

Hauptseminar „Biometrische Systeme – Der Körper als Passwort“ Fingerprints I

13.11.2003
Selma Cankaya

1. Einleitung

Das Rillenmuster des Fingerabdrucks faszinierte die Menschen schon im 16. Jahrhundert. Damals fanden erste Beobachtungen und Untersuchungen in diese Richtung statt. Fundierte Aussagen jedoch wurden das erste Mal Ende des 19. Jahrhunderts von Francis Galton und Edward Henry gemacht. Galton begann seine Arbeit mit der Erläuterung eines Fingerabdrucks: Die dunklen Linien nannte er *ridges*, Rillen, und die hellen Flächen nannte er *valleys*, Täler. Galton zeigte in seiner Studie, dass die Form der Fingerabdrücke unabhängig vom Alter und von der Abstammung eines Menschen sind. Objekt seiner Beobachtungen waren Diskontinuitäten im Rillenmuster: Auf den ersten Blick sieht das menschliche Auge nur einen Fluss von nebeneinander laufenden Rillenkurven. Jedoch befinden sich im Rillenfluss Unterbrechungen und Gabelungen von Rillen. Diese Auffälligkeiten nannte Galton Minutien. Insgesamt gibt es mehrere Arten, wie z.B. Rillenenenden, Gabelungen und Inseln. Auf diese charakteristischen Merkmale baute er seine Studie auf. Er zeigte, dass gerade diese Merkmale zwei besondere Eigenschaften aufweisen: Beständigkeit – unveränderliche Muster, die der Mensch von Geburt an mit sich trägt – und Individualität – jeder Mensch, selbst eineiige Zwillinge, weist individuelle Muster auf.

Henry befasste sich in seiner Arbeit mit der globalen Struktur der Fingerabdrücke. In seinen Beobachtungen untergliederte er die Gesamtheit der Fingerabdrücke in 5 Klassen. Seine Vorgehensweise basierte nicht wie bei Galton auf exaktes Matching bei einem Fingerabdruckvergleich, sondern hielt sich an strukturellen Auffälligkeiten. Die Klassen nannte er Right Loop (Rechtsschleife, R), Left Loop (Linksschleife, L), Whorl (Quirl, W), Arch (Bogen, A) und Tented Arch (gespannter Bogen, T). Folgende Abbildung verdeutlicht Henrys Vorgehensweise.



Heute werden diese Ergebnisse seit über 100 Jahren in der Kriminalistik, bei Zugang zu Sicherheitsbereichen und in anderen Gebieten offiziell anerkannt und genutzt. Da die damalige, manuelle Identifikation durch Fingerabdrücke ein zeitaufwändiger, teurer und zudem langweiliger Prozess war, begannen in den 1960ern das FBI Home Office (UK) und das Pariser Police Department nach Möglichkeiten für einen automatisierten Fingerabdruckvergleich zu suchen. Bei einem solchen System kann das Klassifikationsprinzip von Henry als eine sinnvolle Indizierungsmöglichkeit genutzt werden, die die Suche nach einer Übereinstimmung wesentlich verkürzt.

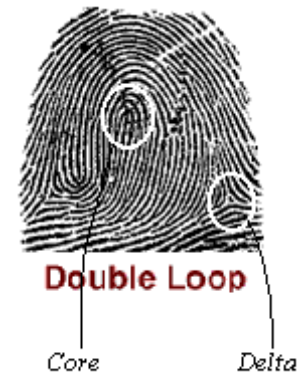
Bei den automatischen Systemen werden zwei Arten unterschieden:

AFAS – Automatic Fingerprint Authentication System Als Eingabe bekommt das System eine Identität und einen Fingerabdruck. Das System sucht diese Identität in einer eigenen Datenbank. Wird eine solche Identität gefunden, wird der eingegebene Fingerabdruck mit dem Fingerabdruck verglichen, der unter dieser Identität in der Datenbank gespeichert ist.

AFIS – *Automatic Fingerprint Identification System* Hier ist die Eingabe lediglich ein Fingerabdruck. Das System vergleicht den Fingerabdruck mit der Fingerabdruckdatenbank und liefert als Ausgabe eine Liste von Identitäten von Personen, zu denen dieser Fingerabdruck gehören könnte.

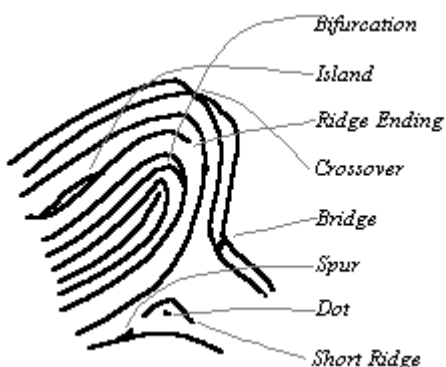
2. Merkmale

Seit der Untergliederung durch Henry Ende des 19. Jahrhunderts wurden die Klassen, auch Typen genannt, erweitert. Einen weiteren berühmten Typ bildet beispielsweise die Doppelschleife. Heutzutage werden bis zu 16 verschiedene Typen unterschieden [2]. Weitere Merkmale im Fingerabdruck bilden die *Singularity Points*, genannt *Core* (Kern) und *Delta* (Delta Punkt), die auf fast jedem Fingerabdruck vorkommen. Der Kern ist der höchste Punkt auf der innersten Schleife (bzw. Bogen) des Fingerabdrucks. Der Delta Punkt ist eine dreieckartige Struktur, bei der Rillen aus drei verschiedenen Richtungen zusammenlaufen. Delta Punkte treten meistens im Bereich unterhalb vom Kern auf.



Minutien

Auch die oben erwähnten Minutien von Galton (Rillenenden, Gabelungen und Inseln) wurden im Laufe des letzten Jahrhunderts ergänzt.



Die Bezeichnungen dienen zum besseren Verständnis und lassen sich im Wesentlichen auf zwei Grundformen zurückführen: Rillenenden und Gabelungen. Diese werden auch beim FBI als deutliche Merkmale von Fingerabdrücken verwendet. Hinzu kommt die Berücksichtigung von der geometrischen Lage auf dem Fingerabdruck und Winkel des entsprechenden Merkmals. Als Winkel wird die Richtung der Rille an der Stelle, auf der das Merkmal platziert ist, genommen.

Die hier im Bild aufgeführten Merkmale sind ein paar von insgesamt 18 Merkmalarten [1]. Bei manchen

gibt es auch Begriffsüberschneidungen, so z.B. wird in der Literatur statt *Island* oft auch der Ausdruck *Enclosure* verwendet.

Automatische Systeme erfassen nur einige Fingerabdruckdetails und vergleichen sie. Je nach System und Verfahrensweise werden unterschiedliche Merkmalkombinationen gebraucht. In einigen Systemen werden sogar die Anzahl und die Lage der Hautporen miteinbezogen.

3. Individualität von Fingerabdrücken

Die Eignung von Fingerabdrücken als biometrisches Merkmal basiert, wie bereits oben erwähnt, auf zwei Eigenschaften: Beständigkeit und Individualität. Die Beständigkeit bei Fingerabdrücken ist bereits durch die Anatomie und Morphogenese des Rillenhautmusters belegt. Die Individualität jedoch ist nicht immer vollständig gegeben. Hier unterscheiden wir zwischen der tatsächlichen Gleichheit von Fingerabdrücken und der von einem automatischen System erkannten „ausreichenden Ähnlichkeit“. Wenn man zwei verschiedene Fingerabdrücke mit sehr hoher Bildqualität, bei der alle Details extrahiert werden können, miteinander vergleicht, lässt sich eine tatsächliche Gleichheit untersuchen. Aber in der Praxis gehen viele Experten und automatische Systeme (AFIS) davon aus, dass zur Identifikation ausreichende Ähnlichkeit genügt. Konkret geht es um „die Wahrscheinlichkeit, mit der zwei verschiedene Fingerabdrücke ausreichend ähnlich sind“ [2].

Die „Ungenauigkeit“ rührt daher, dass bereits bei der Erfassung des Fingerabdrucks nicht alle Merkmale erkennbar sind. So können bei einem mehrmaligen Fingerabdruck derselben Person bei ca. 30% der Merkmale (besonders Minutien) Abweichungen auftreten. Es muss also eine gewisse Fehlertoleranz schon dadurch miteingebaut werden, dass manche Merkmale (i.d.R. Minutien) nicht immer durch den selben Scan erkannt werden. Wenn gewisse Merkmale nicht gründlich erfasst werden können, dürfen sie nicht für Vergleiche mit fremden Fingerabdrücken verwendet werden.

Ein solches Bild kann unterschiedlich zusammengesetzt sein: das ganze Rillennmuster eines Fingers, Rillenhäufigkeit, Ort und Position von einzelnen Punkten (Kerne und Deltas), Typen, Richtung und Ort von Minutienpunkten, Rillenzahl zwischen einem Minutienpaar und Anordnung von Poren in der Haut.

Wahrscheinlichkeit, dass ein Fingerabdruck auftritt

Hier geht es um die Wahrscheinlichkeit, mit der alle relevanten Merkmale auf dem Fingerabdruck erkannt werden. In seiner Studie unterteilte Galton die Fingerabdrücke in Quadrate mit je 6 Rillen. Er nahm an, dass durchschnittlich 24 solche unabhängigen Regionen genügen, um einen Fingerabdruck darzustellen. Weiter schätzte er, dass er jede dieser Regionen mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2}$ aus der Anordnung und Richtung der umgebenden Rillen korrekt rekonstruieren konnte. Die Wahrscheinlichkeit also, eine bestimmte Fingerabdruckzusammenstellung durch 24 Regionen zu erreichen, beträgt $(\frac{1}{2})^{24}$. Er multiplizierte diese bedingte Wahrscheinlichkeit mit der Wahrscheinlichkeit, die umgebenden Rillen zu finden. Damit wollte er die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines konstruierten Fingerabdrucks erhalten: $\frac{1}{16} \cdot \frac{1}{256} \cdot (\frac{1}{2})^{24} = 1.45 \cdot 10^{-11}$. Dabei ist $\frac{1}{16}$ die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten Fingerabdrucktyps (bis zu 16 Typen) und $\frac{1}{256}$ die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der richtigen Anzahl an eingehenden und ausgehenden Rillen von jeder der 24 Regionen.

Mit anderen Worten ist, was Galton ausgerechnet hat, die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Fingerabdruck auftritt.

Andere Forscher wie Pearson, Henry, Balthazard u.a. erweiterten die Formel, indem sie die Fingerabdruckfläche in mehr Regionen unterteilten, teilweise bis zu einer Regionsgröße von 1mm \times 1 mm und auch die Anzahl Minutien pro Region mit einbauten. Dadurch erhielten sie genauere Ergebnisse, sie errechneten kleinere Wahrscheinlichkeiten.

Die Studie in [2] bezieht sich auf den Vergleich von Minutien, da dies in forensischen Verfahren am häufigsten genutzt und für relativ stabil gehalten wird. Zudem ist es am häufigsten in automatischen Systemen vertreten. Das Ähnlichkeitsmaß ist die Anzahl korrespondierender Minutien zwischen zwei Minutienmengen.

In [2] werden die Wahrscheinlichkeiten errechnet, bei denen zwei verschiedene, minutienbasiert dargestellte Fingerabdrücke fälschlicherweise für „identisch“ gehalten werden. Die Zahlen der theoretischen Studie in [2] werden mit den Statistiken der falschen „Treffer“ in der Praxis (automatische Systeme, Expertenschätzungen) verglichen. Das Ergebnis des Vergleichs ist, dass die in der Praxis eingesetzten Systeme wesentlich schlechtere Ergebnisse erzielen (dh. mehr falsche Teffer) und Verbesserung angestrebt werden muss. Sicherere Ergebnisse können nach [2] erreicht werden, indem nicht rein minutienbasiert, sondern mehr in Kombination mit anderen Merkmalen (z.B. strukturellen) gearbeitet wird.

4. Scanning-Technologien

Der Fingerabdruck, wie er per Tintenabdruck zu Galtons und Henrys Zeiten erstellt wurde, ist heute natürlich veraltet. Verschiedene optische oder berührungsfreie Technologien, zusammengefasst unter dem Begriff *Live-Scan*, ersetzen diese Tradition mit einem vielfach saubereren und deutlicheren Ergebnis. Auch die herkömmliche Vorstellung, dass ein Bild von

einem ganzen Fingerabdruck verwendet wird, trifft in der Regel nicht zu. Man unterscheidet zwischen einem (ganzen) Fingerabdruck und einem Finger-Scan. Die Größe eines ganzen Fingerabdrucks in einem Hochauflösungsbild beträgt 250 KB. Beim Finger-Scan handelt es sich um eine Datenextraktion aus dem Originalabdruck. Diese Methode ist bei den Live-Scan-Geräten aufgrund der Vorteile für die Speicherkapazität weit verbreitet. Die erstellten „digitalen Teil-Fingerabdrücke“ sind zwischen 250 und 1000 Bytes groß [3]. Extrahiert werden können beispielsweise Minutienmengen, -arten, Strukturen (z.B. Kern und Delta Punkte), Kombinationen zwischen diesen und andere.

80 % der Hersteller benutzen in ihrem Mechanismus die Minutienextraktion. Systeme, die mit strukturellen Mustern arbeiten, stellen dahingegen die restlichen 20 % dar. Die Verwendung von strukturellen Mustern reduziert die Abhängigkeit von Minutien, die für Störungen durch äußere Einflüsse anfälliger sind [3].

Folgende Scan-Geräte finden in der Praxis Anwendung:

- Optischer Scan: Ein zu scannender Finger wird auf eine Platte (meist aus Kunststoff) gelegt. Unter dieser Platte ist eine Kamera (i.d.R. eine CCD-Kamera) platziert, die das Abbild des Fingerabdrucks durch Lichtreflexion in ein digitales Signal konvertiert.
- Silizium Sensor: Arbeitet auf kapazitiver Basis. Der zu scannende Finger wird gegen eine Siliziumplatte gehalten. Durch Messung unterschiedlicher elektrischer Aufladungen zwischen den Fingerrillen wird ein 8-bit Graustufenbild erstellt.
- Ultraschall: Der Finger wird per Ultraschall abgetastet. Mit den Schallwellen werden die unterschiedlichen Abstände von Rillen und Tälern (Valleys) zur Sensorplatte gemessen.

Um die relevanten Merkmale zu extrahieren, gibt es eine Vielzahl an verschiedenen Möglichkeiten. Hier sollen allgemeine Schritte geschildert werden.

Zuerst wird das Bild des abgetasteten Fingerabdrucks als Graustufenbild angelegt. In diesem werden Flächen, die heller sind als ein vorgegebener Schwellwert (→ Valleys), bereinigt. Die übrigen dunklen Flächen werden schwarz gefärbt (→ Rillen), so dass am Ende ein Zweifarbenbild entsteht. Anschließend werden die Linien der Rillen von 5-8 Pixeln auf ein Pixel verdünnt, um die Rillenden und Gabelungen besser lokalisieren zu können. Ihre Position wird in Abhängigkeit vom Kern berechnet, der den Nullpunkt in einem XY-Koordinatensystem darstellt. Als Winkel von Minutien wird die Richtung der Rille, an der eine Minutia positioniert ist, verwendet.

Vor- und Nachteile

Bei der Datenextraktion eines Finger-Scans kann der Algorithmus noch so gut sein, wenn die Bildqualität schon beim Abtasten eingeschränkt ist. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn auf der Scan-Oberfläche oder auf der Haut auffällige Spuren von Schmutz, Schweiß oder Narben vorhanden sind. Dann werden wichtige Minutien nicht erfasst oder es werden Minutien an den Stellen erfasst, an denen sie normalerweise nicht auftreten können (z.B. *Spur* an einem *Island*) [3].

5. Zusammenfassung

In dieser Ausarbeitung wurde in die Verwendung von Fingerabdrücken als biometrisches Merkmal eingeführt. Fingerabdrücke lassen sich aufgrund ihrer Struktur in 5 Henry-Klassen einteilen. Zur Identifikation bedient man sich charakteristischer Merkmale (Minutien), von denen 18 verschiedene bekannt sind. Es wurde gezeigt, dass trotz theoretisch sehr kleiner Wahrscheinlichkeiten in der Praxis falsche Treffer bei der Identifikation durchaus möglich sind.

6. Literatur

- [1] "Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition", CRC Press, L.C. Jain, U. Halici, I. Hayashi, S.B. Lee, S. Tsutsui (Kap. I & II)
- [2] "On the Individuality of Fingerprints", Sharath Pankanti, Salil Prabhakar, Anil K. Jain
- [3] "Finger-Scan Technology", www.finger-scan.com/finger-scan_technology.htm