

Martin Drahanský, Ondřej Kanich, Radim Pernický, Štěpánka Barotová

Verarbeitung von beschädigten Fingerabdrücken in der polizeilichen Praxis

Was uns die Fingerabdrücke vom Tatort verraten.

Erkrankungen oder Beschädigungen der Papillarlinien können die Täter eindeutig identifizieren. Das Ziel des Artikels ist es, die dabei verwendeten Prinzipien der Fingerabdruckverarbeitung in der kriminalistischen Praxis zu erklären. Diese

Fingerabdrücke werden aufwendig algorithmisch verarbeitet, ebenso wird die Generierung von synthetischen Fingerabdrücken diskutiert.

Dieser Artikel befasst sich mit der Aufnahme von Fingerabdrücken zu polizeilichen Zwecken sowie mit möglichen Beschädigungen des Fingers (z. B. durch äußere Einflüsse, Erkrankungen), die oft auch am Tatort vorzufinden sind. Er beschäftigt sich außerdem mit einer automatisierten Verarbeitung dieser Fingerabdrücke samt einer Generierung von synthetischen Fingerabdrücken mit simulierten Beschädigungen. Das Ziel ist es, die Prinzipien der Fingerabdruckverarbeitung in der kriminalistischen Praxis zu erklären. Am Tatort werden die Fingerabdrücke eines potentiellen Täters aufgenommen, in welchen (in der Tschechischen Republik) nicht nur die Übereinstimmung von minimal zehn Minuzien mit einem bereits gespeicherten Fingerabdruck gesucht wird, sondern genau solche Anomalien von Interesse sind, die mit einer ziemlich hohen Wahrscheinlichkeit einen konkreten Täter verraten können. Diese Anomalien können beispielsweise durch unterschiedliche Erkrankungen oder Einflüsse der Umgebung (z. B. schwere manuelle Arbeit) begründet sein, die Einfluss auf die Hautstruktur (Struktur der Papillarlinien) haben. Diese Fingerabdrücke weisen eine aufwendige algorithmische Verarbeitung auf, wobei dieses Problem im Artikel ebenso diskutiert wird wie die Generierung von synthetischen Fingerabdrücken.



Martin Drahanský

arbeitet als Dozent an der Fakultät für Informationstechnologien (CZ) der Technischen Universität in Brunn. Weitere Informationen unter <http://www.fit.vutbr.cz/~drahan>

E-Mail: drahan@fit.vutbr.cz



Radim Pernický

arbeitet seit zehn Jahren bei der tschechischen Kriminalpolizei als Forensik-Experte für Daktyloskopie. Zudem ist er Koordinator für Daktyloskopie in drei Regionen der Tschechischen Republik

E-Mail: radim.pernicky@pcr.cz



Ondřej Kanich

ist Doktorand an der Fakultät für Informationstechnologien (CZ) der Technischen Universität in Brunn. Sein Hauptinteresse gilt den biometrischen Systemen und besonders der Fingerabdruckerkennung

E-Mail: ikanich@fit.vutbr.cz



Štěpánka Barotová

ist Bachelorstudentin an der Fakultät für Informationstechnologien (CZ) der Technischen Universität in Brunn. Ihr Hauptinteresse gilt den biometrischen Systemen und besonders der Fingerabdruckerkennung

E-Mail: xbarot00@stud.fit.vutbr.cz

1 Methoden der Sichtbarmachung und Gewinnung von daktyloskopischen Spuren

Zur Sichtbarmachung der latenten daktyloskopischen Spuren werden überwiegend physikalische, physikalisch-chemische und chemische Methoden verwendet. Für die Aufnahme der Fingerabdrücke werden daktyloskopische Karten und elektronische Scanner benutzt, deren Beschreibung aber den Rahmen dieses

Artikels übersteigt – Einzelheiten dazu können z. B. in [1] und [2] gefunden werden.

1.1 Physikalische Methoden – daktyloskopische Pulver

Diese Methoden eignen sich zur Sichtbarmachung der daktyloskopischen Spuren auf glatten Oberflächen (Glas, glatter Kunststoff, lackiertes Holz usw.).

Das Prinzip dieser Methoden ist die Absorption von physikalischem Pulver auf die Bestandteile der hinterlassenen daktyloskopischen Spur. Hier wird die Klebrigkeit des hinterlassenen Fingerabdrucks genutzt, auf welchem das feine Pulver haftet. Heutzutage existiert eine umfangreiche Skala von daktyloskopischen Pulvern, beginnend mit einem fein gemahlten Aluminium (Argentoratus) [3], über magnetische Pulver, bis zu den Pulvern aus metallischen und nicht metallischen Substanzen (z. B. Grafit, Bronze, Aktivkohle usw.) – ein Beispiel ist in Abb. 1.1 dargestellt.

Diese Pulver haben wegen der Applikation auf verschiedenfarbigen Untergründen unterschiedliche Farben, zudem gibt es die Möglichkeit der Fluoreszenz. Von den vielen Farben wird Schwarz am häufigsten verwendet, dahinter liegt Silber mit Weiß.

Abbildung 1.1 | Beispiele für daktyloskopische Pulver.



1.2 Applikatoren für die Auftragung von daktyloskopischen Pulvern

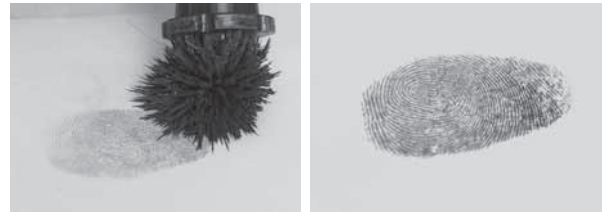
Daktyloskopische Pulver werden mit Pinseln aufgetragen, wobei sehr vorsichtig vorgegangen werden muss, damit die Spur nicht vernichtet oder verschmiert wird. Beispiele für daktyloskopische Pinsel sind in Abb. 1.2 zu sehen.

Abbildung 1.2 | Beispiele für Applikatoren von daktyloskopischen Pulvern.



Diese Pinsel bestehen aus unterschiedlichen Materialien wie z. B. Glasfasern, Marabufedern, Eichhörnchen- oder auch Kamelhaar. Magnetische Pulver [3][4] werden unter Zuhilfenahme eines speziellen magnetischen Applikators aufgetragen. Abb. 1.3 zeigt die Sichtbarmachung einer auf Papier hinterlassenen daktyloskopischen Spur mittels eines magnetischen Pulvers und eines Applikators.

Abbildung 1.3 | Sichtbarmachung der Spur mittels eines magnetischen Pulvers.



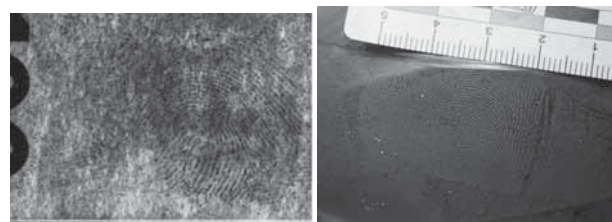
1.3 Chemische Methoden

Chemische Methoden basieren darauf, dass es zu einer chemischen Reaktion zwischen den chemischen daktyloskopischen Mitteln und den Bestandteilen des menschlichen Schweißes kommt. Die menschliche Schweißsubstanz besteht in chemischer Hinsicht zu 98% aus Wasser und zu 2% aus anderen Verbindungen (Aminosäure, Salz, Fett usw.) [5].

Die jeweilige Zusammensetzung der Schweißsubstanz des Menschen hängt vom Ort ihres Auftretens ab und zeigt auf den Fingern, am Hals oder in der Achsel deutliche Unterschiede.

Eine wichtige Tatsache darf nicht außer Acht gelassen werden. Die Zusammensetzung der Schweißsubstanz beeinflussen auch der gesundheitliche Zustand und die Medikation der Person. Aufgrund dieses Umstands kann es dazu kommen, dass ein Pulver bei einer Person die daktyloskopische Spur problemlos sichtbar macht, während es bei einer anderen hingegen kaum funktioniert. Deswegen entwickeln Forscher und Kriminalisten neue Methoden und Wege, um diese Faktoren eliminieren zu können. Zurzeit werden mehrere Methoden für die Sichtbarmachung der latenten daktyloskopischen Spuren in der Praxis verwendet. Am häufigsten werden folgende chemische Substanzen benutzt [3][4]: Ninhydrin, Joddampf, AgNO_3 und Ester der Cyanoakrylsäure, weiter die fertigen Mittel Wet Powder, Oil Red O, WetPrint auf Molybdänbasis, DFO und andere. Der Jod- und der Cyanoakrylatdampf gehören eher zu den physikalisch-chemischen Methoden [3]. Ein Beispiel der Sichtbarmachung einer latenten Spur zeigt Abb. 1.4.

Abbildung 1.4 | Entwicklung von latenten daktyloskopischen Spuren mittels Ninhydrin (links) und Cyanoakrylatdampf (rechts).



1.4 Suchvorgang und Sicherstellung von daktyloskopischen Spuren

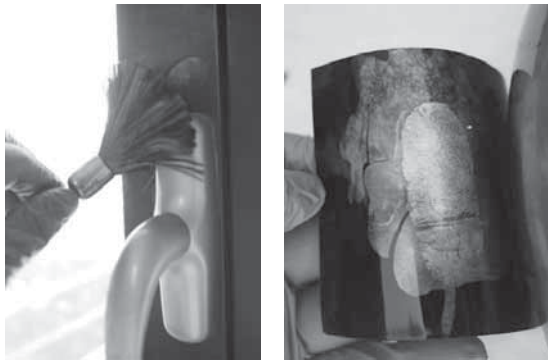
Die Hauptaufgaben der Kriminaltechniker vor Ort sind die Suche und die Sicherstellung von daktyloskopischen Spuren am Tatort – siehe [4][6]. Sichtbargemachte Spuren werden stets mit einem Maßstab fotografisch dokumentiert.

Solche Spuren, die mit dem menschlichen Auge unter herkömmlicher Beleuchtung nicht zu finden sind, werden unter einer speziellen Beleuchtung mit variierenden Wellenlängen gesucht. Diese Lichtquellen sind auch zur Auffindung von Spuren geeignet, die mittels eines fluoreszierenden Pulvers sichtbar gemacht wurden, wobei diese im Anschluss fotografisch gut dokumentiert werden können.

Neben dieser Methode lassen sich auch Auftragungen von daktyloskopischen Pulvern oder einige chemische Methoden Erfolg versprechend anwenden.

Falls es die Situation ermöglicht, wird der komplette gesicherte Gegenstand (z. B. Pistole, Brieftasche, Flasche, Verpackungsmaterial von narkotischen und psychotropen Stoffen) zur Analyse ins Labor gesandt, weil die Laborbedingungen für die Entwicklung von latenten daktyloskopischen Spuren immer günstiger sind als im Gelände.

Abbildung 1.5 | Suche nach daktyloskopischen Spuren am Tatort (links) und Sicherstellung der Spur auf Gelatinefolie (rechts).



Falls die daktyloskopische Spur mittels daktyloskopischer Pulver erfolgreich sichtbar gemacht wurde, muss diese fotografisch dokumentiert und dann auf eine daktyloskopische Folie aufgetragen werden – hier findet oft eine schwarze Gelatinefolie mit einer klebrigen Oberfläche (siehe Abb. 1.5) Anwendung. Diese gesicherte Spur ist seitlich gedreht, was der Experte bei der anschließenden Auswertung und dem Vergleich berücksichtigen muss. Die Spurenauswertung erfolgt am Anfang mittels einer daktyloskopischen Lupe und dann mittels eines Komparationsgeräts (siehe Abb. 1.6). Dieses Gerät kann die Spur und den zu vergleichenden Fingerabdruck bis zu sechsmal vergrößern; dann werden beide Bilder miteinander verglichen. Der daktyloskopische Experte sucht in beiden Bildern nach einander entsprechenden Minuzien, wobei diese mit einem Stift markiert werden. Falls mindestens zehn eindeutig identifizierte Minuzien gefunden werden (so die einschlägigen Bestimmungen in der Tschechischen Republik), kann der Experte die Übereinstimmung dieser beiden Fingerabdrücke feststellen. Falls nur 7 bis 9 Minuzien gefunden werden, handelt es sich um eine teilweise brauchbare Spur. Bei weniger als 7 Minuzien handelt es sich um eine unbrauchbare Spur. Andere Länder definieren die Minuzienanzahl für eine eindeutige Identifizierung unterschiedlich – meistens schwankt die Zahl zwischen 10 und 13.

Der nächste Schritt im Vergleich ist die Benutzung der zentralen datenbankbasierten automatischen Vergleichssoftware für Fingerabdrücke – AFIS BIS (siehe Unterkapitel 1.5).



Endpoint Security

Secure Authentication

DESlock Encryption by ESET

File Security

Gateway Security

Mail Security

**Mit ESET werden Sie
Datenschutz sicher lieben!**

IT-Sicherheit für das ganze Unternehmen.

Mobile Security

Endpoint Antivirus

Sharepoint Security

Remote Administrator

Virtual Machine

MSP Program

dsgvo.eset.de

BEWÄHRT. SICHER. AUSGEZEICHNET.

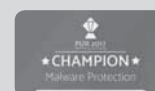


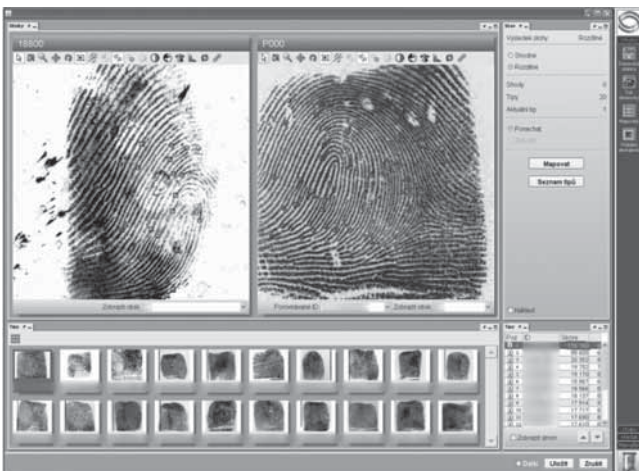
Abbildung 1.6 | Komparationsgerät (Vergleich von daktyloskopischen Spuren zweier Fingerabdrücke).



1.5 AFIS BIS

Weil die Kriminalität zu Anfang der 1990er Jahre zunahm, wurde in der Tschechischen Republik 1994 die daktyloskopische Identifikationssoftware AFIS 2000 [4][7] der amerikanischen Firma Printrak eingesetzt: Diese Software wurde bis heute mehrmals aktualisiert. Momentan verwenden die Kriminalisten eine Version der Software AFIS BIS, die auch Handflächenabdrücke verarbeiten kann und mit den Systemen anderer EU-Staaten kompatibel ist.

Abbildung 1.7 | Vergleich mittels AFIS BIS Software.



Dieses System bietet etwa 30 der wahrscheinlichsten Übereinstimmungen von Fingerabdrücken an. Letztendlich muss diese aber noch immer der Experte manuell auswerten und unter Zuhilfenahme des Komparationsgeräts deren Übereinstimmung mit einem konkreten Fingerabdruck bestätigen. Hier dürfen die „kriminalistischen“ TV-Serien nicht ernst genommen werden, in denen das Computersystem in sehr kurzer Zeit die vorgegebene Spur auswertet, sofort die Übereinstimmung findet und gleich die

kompletten Personalien (samt Geburtsort, Blutgruppe und Familienstand) des Täters ausdrückt.

2 Übersicht der Beschädigungen von Fingerabdrücken

In diesem Teil werden unterschiedliche Beschädigungen von Fingerabdrücken beschrieben; diese sind nicht nur bei von den Kriminalisten am Tatort aufgenommenen Fingerabdrücken, sondern auch in herkömmlichen fingerabdruckbasierten Zutrittsystemen zu finden, weil deren Vorkommen auf unterschiedlichen, ganz alltäglichen Faktoren beruht.

2.1 Fingerabdruckbeschädigung aus der Umgebung

Die Fingerabdruckbeschädigung kann in mehrere Gruppen eingeteilt werden. Die meisten Beschädigungen können beliebig kombiniert werden, wodurch ein Fingerabdruck entsteht, der sich von dem perfekten Vorbild, das in einem wirklich idealen Fall aufgenommen werden könnte, stark unterscheidet.

Die erste Gruppe ist eng mit dem Finger und dessen Zustand verbunden. Der Finger kann einfach **verschmutzt** werden. Es kann sich um kleine Unreinheiten, Staub oder einen eingefeteten Finger handeln – der Unterschied zu einem sauberen Finger kann gewaltig sein. Die Änderungen sind von der Schmutzart und der Aufnahmemethode abhängig. Weitere Einflüsse sind **trockene** oder **feuchte Finger**. Schweiß und andere dazugehörige Einflüsse halten den Finger in einem konkreten Zustand [8] – falls der Finger trocken oder feucht wird, kann es ernsthafte Probleme verursachen. Die Papillarlinien sind in einem trockenen Finger dünn und kaum sichtbar. Im Gegenteil, auf einem feuchten Finger sind die Papillarlinien breit und können ineinander fließen. Eine Kombination von den vorher genannten Beschädigungen (Schmutz und Feuchtigkeit) ist der von einer *Creme* oder einem *Detergens* befeuchtete Finger. Einige Beispiele sind in Abb. 2.1 dargestellt. Die gleichen Ergebnisse lassen sich mit flüssiger Seife, Hydratationskrem, Öl oder Geschirrspülmittel erzielen. Die Papillarlinien sind breiter und im Fingerabdruck tauchen ab und zu größere schwarze Flächen auf, die keine Papillarlinien enthalten – diese verfließen ineinander. Einige andere Reinigungsmittel können aufgrund der Hauttrocknung und ihres Granulatgehalts eine andere Wirkung erzielen – einige Teile des Fingerabdrucks werden nicht aufgenommen. Der physische Zustand des Fingers ist naturgemäß ebenfalls von Bedeutung – falls der Finger infolge einer **Verletzung** oder **Erkrankung** beschädigt ist, ist es im Fingerabdruck natürlich gut zu erkennen. Das Unterkapitel 2.2 widmet sich dieser Problematik eingehender. [9][10][11]

Abbildung 2.1 | Unterschiede zwischen Fingerabdrücken: (a) trocken, (b) feucht, (c) normal, (d) mit Krem.



Die zweite Gruppe ist der ersten sehr nah, und das ist das Verhalten der Person (des Täters) während der Aufnahme. Den größten Einfluss in dieser Gruppe hat der **Druck**. Die Druckänderung auf den Finger während der Aufnahme kann den Unterschied zwischen feinen, dünnen und hellen Papillarlinien und im anderen Extrem breiten, dunklen und fast nicht existierenden Zwischenlinien herbeiführen [8]. Kontaktlose Aufnahmetechnologien können diesen Einfluss eliminieren, weil der aufzunehmende Bereich nicht in Kontakt mit dem Gerät oder einem anderen Gegenstand kommt. Durch eine Drehung oder ungenaue Positionierung des Fingers kann auch der **abgedruckte Bereich** beeinflusst werden. Der Teil des Fingers, der den Gegenstand oder Sensor nicht berührt hat, wird selbstverständlich auch im Fingerabdruck nicht zu finden sein. Geringer Druck und eine ungeeignete Kontaktfläche zeigt Abb. 2.2.

Abbildung 2.2 | Beschädigte Fingerabdrücke durch (a) geringen Druck und (b) eine ungeeignete Kontaktfläche.



Der abschließende Einfluss dieser Gruppe ist das **nicht kooperative Verhalten** der Person – ganz zu schweigen davon, dass die Person hinterlassene Fingerabdrücke stark beeinflussen kann, falls sie diese nicht (von der Polizei) aufnehmen lassen oder am Tatort hinterlassen will. Oft kommt es dazu, dass diese Person einen verdrehten und verschobenen Finger präsentiert, während der Aufnahme den Finger dynamisch bewegt und den Druck und die Kontaktfläche verändert, oder den Finger mittels einer der Möglichkeiten aus der ersten Gruppe beschädigt. In Extremfällen verletzt sich die Person absichtlich die Fingerfläche, um die Papillarlinien unsichtbar zu machen, oder verwendet eine Fälschung (Nachbildung) des realen Fingers einer anderen Person. [9][11] Die dritte und vierte Gruppe sind sehr eng mit elektronischen Scannern verbunden, deren Beschreibung aber das Ausmaß dieses Artikels überschreitet. Der Vollständigkeit halber werden hier die Möglichkeiten aufgelistet [9][11]: Schmutz auf der Sensoroberfläche, latenter Fingerabdruck auf der Sensoroberfläche (oft vom vorherigen Benutzer), Umgebung – Vibrationen, Temperatur, Beleuchtung und elektromagnetische Strahlung.

2.2 Fingerabdruckbeschädigung mittels Verletzung oder Erkrankung

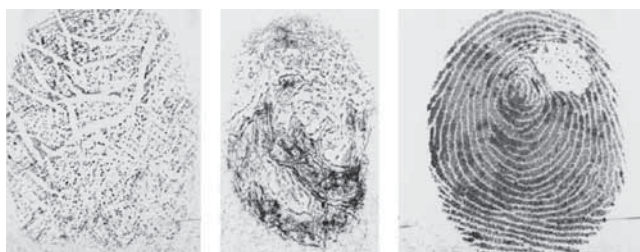
Vor der konkreten Beschreibung der Erkrankung oder Verletzung ist es notwendig, die Hautstruktur zu erklären. Unsere Haut hat drei Teile – *Epidermis* (Außenschicht), *Dermis* („echte Haut“) und *Lederhaut* (Fettschicht) [8][4]. Die Haut regeneriert regelmäßig – dieser Prozess verläuft so, dass die Hautzelle (Keratinocyt) in den unteren Schichten der Epidermis ihren Weg beginnt, wo sie aus den Arterien der Dermis mit Blut versorgt wird. Durch die Entstehung von neuen Hautzellen wird diese ältere Zelle nach

oben gepresst. Weil die Epidermis nicht mit Blut versorgt wird, verändert sich die Hautzelle fortlaufend. Sie wird dünner, und wenn sie die oberste Schicht der Epidermis erreicht, stirbt sie und löst sich ab. Die Struktur des Fingerabdrucks entspricht der Struktur von Papillen, die in der Dermis geprägt sind. Die Hautzellen halten dann nur diese Struktur ein. [8][4]

Für uns sind allein solche Verletzungen und Erkrankungen von Bedeutung, die die Strukturen in der Dermis und Epidermis angreifen. Falls die Verletzung oder Erkrankung nur die oberste Schicht der Epidermis angreift, bleibt die Struktur des Fingerabdrucks unverändert. Im Gegenteil, falls die dermale Schicht beschädigt wird, d. h. einzelne Papillen auf der Grenzfläche zwischen der dermalen und der epidermalen Schicht, dann ist die Struktur des Fingerabdrucks für immer verändert. Diese einfache Regel umfasst alle Verletzungsarten. Ein Beispiel kann eine Schnittwunde im Finger sein – eine oberflächliche Schnittwunde beschädigt nur die Zellen der obersten Schicht. Diese sterben danach ab, und die neuen reproduzieren dieselbe Papillarlinienstruktur. Im Gegensatz dazu bedeutet eine tiefe Schnittwunde die Beschädigung der dermalen Schicht, was zu einer Narbe auf der Fingerkuppe führt. [8][4]

Wir unterscheiden drei Kategorien von Hauterkrankungen. Die erste Kategorie sind *histopathologische Veränderungen in der Epidermis oder der Dermis*. Diese beeinflussen entweder die Farbe oder die innere Struktur der Haut. Die häufigsten Vertreter sind [12][13]: Hand- und Fingerekzem, Dyshidrosis, Tinea, Pyoderma, Pyogenic granuloma oder das Raynaud-Phänomenon. Die zweite Kategorie sind solche Erkrankungen, die eine Farbänderung der Haut verursachen. Alle optischen Technologien bei elektronischen Scannern von Fingerabdrücken (und auch Lebenderkennungsmethoden mit optischer Auswertung) sind davon betroffen. Die häufigsten Vertreter sind [12][13]: Infektionskrankheiten, die Ausschläge und Eruptionen verursachen (Erkrankung von Hand, Fuß und Mund, Scarlet-Fieber, sekundäre Syphilis, Kawasaki-Erkrankung), weiter Xanthomas, Carotenosis und wiederum das Raynaud-Phänomenon. Die dritte Kategorie sind dann solche Erkrankungen, die *histopathologische Veränderungen zwischen der Epidermis und der Dermis* verursachen. Diese Erkrankungen können die innere Struktur der Dermis beschädigen, was zu bleibenden Veränderungen führt. Die häufigsten Vertreter sind [12][13]: Handekzeme, Warzen (*verruca vulgaris*), Psoriasis oder Epidermolysis bullosa. Beispiele aller Kategorien sind in Abb. 2.3 zu sehen.

Abbildung 2.3 | Erkrankungsbeispiele (a) Fingerekzem, (b) Psoriasis, (c) Warze.



Zusammen mit den Dermatologen aus dem Brünner St.-Annen-Universitätskrankenhaus, dem Universitätskrankenhaus in Olmütz und der Klinik in Darmstadt haben wir eine Datenbank mit erkrankten Fingerabdrücken erstellt, um zu verstehen, welcher

Einfluss reale Erkrankungen auf die Fingerabdruckerkenner haben. Die Datenbank enthält Fingerabdruckbilder, die mithilfe von optischer kontaktloser 3D-Technologie, von Schub- und kapazitiven Sensoren und einem digitalen Mikroskop gewonnen wurden, wobei einige Arbeitsplätze auch daktyloskopische Papierkarten aufgenommen haben. Jedes Bild enthält noch anonymisierte Zusatzinformationen über den Patienten und die Art und Schwere der Erkrankung. Die Datenbank enthält Tausende von Fingerabdrücken, aus denen erschlossen werden kann, welche Erkrankungen welche konkreten Einflüsse auf die Verarbeitung der Fingerabdruckbilder haben.

Eine spezielle Art der Beschädigung zeigt sich bei der Verwendung von Fingerabdruckfälschungen. Diese weisen ganz spezifische Bildschäden auf. Die Fälschungen können aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden, die einfach zu produzieren sind und menschenhautähnliche Eigenschaften aufweisen. Diese Materialien werden dann auf eine Form aufgetragen, wo nach dem Trocknen die Fälschung entsteht. Für die Form eines realen Fingers werden Wachse verwendet, für die gefälschten Abdrücke aus einem digitalen Fingerabdruckbild dann Leiterplatten. Das Material wird aus der Form abgetragen, und die Fälschung ist relativ schnell fertig. Bei diesem Prozess entstehen aber unterschiedliche Beschädigungen (z. B. Luftblasen oder zu scharfe Kanten). In Abb. 2.4 sind solche Fingerabdruckfälschungen dargestellt. [8][14][15]

Abbildung 2.4 | Fingerabdrücke unterschiedlicher Fälschungen.



3 Automatische Detektion der Erkrankung im Fingerabdruck

In diesem Teil werden die Algorithmen für die Detektion einer Erkrankung auf dem Finger (generell Detektor für Papillarlinienbeschädigung) und für die simulierte Generierung einer Erkrankung in synthetische Fingerabdrücke beschrieben.

3.1 Lokalisierung und Detektion von Hauterkrankung

An Hand der Fingerabdrücke aus unserer einzigartigen Datenbank wurde ein Detektor von beschädigten Flächen im Fingerabdruckbild entworfen und implementiert. Dieser Detektor kann drei Flächenarten unterscheiden: *Hintergrund*, „wahrscheinlich gesund/unbeschädigt“ und „wahrscheinlich ungesund/beschädigt“.

Der Detektor verwendet eine Kombination von drei unterschiedlichen Methoden, wobei die beiden ersten auf der Arbeit mit globalen Charakteristiken $n \times n$ der Unterbereiche des Bildes basieren und die dritte mit einzelnen Pixeln arbeitet. Jede einzelne dieser Methoden bringt nützliche Ergebnisse, wobei die Kombination eine höhere Genauigkeit bei der Detektion von beschädigten Flächen aufweist. [16]

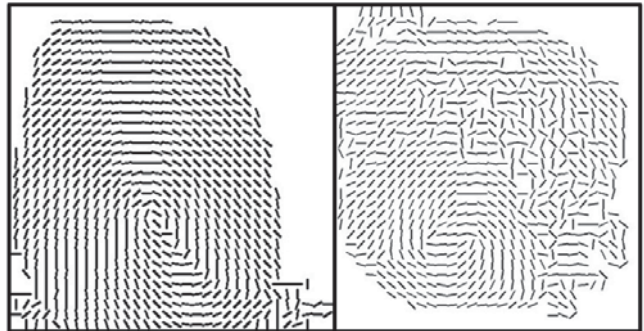
Die erste Methode verwendet die Berechnung des **Blockorientierungsfeldes**, welches zur Einschätzung der Orientierungen der Papillarlinien im Fingerabdruck für den Extraktionsprozess der Minuzien dient. Das Orientierungsfeld ist ein Feld von Bildgradienten, die für jedes Pixel (i,j) berechnet werden, wobei das Blockorientierungsfeld diese Gradienten in größeren Blöcken $n \times n$ Pixel summiert.

Bei der Berechnung wurden die Gleichungen aus [17] benutzt, die die Methode mit Gradienten definieren. Der Algorithmus sieht dann folgendermaßen aus:

1. Berechnung der Gradienten $\delta_x(i,j)$ und $\delta_y(i,j)$ für jedes Pixel (i,j) mittels eines Gradienten-Operators – in unserem Fall des Sobel-Operators.
2. Aufteilung des ursprünglichen Bildes auf Blöcke mit $n \times n$ Pixel.
3. Berechnung der Einschätzungen $\theta(i,j)$ der Papillarlinienrichtungen für jeden Block mit dem Mittelpunkt in (i,j) .

Eine Visualisierung dieses Blockorientierungsfeldes bei einem nicht beschädigten Fingerabdruck weist häufig einen kontinuierlichen Ablauf der Orientierungen auf. In beschädigten Fingerabdrücken lässt sich sofort erkennen, dass die Orientierungen (Gradienten) nicht aneinander anschließen (Abb. 3.1). Die eigene Detektion baut auf dieser Hypothese auf.

Abbildung 3.1 | Blockorientierungsfeld eines nicht beschädigten (links) und eines beschädigten (rechts) Fingerabdrucks.

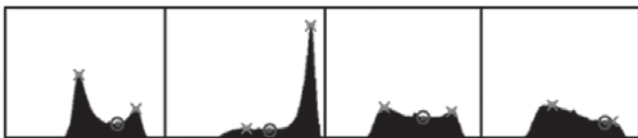


Im Sequenzverfahren wurden im Blockorientierungsfeld Anomalien detektiert, d. h. Blöcke, welche die Bedingung $\theta(i,j) - \theta(i,j+1) \leq 45^\circ$ in Reihen- oder Spaltenrichtung nicht erfüllen. Weiter wurden Optimierungstechniken für die Entfernung eines isolierten diskontinuierlichen Blocks, die Detektion eines isolierten unbekanntes Blocks sowie verketteter Blöcke, die mehrfache Orientierungsveränderungen aufweisen, implementiert. Dieser Algorithmus ermöglicht die Detektion der meistbeschädigten Flächen und deren Position und Größe. Das ist wichtig für die Detektion von größeren Flächen und deren Trennung von dem nicht beschädigten (also gesunden) Teil des Fingerabdrucks.

Die zweite Methode beruht auf der **Analyse der Histogramme**, die für $n \times n$ Blöcke des Originalbildes des Fingerabdrucks berechnet werden. Diese Methode ist experimentell und geht davon aus, dass die Verteilung der Pixel im bimodalen Histogramm in einem nicht beschädigten Bild ungefähr gleich ist – die schwarzen Punkte (Papillarlinien) bilden eine Häufung im Histogramm und die weißen (Hintergrund) die andere. Das gleiche gilt auch

für Unterhistogramme des Bildes (für jeden Block) – also zwei Hügel (links und rechts), die ein Tal dazwischen verbindet.

Abbildung 3.2 | Histogramm aus einem unbeschädigten Block (links) und 3 Histogramme aus beschädigten Blöcken.



Bei beschädigten Blöcken sieht das Histogramm oft (aber nicht immer) ganz anders aus – es sind mehrere Hügel zu sehen, das Tal fehlt komplett, oder einer der Hügel ist zu groß oder zu klein usw. In Abb. 3.2 sind Beispiele für nicht beschädigte und beschädigte Blöcke dargestellt, wobei unser Algorithmus einfach testet, ob das Histogramm dem Histogramm eines nicht beschädigten Blocks ähnelt. Die Daten für ein Histogramm des nicht beschädigten Fingerblocks wurden aus mehreren Datenbanken unbeschädigter Fingerabdrücke gewonnen.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass ein invalides Histogramm eindeutig den Block festlegt, wo tatsächlich eine Beschädigung vorliegt. Umgekehrt – das valide Histogramm muss nicht unbedingt immer einen unbeschädigten Block repräsentieren, weil eine unregelmäßige Aufteilung der Papillarlinien mit Beschädigung auch zu einem validen Histogramm führen kann.

Mit dieser Methode wurden auch solche Gebiete detektiert, die mit der ersten Methode nicht gefunden worden waren. Diese Methode ist aber stark von der Bildqualität, dem Kontrast und anderen Bildeigenschaften abhängig.

Die letzte Methode verwendet einen **Samenausfüllungsalgorithmus** (Flood Fill) [18], und liefert die genauesten Ergebnisse für die Feststellung der Art und der Form aller drei Methoden. Diese Methode dient vor allem dazu, die hellen und dunklen Flecken mit einer ovalen oder länglichen Form zu detektieren, die als Ergebnis von Wasserblasen, Pocken, eingerissener Haut oder anderen Anomalien des erkrankten Fingers entstehen.

Als wichtigster Schritt der Bildvorverarbeitung wurde eine Sequenz der folgenden Schritte benutzt: Erosion, Dilatation und Gauß-Defokussierung. So sollen die oben genannten Anomalien hervorgehoben werden. Der finale Schritt ist die Schwellung (Binarisierung), womit das Schwarzweißbild erzielt wird, das für die Samenausfüllung vorbereitet wird. Unser Algorithmus ermöglicht auch, die Anzahl der Pixel der detektierten Kontur zu berechnen.

Die auf diese Weise detektierten Anomalien wurden anhand der Pixelzahl und der Form (länglich vs. kreisförmig) in vier Kategorien klassifiziert:

1. kleine dunkle „Gepard“-Flecken,
2. unterbrochene (dunkle) Papillarlinien,
3. größere weiße Flecken; und
4. breitere weiße Linien.

Mithilfe dieser Methode konnten fast alle Anomalien im Bild detektiert werden. Diese Methode ist der Grundstein für den Erkrankungsdetektor.

Die Verknüpfung dieser Methoden brachte ziemlich gute Ergebnisse, die natürlich noch verbessert werden können. Dazu haben wir mehrere Vorschläge, an denen wir noch weiter arbeiten. Ein Teil des Erkrankungsdetektors ist schon fertig und kann drei

unterschiedliche Krankheiten (Warzen, Ekzeme und Verletzungen) detektieren und lokalisieren – siehe Abb. 3.3 und Abb. 3.4.

Abbildung 3.3 | Detektion von hellen Flecken in einem Fingerabdruck mit Warzen.

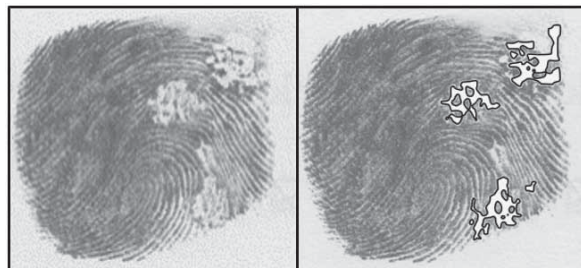
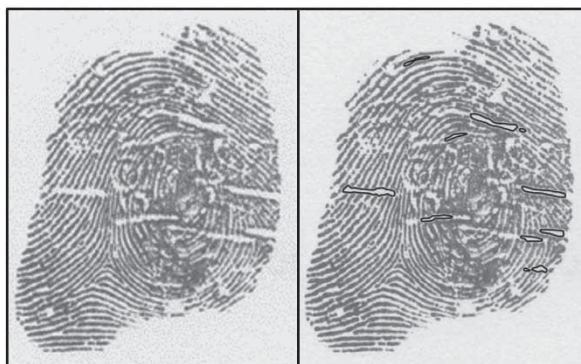


Abbildung 3.4 | Detektion der Linien in einem Fingerabdruck mit Ekzemen.



Die Methoden liegen ausgearbeitet vor und können erweitert und modifiziert werden. Vor allem kann die experimentelle Auswertung von Histogrammen noch verbessert werden. Dazu möchten wir die Methoden des Maschinenslernens verwenden, wozu wir weitere Daten bräuchten.

3.2 Generierung von Erkrankungen in synthetische Fingerabdrücke

Eine der Möglichkeiten, wie sich die Algorithmen für die Fingerabdruckverarbeitung testen lassen, ist die Verwendung von synthetischen Fingerabdrücken [11][19]. Hiermit sind solche Fingerabdrücke gemeint, die synthetisch mittels einer Software generiert wurden. Diese Software generiert natürlich ideale und perfekte Fingerabdrücke (also ohne Beschädigungen) – siehe Abb. 3.5a. Nach dieser Phase können Beschädigungen eingefügt werden, es entstehen also auf diese Weise beschädigte Fingerabdrücke, natürlich immer im Rahmen dessen, was unsere eigene Software zu leisten vermag [11].

Für jede Erkrankung ist deren Erscheinungsform in einem Fingerabdruck zu definieren, anschließend muss diese Definition verallgemeinert und in den finalen Fingerabdruck eingefügt werden – siehe Abb. 3.5b. Schon in dieser Phase lässt sich überprüfen, ob die Beschädigung (Erkrankung) der Realität entspricht. Falls ja, dann kann eine solche Beschädigung mit unterschiedlich großen Änderungen in beliebig viele Fingerabdrücke eingefügt werden, wodurch eine sehr große Datenbank entstehen kann. Diese Beschädigungen können auch kombiniert werden, am Ende kann der Fingerabdruck also wirklich große Schäden aufweisen.

Als Beispiel für eine Erkrankung kann eine Warze (verruca vulgaris) herangezogen werden. Eine Warze ist eine explizit begrenzte kreisförmige oder ovale Formation, in welcher mehrere schwarze Punkte und keine Papillarlinien zu finden sind. Oft entsteht nur ein primäres Zentrum der Warze auf dem Finger. In einigen Fällen ergibt sich noch ein sekundäres Zentrum der Warze auf dem Finger. Auf gleiche Weise kann auch die synthetische Warze definiert werden – siehe Abb. 3.5c – sogar mit mehreren Zentren [19].

Abbildung 3.5 | Synthetische Fingerabdrücke (a) perfekt, (b) beschädigt, (c) beschädigt durch eine Warze.



Das Ziel der Generierung von Beschädigungen und Erkrankungen in synthetische Fingerabdrücke ist die Erstellung von beliebig großen Datenbanken synthetischer Fingerabdrücke, die dem Lernen und Testen von Algorithmen für die Fingerabdruckverarbeitung auch bei beschädigten Fingerabdrücken einwandfrei dienen. Dabei kann die Beschädigung automatisch lokalisiert und detektiert werden, wobei, falls möglich, dieser problematische Teil auch automatisch verbessert werden kann.

Danksagung

Dieser Artikel ist im Rahmen der folgenden Projekte entstanden: „IT4Innovations Excellence in Science“, Ministerium für Schulwesen der Tschechischen Republik – LQ1602 (National Programme of Sustainability (NPU II)) (CZ) und „Sichere und zuverlässige Computersysteme“ – FIT-S-17-4014 (CZ).

Literatur

- [1] Kanich O., Drahanský M.: *Currently Used Swipe Fingerprint Sensors*, International Journal of Bio-Science and Bio-Technology, Science & Engineering Research Support Center, 2016, Vol. 8, No. 1, S. 381-386, ISSN 2233-7849.

- [2] Drahanský M., Nötzel R.: *Sensoren zur Fingerabdruckererkennung*, Sensoren, Signale, Systeme, b-Quadrat Verlag, 2004, S. 49-60, ISBN 3-933609-19-4.
- [3] Bader H.J., Rothweil M.: *Forensic Chemistry – Chemistry and the Detective*, Chemistry and Industry for Teachers in European Schools, Projekt CITIES, https://www.cities-eu.org/sites/default/files/attachments/057_Forensic_Chemistry-Chemistry_and_the_Detective.pdf <zitiert am 2017-02-18>.
- [4] Holder E.H., Robinson L.O., Laub J.H.: *The Fingerprint Sourcebook*, U.S. Department of Justice, U.S. National Department of Justice, S. 422, <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/225320.pdf>.
- [5] Das große medizinische Lexikon: <http://www.hessenweb.de/index.php?id=lexikon&term=2158> <zitiert am 2017-02-19>.
- [6] NN: *Method for Fingerprint Identification – Part 2: Detailing the Method using Common Terminology and Through the Definition and Application of Shared Principles*, INTERPOL – European Expert Group on Fingerprint Identification II, S. 35, <http://www.latent-prints.com/images/ieeqf2.pdf> <zitiert am 2017-02-18>.
- [7] Komarinski P.: *Automated Fingerprint Identification Systems (AFIS)*, Academic Press, 2005, S. 312, ISBN 978-008-0475-98-1.
- [8] Drahanský M., Kanich O., Březinová, E.: *Is fingerprint recognition really so reliable and secure?, Challenges for fingerprint recognition – spoofing, skin diseases and environmental effects*, Handbook of Biometrics for Forensic Science, Springer, 2017, S. 21, ISBN 978-3-319-50671-5.
- [9] Drahanský, M.: *Fingerprint Recognition Technology – Related Topics*, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, S. 172, ISBN 978-3-8443-3007-6.
- [10] Tuč, D.: *Testing of the Environmental Influences on Fingerprints Sensors*, Bachelorarbeit TU Brno, Brno, 2005.
- [11] Kanich O.: *Fingerprint Damage Simulation – A Simulation of Fingerprint Distortion, Damaged Sensor, Pressure and Moisture*, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014, S. 57, ISBN 978-3-659-63942-5.
- [12] Habif T.P.: *Clinical Dermatology*, 4th Edition, Mosby, China, 2004, S. 1004, ISBN 978-0-323-01319-2.
- [13] Wolff K., Johnson R.A., Suurmond D.: *Fitzpatrick's Color Atlas and Synopsis of Clinical Dermatology*, 5th Edition, McGraw-Hill, USA, 2005, S. 1085, ISBN 0-07-144019-4.
- [14] Drahanský, M., Kanich, O.: *Vulnerabilities of Biometric Systems*, Proceedings of Conference on Security and Protection of Information 2015, Brno, S. 53-60, ISBN 978-80-7231-997-8.
- [15] Spurný J., Doležel, M., Kanich, O., Drahanský, M., Shinoda, K.: *New materials for spoofing touch-based fingerprint scanners*, Proceedings of International Conference on Computer Application Technologies 2015, Matsue, S. 15. ISBN 978-1-4673-8211-3.
- [16] Barotová Š., Drahanský M., Pernický R.: *Detection of Ridge Damages in Fingerprint Recognition Caused by Skin Diseases*, International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, Vol. 9, No. 11, 2016, S. 125-146, doi:<http://dx.doi.org/10.14257/ijisp.2016.9.11.13>.
- [17] Hong L., Yifei W., Jain A.: *Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation*, IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, Vol. 20, No. 8, S. 777-789.
- [18] Russ J.C.: *Image Processing Handbook*, CRC Press, 2002, S. 732, ISBN 0-8493-1142-X.
- [19] Bárta, M.: *Generation of Skin Disease into the Synthetic Fingerprints*, Brno University of Technology, Faculty of Information Technology, Diplomarbeit, Brno, 2016.