ist jeder Pixel in dem verarbeiteten Bild wichtig. Aus der Arbeit von [Dra06] wurde mit Hilfe mehrerer Lasermessungen ergeben, dass die Bewegungen auf der Fingerspitze ungefähr 5 µm sein sollten (Kapitel 4.6).

Ich habe mit einer Kamera, die eine Auflösung von 740 x 287 Pixel hat, gearbeitet. Ich habe mehrere Vergrößerungen benutzt, und mehrere Videodateien (Bildsequenzen) gespeichert. Die Makroobjektive, die ich mit der Kamera benutzt habe, vergrößerten zwischen 4- bis 10-mal.

Auf den Bildern kann man meistens zwei oder drei Papillarlinien sehen und die Distanz zwischen zwei dieser Linien beträgt meistens weniger als 0,7 mm. Das heißt, dass die Bewegungen, die ich messen möchte, gemäß Abb. 7—4, nur wenige Pixel sein sollten. Die Vergrößerungsrate des Objektivs wurde, in diesem Fall, ein wenig erniedrig. Die Distanz zwischen den zwei markierten Punkten beträgt dann ungefähr 3.8 mm.

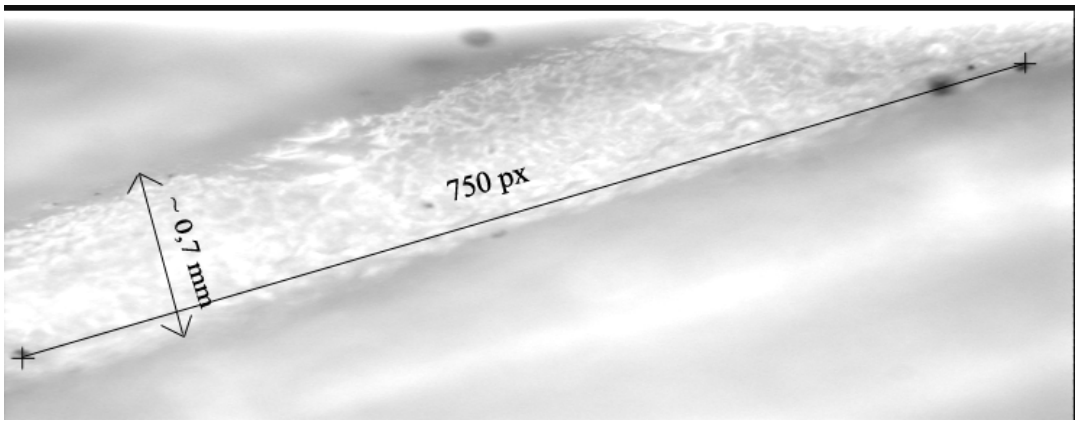

Abb. 7—3 Geänderte Vergrößerung

Für diese Bildsequenz wird dann die Auflösung auf diese Weise berechnet:

$$\frac{750\,px}{3800\,\mu m} \cong 0{,}2\,px/\mu m$$

Das heißt, dass die Bewegungen weniger als 6 mal 0,2 Pixel = 1,2 Pixel sein werden. Das ist ein zu kleines Nummer, um eindeutige Resultate zu bringen. Wenn diese theoretischen Voraussetzungen bewiesen werden, können sehr schwer befriedigende Resultate gemessen werden. Ich habe auch andere Konfigurationen ausprobiert, die bessere Auflösung bringen könnten. Die Details einer der Modifizierungen können wir in Abb. 7—3 sehen. Die Auflösung des Objektivs wurde wie es nur geht erhöht (auf ungefähr 10x).

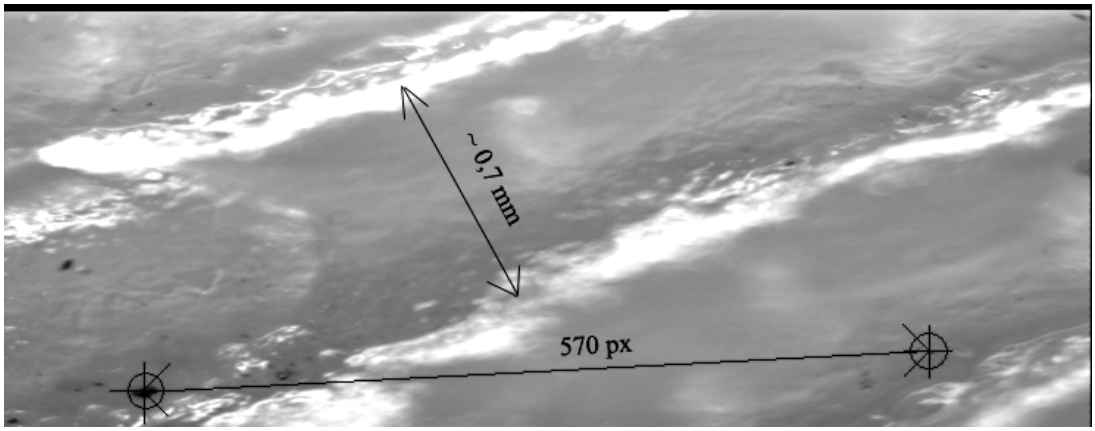

Abb. 7—4 Distanz der bedeutenden Punkte in einem abgenommenen Bild

Wenn ich diese Entfernung in Pixeln ausdrücken wurde, kann ich sagen das 570 Pixel ungefähr 2.1 mm repräsentieren. Deshalb gilt die Gleichung

$$\frac{570\,px}{2100\,\mu m} \cong 0{,}27\,px/\mu m$$

Das bedeutet, dass 1 µm auf der Haut nur mit 0,27 Pixeln auf dem Bild repräsentiert ist. Die Bewegungen von 5 bis 6 µm, die wir beobachten möchten, wurden dann mit ungefähr 1,35 bis 1,63 Pixel repräsentiert sein. Das ist noch immer eine sehr kleine Zahl, die schwer messbar (wegen der Ungenauigkeit beim Punktedetektion) sein wird.

Ich hatte keine andere Ausstattung zur Verfügung, deshalb habe ich mit dieser Konfiguration weiter gearbeitet. Trotzdem werde ich noch berechnen, was eine optimale Auflösung sein könnte, die bessere Kenntnisse bringen wurde. Um eindeutige Bewegungen messen, sollten sie mindestens 6 bis 8 Pixel betragen. Das wurde heißen, dass die Auflösung der Kamera 6 /1,63 = 3,6 mal größer sein sollte. Damit wären die Bewegungen mit Änderungen von 6 Pixeln repräsentiert, was eindeutigere Messungen bringen könnte. Eine solche Konfiguration sollte dann mit einer Auflösung von mindestens 2600 Pixeln (in einer Dimension) disponieren. Um die Bewegungen 8 Pixel zu machen, müsste die Auflösung unbedingt 8 / 1,63 = 5-mal großer sein (3700 Pixel).

Eine universale Gleichung wird dann folgender Weise aussehen

$$\frac{Ppx}{M\mu m} \cong 1\,px/\mu m$$

P ist die Auflösung in Pixeln und *M* ist die Distanz zwei markierter Punkte in µm. Wenn wir Bewegungen, die 6 bis 8 Pixel betragen, sehen wollen, muss die Auflösung wenigstens 1 Pixel auf µm sein. Die Variablen *P* und *M* sollten dann ungefähr gleich sein. Wenn wir eine 10-fache Vergrößerung benutzen, sind die Distanzen zwischen zwei gewählten Punkten des Fingers ungefähr 2500 bis 3500 µm. Unabhängig von der Vergrößerung des Makroobjektivs, muss die Auflösung mindestens 2500 Pixel sein, um Bewegungen in Größe von 6 Pixeln zu sehen. Wenn wir größere Bewegungen messen wollen, muss die Auflösung linear steigert sein. Eine höhere Vergrößerungsrate des Objektivs Hilft uns nur die Punkte eindeutiger zu Detektieren, die Bewegungen selbst werden nicht größer.

Die Bewegungen der Haut sollten ein periodisches Verhalten aufzeigen, weil auch der menschliche Herzschlag periodisch ist. Diese theoretischen Kenntnisse habe ich auch praktisch erprobt und in folgenden Zeilen werde ich meine Ergebnisse vorstellen.

7.6 Das Programm

Nach der sorgfältigen Analyse habe ich mehrere der Bildverarbeitungsmethoden und Kantendetektion-Algorithmen implementiert.

Abb. 7—5 Das Programm

Die Resultate dieser Algorithmen sind aber mehrdeutig. Wegen der höhen Vergrößerung sind die Papillarlinien zu breit, um eindeutig mit den Kantendetektionsalgorithmen identifiziert zu werden (Abb. 7—6). Manchmal hatten die Algorithmen Probleme mit dem Rauschen in dem Bild und haben keine benutzbaren Ergebnisse produziert. Die Beispiele können wir in Appendix A sehen. Ein *thinning* Algorithmus, der die Kanten in einer Bildsequenz ohne große Schwankungen verdünnen wurde, kann nicht implementiert werden. Die Struktur dieser Kanten ist unregelmäßig und ändert sich von einem Bild in der Sequenz zum anderen. Dass diese Algorithmen nicht geeignet für diese Aufgabe waren, ist für mich eine große Enttäuschung. Die Arbeit, die ich in die Verfahren eingesetzt habe, war mehr oder weniger überschüssig. Nach weiterer Analyse habe ich mich entschlossen einen anderen Weg aufzunehmen und die Detektion auf charakteristische Punkte zu orientieren.

7.7 Suche für charakteristische Punkte

Die Kanten, die in Abb. 7—6 (mehrere können wir auch in Appendix A sehen) detektiert wurden, können nicht benutzt werden, um genaue Bewegungen zu detektieren. Es ist nicht möglich, dieselben

Stellen in einer Sequenz der Bilder mit höherer Genauigkeit wieder zu finden. Deshalb habe ich mich entschieden, die bedeutenden Punkte manuell zu markieren und die Bewegungen danach zu messen. Auf jedem Bild werden 2 Punkte markiert, die eindeutig auch auf dem nächsten Bild der Sequenz gefunden sein können. Auf diese Weise werden die Bewegungen zwei charakteristischer Punkte in der ganzen Bildreihe markiert. Diese markierten Distanzen werden dann auf ein Graph aufgetragen, um die Änderungen des Abstandes dieser zwei Punkte zu sehen. Der Graph (Abb. 7—8) aufzeichnet nur prozentuelle Änderungen des Abstandes und theoretisch sollte es mehr oder weniger periodisch aussehen. Die Periodizität des Graphs sollte die Periodizität des Blutdrucks kopieren (Kapitel 4.6.2).

In den nächsten Zeilen möchte ich Schritt für Schritt zeigen, wie die Messungen abgelaufen sind.

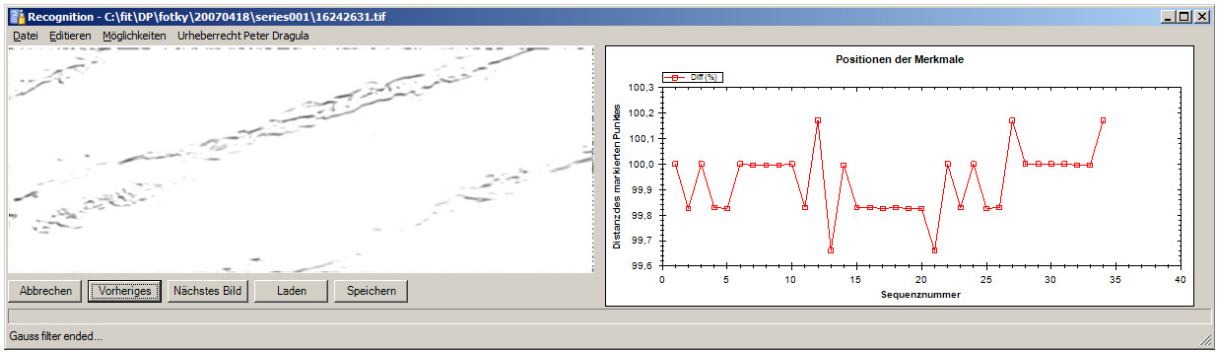

Abb. 7—6 Detektierte Kannten

Das Interface des Programmes (Abb. 7—7) ermöglicht, die Bildsequenzen, die wir aufgenommen haben, zu öffnen. Die Bildsequenzen sind mit einem einzigartigen Namen repräsentiert. Jedes Bild enthält eine Information über die Zeit, bis auf Millisekunden. Ein Beispiel können wir auch in Abb. 7—5 sehen. Der Name *16243824.tif* bedeutet, dass das Bild um 16 Uhr 24 Minuten 38 Sekunden und 24 Millisekunden aufgenommen wurde. Auf diese Weise können Bilder in der Sequenz geordnet sein. Jedes Bild wird mit der Kamera nach ungefähr 40 Millisekunden aufgenommen. Das heißt, dass die Aufnahmegeschwindigkeit ungefähr 25 Hz war. Diese Geschwindigkeit sollte ausreichend sein, weil die Periodizität des Menschlichen Blutdrucks meistens ungefähr 1 Sekunde beträgt. Das entworfene Interface ermöglicht auch mit anderen Sequenzen zu arbeiten. Die Bilder werden immer steigend geordnet. Die Position eines Bildes in einer Sequenz hängt von der letzten Nummer in dem Namen der Datei ab. Deshalb kann das Programm auch Bildsequenzen die mit einer anderen Kamera aufgenommen wurden leicht verarbeiten.

Damit man mit der Bildreihe effektiv arbeiten kann, habe ich ein Interface erstellt, das ermöglicht sich in der Sequenz zu bewegen. Mit dem Knopf **Vorheriges Bild** (*Previous Image* in Englischer Variante des Programs) können wir uns in der Liste der Bilder auf das Vorherige Bild bewegen. Genauso funktioniert der Knopf **Nächstes Bild**. Auf jedem Bild können zwei charakteristische Punkte markiert sein. Diese Punkte repräsentieren oft Gebilde, die leicht und eindeutig erkennbar sind. Mit deren Hilfe werden dann die Messungen der Volumenänderung durchgeführt und gespeichert. Nach dem man auf dem Bild zwei Punkte mit einem Mausklick markiert hat, wird das nächste Bild in der Reihenfolge automatisch angezeigt und wieder mal können neue Markierungen durchgeführt werden. Auf diese Weise wird eine Sequenz der Bilder verarbeitet und die Koordinaten gespeichert. In der Analyse werden dann die Positionen dieser Punkte und deren Distanz untereinander auf ein Graph eingetragen (Abb. 7—7). Der Graph kann mit Hilfe des Menus ***Editieren*** nur Koordinate der Punkte (*Punkte 01 anzeigen*, *Punkte 02 anzeigen*) oder die Distanzänderung zwischen diesen Punkten aufzeigen (*Distanz der Punkte zeigen*). Der Graph wird

durch die Funktion *Analysiere die Punktendistanz (CTRL+D)* angezeigt und/oder aktualisiert. Die markierten Punkte der Bildersequenz können gespeichert werden (unter **Möglichkeiten** / *Konfiguration Speichern*) und geladen werden (unter **Möglichkeiten** / *Konfiguration Laden*). Das ermöglich mir die einmal markierten Punkte in der Sequenz wieder zu benutzen.

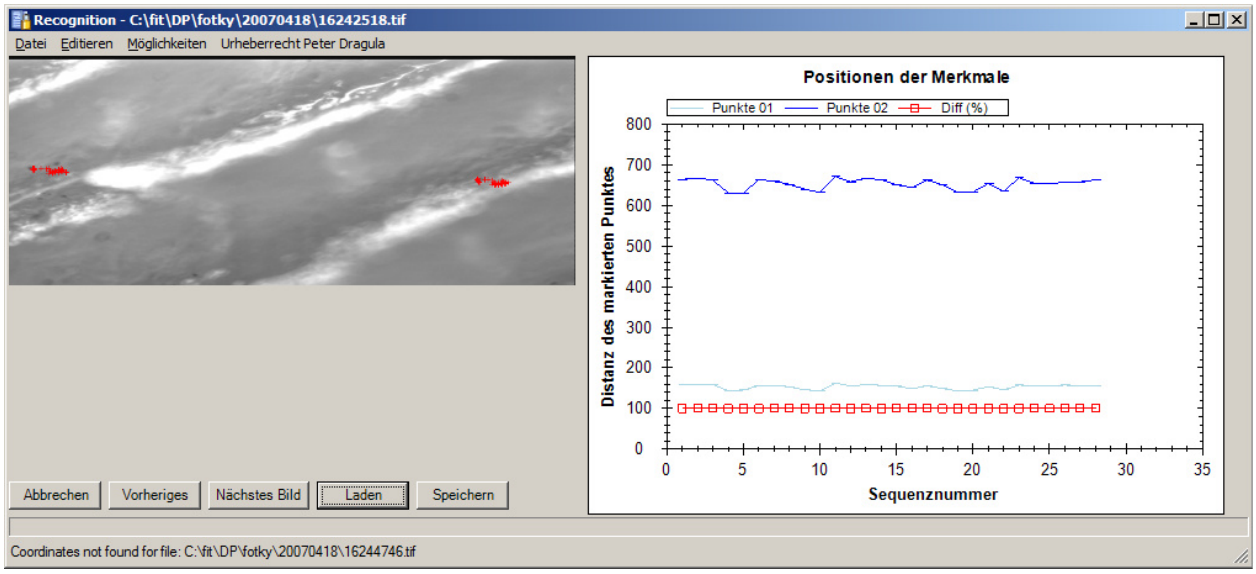

Abb. 7—7 Markierte Punkte und deren Distanzänderung auf ein Graph eingetragen

Die Distanzänderungen, die auf diesem Bild (Abb. 7—7) angezeigt sind, können schlecht erkannt werden. Deshalb ist es praktisch, den Graph ohne die Positionen der markierten Punkte zu bilden.

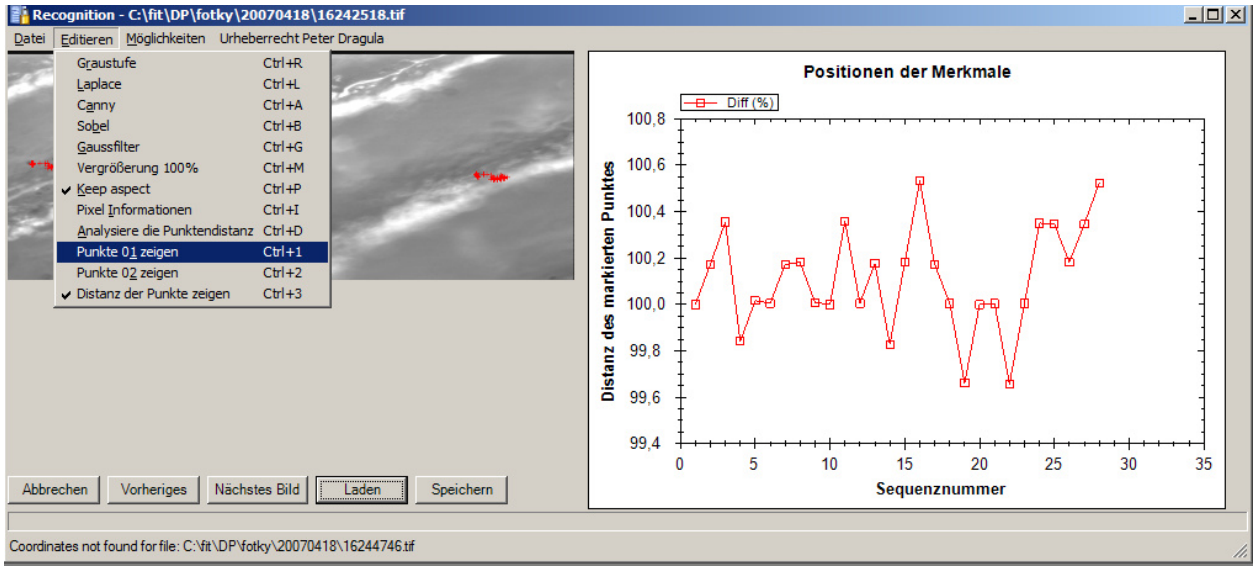

Abb. 7—8 Markierte Punkte und deren Distanzänderung (%)

In Abb. 7—8 sind nur die prozentuellen Distanzänderungen des Paares der Punkte angezeigt. Die erste Sequenznummer fängt immer auf 100 % an. Das nächste Bild wird analysiert und die Variation in der Distanz wird in den Prozenten angezeigt. Die Veränderungen schwanken meistens zwischen +0,5 % und -0,5%. Die Schwankungen die am Anfang der Arbeit theoretisch geschätzt wurden, sollten periodisch aussehen. Ich kann aber nicht eindeutig sagen, dass dies der Fall ist. Den Gründen werde ich mich noch in Kapitel 7.9 widmen.

7.8 Automatische Detektion der charakteristischen Punkte

Nach den manuellen Messungen habe ich mich entschlossen auch eine Variante der automatischen Detektion zu implementieren. Derselbe Zugang, wie bei einer manuellen Detektion, wurde auch bei der automatischen gewählt. Nach dem man ein erstes Bild einer Sequenz geladen hat, kann man durch das Menü ***Editieren*** / *Finde charakteristische Punkte*, die Erkennung automatisch laufen lassen.

Für diese Variante der Erkennung wurden für die Applikation Verzeichnisse SERIES001, SERIES002 und SERIES003 erstellt. Diese Verzeichnisse enthalten Bildsequenzen, die eine gute Qualität haben und erkennt werden können. Zur Verfügung stehen auch viele andere Bildaufnahmen, die ich gemacht habe. Die Bildschärfe oder Qualität vieler der Aufnahmen ist aber nicht ausreichend. Trotzdem können sie benutzt werden für manuelle Markierung der charakteristischen Stellen (sehe Appendix A).

Der Prozess fängt mit der Wahl des ersten Bildes an. Mit CTRL+F wird das geöffnete Bild analysiert und charakteristische Punkte dieses Bildes, die leicht wieder detektierbar sind, werden gespeichert. Das Verarbeiten jedes Bildes dauert ungefähr 3 bis 10 Sekunden. Danach wird automatisch das nächste Bild in der Reihenfolge aufgeladen und die Detektion läuft weiter. Mit dem Knopf ***Abbrechen*** kann man die Verarbeitung vorzeitig beenden (die schon detektierten Punkte werden gespeichert). Sonst werden alle Bilder, die in der Sequenz eingeordnet sind, verarbeitet (bei längeren Aufnahmen kann es viel Zeit dauern, auf allen Bildern die charakteristischen Punkte zu markieren). Nach diesem Prozess können wir uns das Graph der Resultate ansehen (CTRL+D, oder Menü ***Editieren*** / *Analysiere die Punktendistanz*). Dieses Graph enthält dieselbe Information, wie der Graph bei der manuellen Markierung der charakteristischen Punkte. Im Allgemeinen ist aber die manuelle Detektion genauer, deshalb habe ich auch mit solchen Fällen gearbeitet. Die automatische Detektion versucht Punkte zu finden, die Kontraste repräsentieren, wie z.B. ein Punkt, der eine deutlich dunklere Farbe als die Umgebung hat. Die Detektion verläuft in 2 Phasen.

Die erste Phase sucht in der linken Hälfte der Aufgenommenen Bilder für einen Punkt, der gut detektierbar ist. Ebenso wird auf der zweiten Hälfte des Bildes ein solcher Punkt gesucht. Wenn gefunden, werden diese zwei Positionen gespeichert, um weiter benutzt zu werden (z. B. auf den Graph aufgetragen).

Die Resultate dieser Detektion korrespondieren mit den Ergebnissen der manuellen Verarbeitung. Dieses Prozess ermöglicht eine automatische Verarbeitung eines Teiles der aufgenommen Bilder. In der Sequenz werden stets dieselben zwei Punkte gefunden, was uns erlaubt automatische Messungen durchzuführen. Die Distanzänderungen dieser zwei Punkte werden gespeichert, um dann in einem Graph gezeigt zu werden.

7.9 Ergebnisse der Messungen

Die Bewegungen der markierten Punkte, die wir hier (Abb. 7—8) sehen, können nicht eindeutig als periodisch benannt werden. Ich habe mehrere Experimente durchgeführt (Appendix A), aber die Resultate sind ähnlich. Die Mehrdeutigkeit dieser Messungen, ist wahrscheinlich durch die zu kleine Auflösung der benutzten Kamera verursacht.

Es hat den Anschein, dass die kleinen Bewegungen, zu denen es auf der Fingerspitze kommen sollte, eine größere Auflösung benötigen. Die Volumenänderung der Fingerspitze ist zu klein und mit dieser Ausstattung schwer beobachtbar. Eine höhere Abtastungsrate der Kamera könnte die

Bewegungen auch deutlicher machen. Ich habe die höchste Rate, die die Kamera ermöglichte gewählt, aber trotzdem scheint es nicht genügend zu sein. Bei dieser Methode geht es um kleine Bewegungen die nur ein Paar Pixel betragen, und deshalb bin ich auf solche schwierige Probleme bei der Lebendigkeitserkennung gestoßen. Wegen dieser Gründe, kann ich nicht eindeutig entscheiden, ob die vorgeschlagene Methode der Lebendigkeitserkennung der Fingerspitzen geforderte Resultate hervorbringen kann. Ich habe trotzdem die entworfene Methode getestet und teilweise die benötigten Ergebnisse erlangt. Ich habe auch eine Konfiguration der Hardware erstellt, die ermöglichte, die Fingerspitzen ohne unerwünschte Bewegungen als eine Videodatei oder Bildsequenz aufzunehmen und sorgfältig analysieren.

Das einzige Problem, das für mich schwer lösbar war, ist die Auflösung der benutzen Kamera. Ich hatte keine Möglichkeit die Qualität dieser Ausstattung rechtzeitig zu erhöhen, und deshalb sind die Resultate nur teilweise zugänglich. Die Änderungen der Fingerspitze, die gemessen wurden, sind nicht groß genug im analysiert zu werden. Die Lösung, die dieses Problem beseitigen könnte, ist mit einer besseren Ausstattung wieder neue Bildsequenzen aufzunehmen und die Hautbewegungen auf den Fingerspitzen dann zu testen.

Meine Diplomarbeit schließt auf mein Semesterprojekt an. Das Semesterprojekt hat sich den Kapiteln 1 bis 5 gewidmet. Die Erkenntnisse, die ich erlernte, wurden dann erfolgreich in der Diplomarbeit benutzt.

Zusammenfassung

Die biometrischen Systeme haben noch viele Mängel und es existieren Gebiete, die noch nicht ausreichend entwickelt sind. Ich widme mich einer der wichtigsten Themen, die heutzutage aktuell sind, und das ist die Sicherheit der biometrischen Systeme. Ich bewerte die Lösungen der möglichen Offensiven und stelle die Betonung auf optische Lebendigkeitserkennung. In beinahe allen analysierten Vorgängen finde ich Schwachpunkte, die missbraucht werden können.

Das neue vorgeschlagene Vorgehen der Lebendigkeitsdetektion sieht sehr versprechend aus. Es könnte sehr effektiv viele Sicherheitsprobleme der Fingerabdrücke lösen. Trotzdem haben sich wesentliche Hindernisse herausgestellt. Das größte Problem beim Testen und der Implementierung war die benutzte Kamera. Wegen der Auflösung der Kamera, war die Volumenänderung der Fingerspitze problematisch detektierbar und die Resultate sind deshalb mehrdeutig. Ich kann nicht eindeutig sagen, dass die detektierten Bewegungen ähnliche Periodizität wie der menschliche Herzschlag haben. Das Vorgehen könnte aber mit einer feineren Auflösung verbessert sein und genauere Ergebnisse bringen. Dennoch hat meine Diplomarbeit alle benötigten Bestandteile des Prozesses, der entworfen wurde, getestet und implementiert. In dem nächsten Schritt könnte man eine deutlich bessere Ausstattung benutzen und mit deren Hilfe alle Voraussetzungen definitiv beweisen.

Conclusions

The biometric systems still have a lot of deficiencies and there are still areas which have not been sufficiently developed so far. I dedicate time to one of the most important topics that are nowadays present, which is the security of biometric systems. I evaluate the solutions to the possible attacks and aim for the optic liveness detection. In almost every analyzed technique I have found weaknesses, which could be misused.

The new proposed method of liveness detection looks promising. It could solve many of the security problems of fingerprints. Though, there appeared substantive obstacles. The used camera caused me many problems in the testing and implementing phase. Because of the resolution of the camera, the volume changes of the fingertip could not be unambiguously detected and the results are therefore only partial. I can not definitely say that the detected movements were as periodic as the human heartbeat is. If the process had been improved with a higher resolution camera, there could be more accurate results presented. However, my thesis has tested and implemented all the necessary parts in the proposed procedure. The next step could be made with significantly better equipment, which could finally prove all assumptions.

Referenzen

[Ben00] CUMMINGS, B.: *Cardiovascular System Lab* [online]. Publishing Co., 2007, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://www.isu.edu/departments/PTA/HO111/Cardiology_selflab.pdf>.

[Dra05] DRAHANSKÝ M.: *Biometric Security Systems – Fingerprint Recognition Technology*, Dissertation Thesis, FIT-BUT, VUT Brno, 2005.

[Dra06] DRAHANSKÝ, M., NÖTZEL, R., FUNK, W.: *Liveness Detection based on Fine Movements of the Fingertip Surface* [online]. 2006, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://www.itoc.usma.edu/workshop/2006/Program/Presentations/IAW2006-03-2.pdf>.

[Drp05] DRAGULA, P.: *Recognition of 3D objects*, FIT BUT, VUT Brno, 2005.

[Gon92] GONZALEZ, R., WOODS, R.: *Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992, ISBN 0-201-60078-1.

[Hla02] HLAVÁČ, V., ŠONKA, M.: *Počítačové vidění*, s. 150-220, Grada, Praha, 2002, ISBN 80-85424-67-3

[Kra01] KÁKONA, M.: *Drawbacks of Biometric Methods* [online], 2001, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://home.i.cz/kakl/biometrics/DrawbacksofBiometricMethods.htm>.

[Klu05] KLUZ, M.: *Liveness testing in biometric systems* [online], Masaryk University Brno, 2005, [zit.2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://www.buslab.org/index.php/component/option,com_remosotory/Itemid,33/func,fileinfo/id,144/>.

[Mat02] MATSUMOTO, T.: *Impact of Artificial "Gummy" Fingers on Fingerprint Systems* [online], Yokohama National University, 2002, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <www.cryptome.org/gummy.htm>.

[NST06] NSTC Subcommittee on Biometrics: *Biometrics History* [online], NSTC, 2006, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://www.biometrics.gov/docs/biohistory.pdf>.

[Put00] VAN DER PUTTE, T., KEUNING, J.: *Biometrical Fingerprint Recognition - Don't Get Your Fingers Burned* [online], Origin Extended Enterprise, 2000, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://cryptome.org/fake-prints.htm>

[San04] SANDSTRÖM, M.: *Liveness Detection in Fingerprint Recognition Systems* [online], Linkäopings tekniska häogskola, 2004, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_se_liu_diva-2397-1__fulltext.pdf>.

[Sch00] SCHUCKERS, S.: *Issues for Liveness Detection in Biometrics* [online], West Virginia University, 2002, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://www.biometrics.org/html/bc2002_sept_program/ 2_bc0130_DerakhshabiBrief.pdf>.

[Thu05] THURAISINGHAM, B.: *Attacks on Biometrics Systems* [online], The University of Texas at Dallas, 2005, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://www.utdallas.edu/~bxt043000/course_F05/Lecture24.ppt>.

[Ulu04] ULUDAG, U., JAIN, A.: *Attacks on Biometric Systems: A Case Study in Fingerprints* [online], Michigan State University, 2004, [zit. 2007-05-01]. Verfügbar auf WWW: <http://biometrics.cse.msu.edu/Publications/SecureBiometrics/UludagJain_BiometricAttacks_SPIE04.pdf>.

Appendix A - Abbildungen

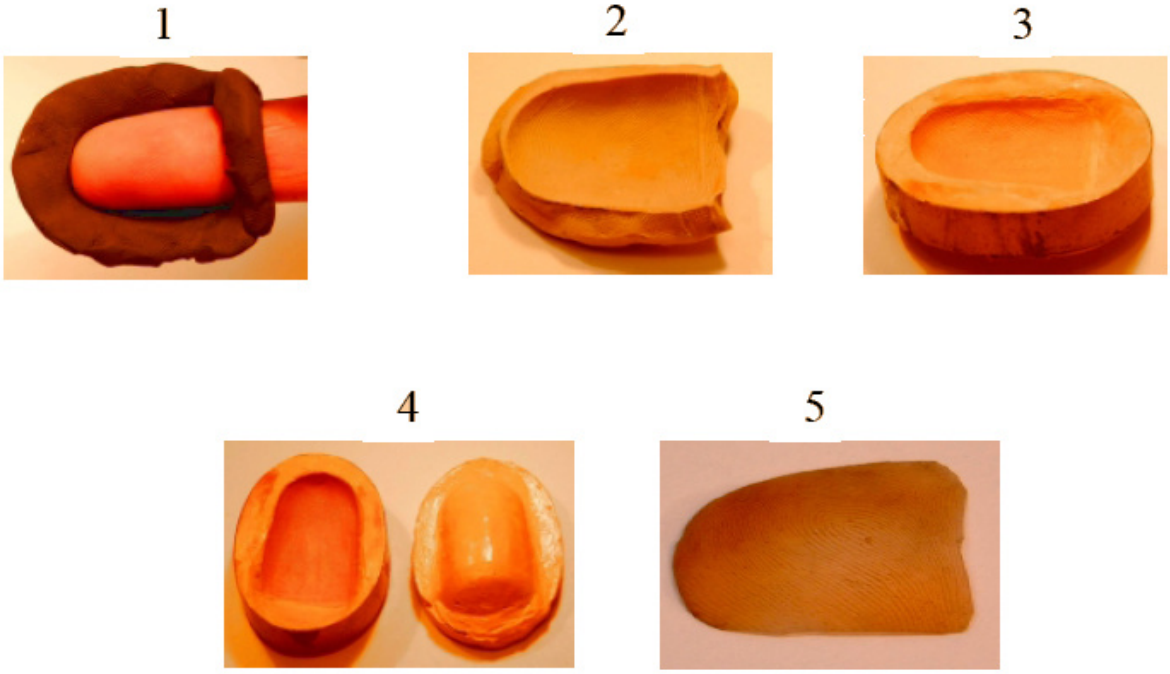

Abbildung 1 Duplikation des Fingerabdruckes mit Kooperation [Put00]

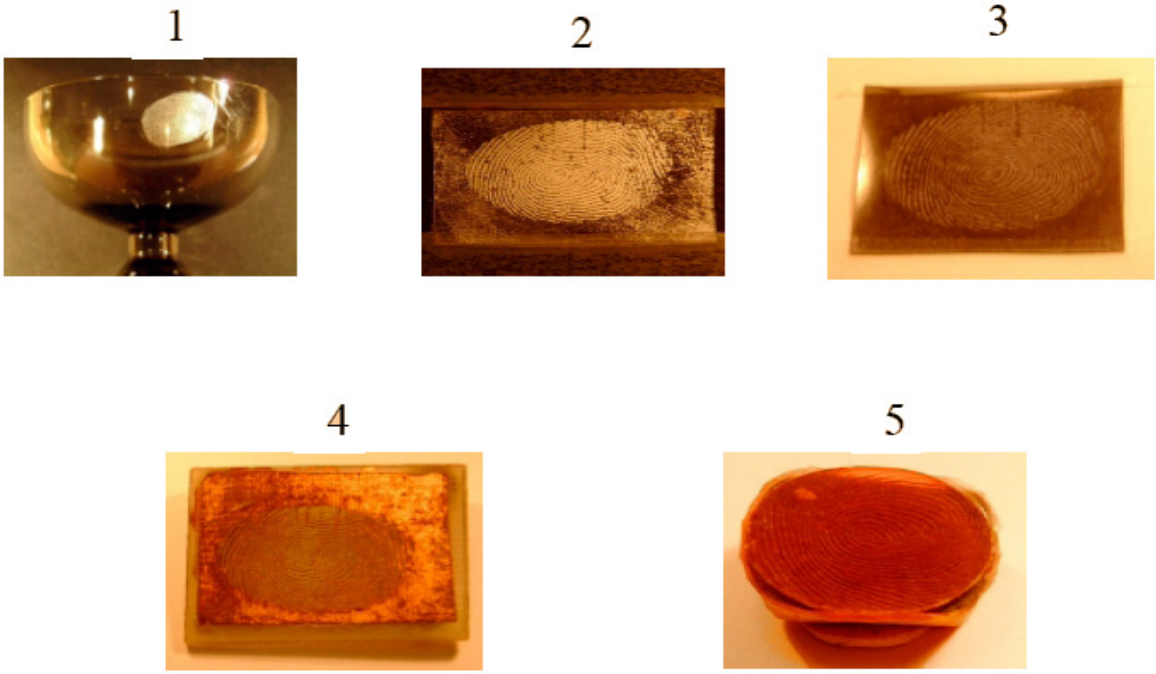

Abbildung 2 Duplikation ohne Kooperation [Put00]

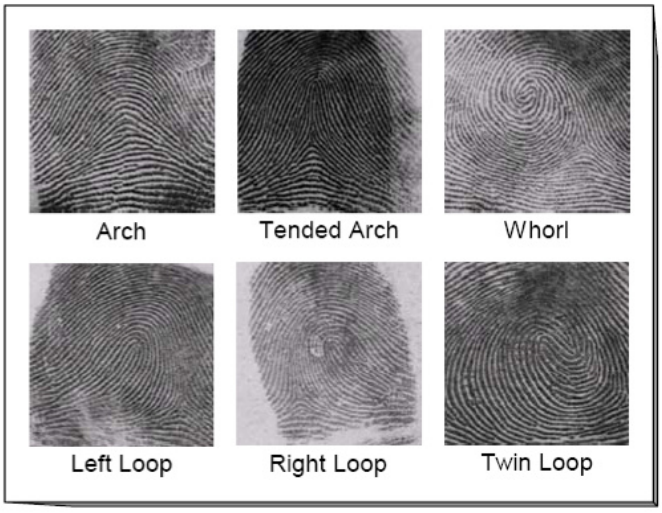

Abbildung 3 Verschiedene Fingerabdrücke [Dra05]

Abbildung 4 Verschiedene Fingerabdruck-Scanner

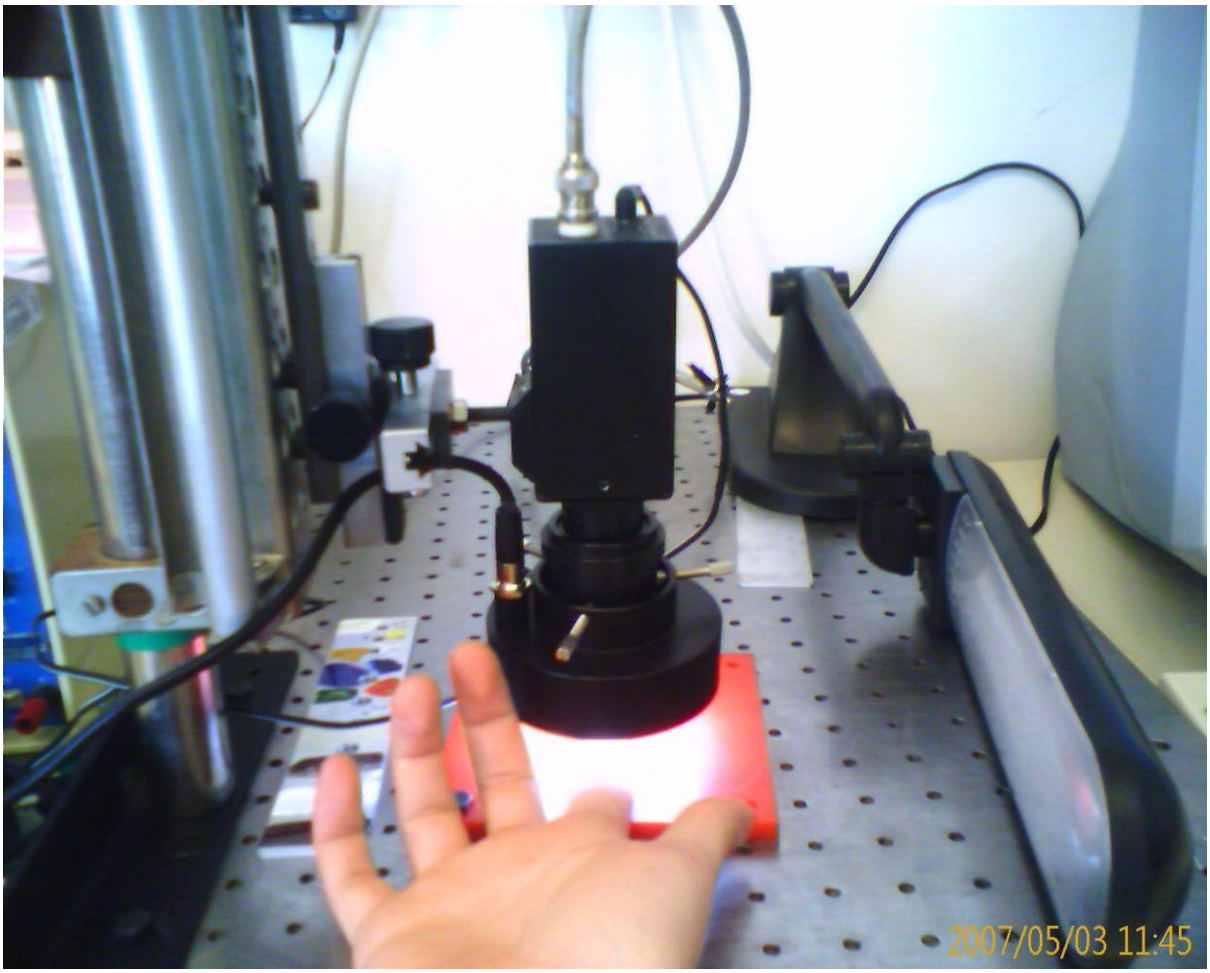

Abbildung 5 Prozess der Aufnahme der Bildersequenzen

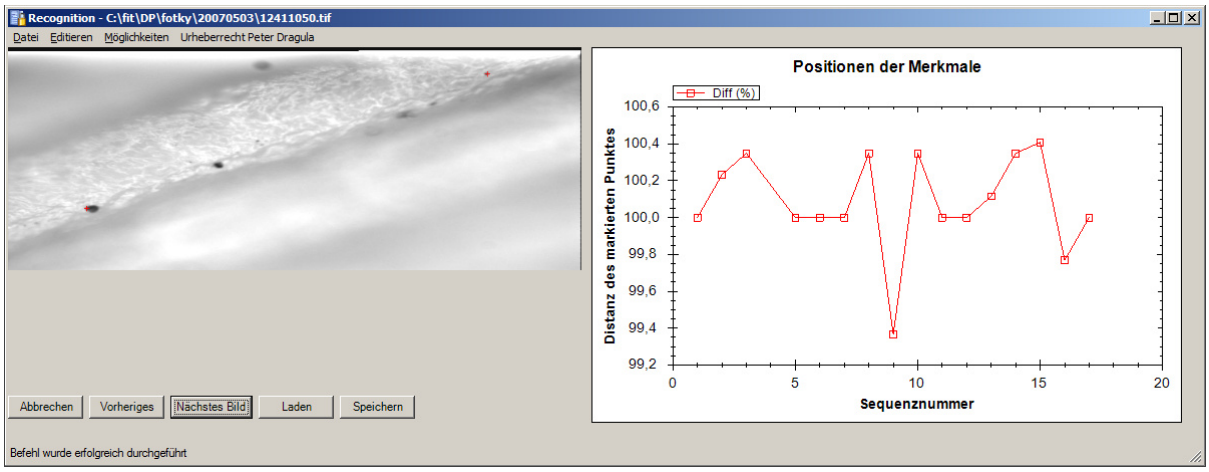

Abbildung 6 Auf dem Graph aufgetragen Hautbewegungen der Fingerspitze – SERIES002

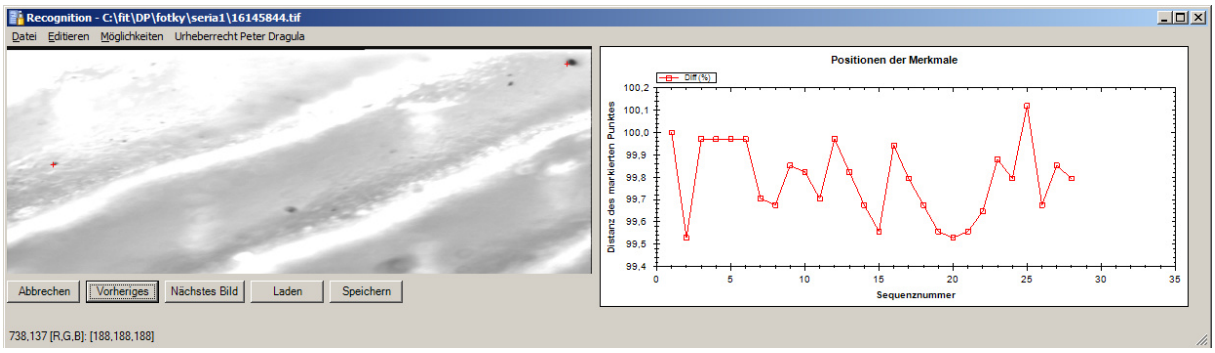

Abbildung 7 Manuell markierte Punkte und deren Distanzänderung

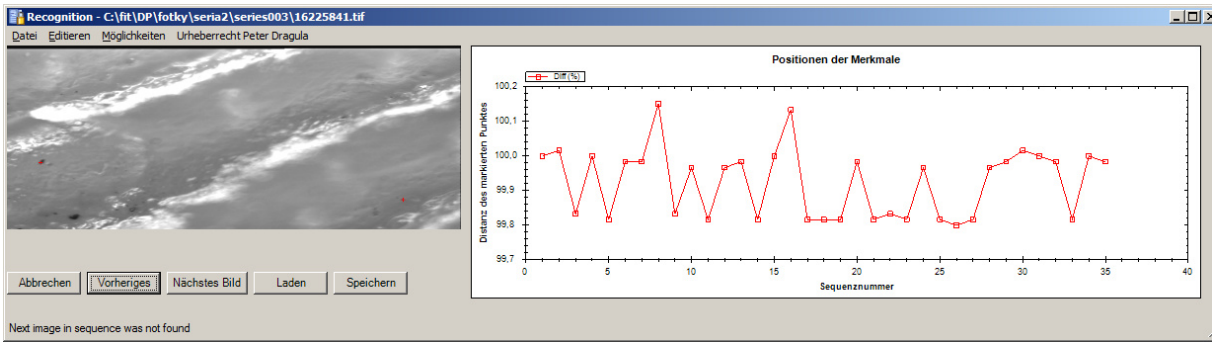

Abbildung 8 Detektierte Bewegungen der Bilder von SERIES003

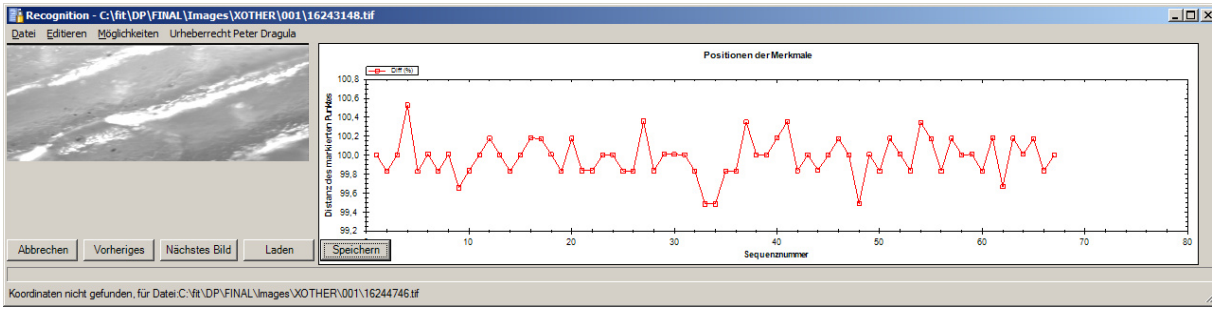

Abbildung 9 Eine längere Sequenz, die Periodizität wird aber nicht gesehen

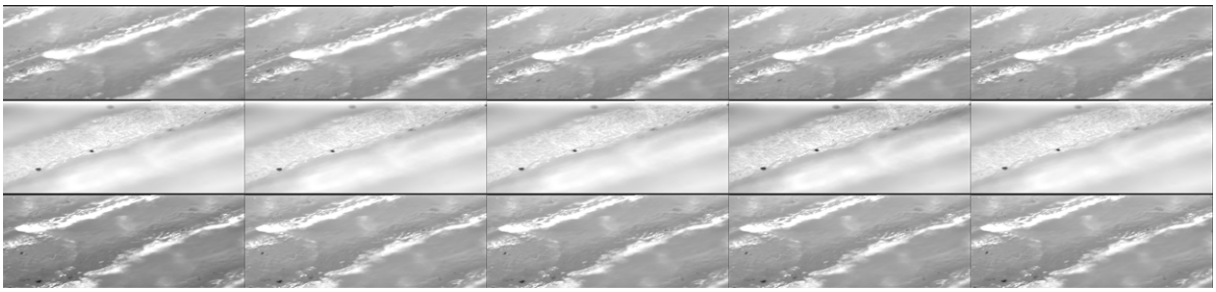

Abbildung 10 Drei benutzten Sequenzen (von Oben nach unten, SERIES001, SERIES002, SERIES003)

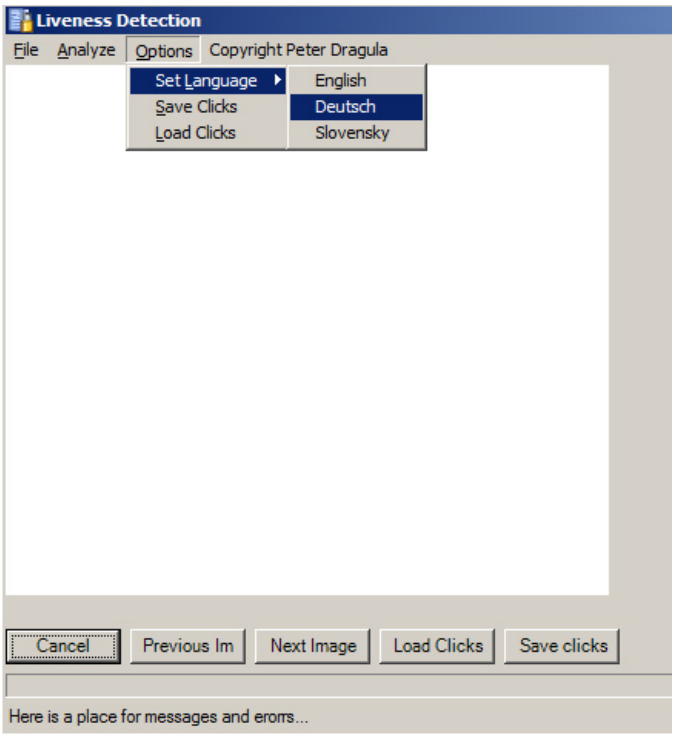

Abbildung 11 Das GUI ist in drei Sprachen verfügbar – Deutsch, Englisch und Slowakisch

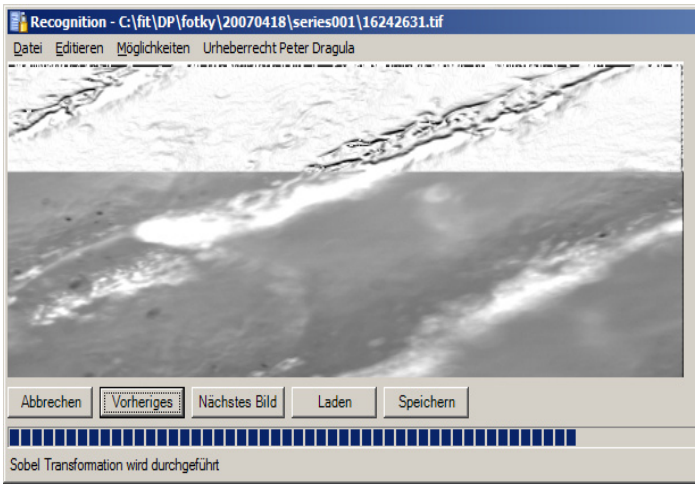

Abbildung 12 Sobel Kantendetektion

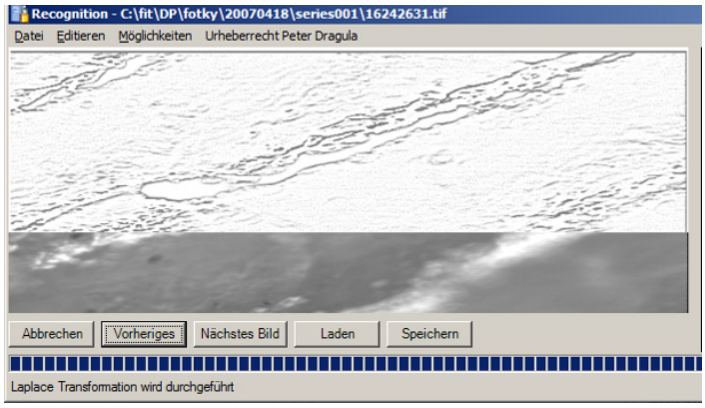

Abbildung 13 Laplace Kantendetektion