

BSI-Studien¹ zum Potenzial multibiometrischer Systeme

Heinrich Ihmor

Referat 311 Neue Technologien
Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI)
Godesberger Allee 185-189
53175 Bonn
heinrich.ihmor@bsi.bund.de

Abstract: Anfang dieses Jahrzehnts wurden vom BSI verschiedene Untersuchungen zu biometrischen Systemen durchgeführt, insbesondere zu deren Performanz. Offen gebliebenen war u. a. die Frage, in welchem Maße sich die Performanz steigern lässt, wenn je Person mehrere Merkmale verwendet werden. Die erste simulative Untersuchung hierzu (BioFinger 2) verwendete je Person mehrere Fingerabdrücke. Mit den daraus gewonnen Erkenntnissen wurden in einer weiteren Untersuchung (BioMulti) Finger-, Iris- und Gesichtserkennung zu multimodalen Systemen gekoppelt und untersucht.

Es wird eine Übersicht zu den Methoden und Ergebnissen der Arbeiten vorgestellt.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Die Biometrie hat in den letzten Jahren eine rasche Verbreitung erfahren. Der Wunsch nach verbesserten Möglichkeiten zur Identitätsüberprüfung von Personen und die Verfügbarkeit biometrischer Technik werfen Fragen nach der Qualität der angebotenen Produkte auf. Die Aussagen der Hersteller hierüber sind durch Untersuchungsergebnisse unabhängiger Institutionen ergänzt worden, so dass z.Z. die Leistungsfähigkeit der verfügbaren Produkte allgemein bekannt ist. Ungeachtet der Tendenz zur Steigerung der Erkennungsleistung, die beobachtet werden kann, stellt sich die Frage, ob durch die Verwendung *mehrerer* biometrischer Merkmale die Fehlerraten reduziert werden können. Gerade die Einführung von Personaldokumenten, in denen mehrere biometrische Merkmale elektronisch gespeichert sind und somit für biometrische Funktionen zur Verfügung stehen, macht dieses Thema aktuell.

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) hat sich dieser Fragen angenommen. Mit Untersuchungen zu einzelnen biometrischen Verfahren lagen Erkenntnisse über deren Erkennungsraten vor, und die hierzu gewonnene Datenbasis bot

¹ Die Veröffentlichung der vollständigen Ergebnisse ist in Kürze vorgesehen (<http://www.bsi.bund.de/>)

sich für weiter gehende Untersuchungen an. Die Studie **BioFinger II** hat untersucht, wie sich die Erkennungsleistung verbessern lässt, wenn mehr als nur ein Finger verwendet wird. Die in BioFinger II gewonnen Erkenntnissen waren zusätzlicher Antrieb für Studie **BioMulti**, in der die Verwendung zweier verschiedenartiger Merkmale Untersuchungsgegenstand war. Beiden Untersuchungen lag das Verifikationsszenario zugrunde. Im Auftrag des BSI wurden die Untersuchungen zu BioFinger II vom Fraunhofer-Institut für Grafische Datenverarbeitung (IGD) in Darmstadt durchgeführt, die zu BioMulti von der secunet Security Networks AG in Essen.

2 Data Fusion

Sollen mehrere biometrischer Merkmale verwendet werden, so müssen deren Daten fusioniert werden. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze, die sich in Fusionsebene und Methodik unterscheiden. In BioFinger II und BioMulti erfolgte die Fusionierung auf Entscheidungs- und Matchscore-Ebene; die Methoden werden im Folgenden vorgestellt.

Da o.B.d.A. jeder Matchscore auf das Intervall $[0..1]$ beschränkt ist, kann jeder Input für das Entscheidermodul eines multibiometrischen Systems als ein Punkt im n -dimensionalen Würfel $[0..1]^n$ betrachtet werden. Dieser Entscheidungsraum kann in disjunkte Regionen aufgeteilt werden (Partitionierung) und den einzelnen Regionen können die Entscheidung zugeordnet werden, entweder *match* oder *non-match*. Fällt der Vektor in eine Region, der *match* zugeordnet ist, lautet die Entscheidung ebenfalls *match*, andernfalls wird *non-match* entschieden. Werden genau zwei Merkmale verknüpft, so ist der Entscheidungsraum durch das Quadrat $[0..1]^2$ gebildet, das in disjunkte Regionen aufzuteilen ist. Es liegt nahe eine Trennlinie zu wählen, die das Quadrat in eine *match*- und eine *non-match*-Region aufteilt. Aber auch Aufteilungen in mehrere Regionen ist nicht ausgeschlossen. Die Herausforderung an die Untersuchung war es, eine Partitionierung zu finden, die im Vergleich mit anderen Verfahren zu den kleinsten Fehlerwerten in der biometrischen Erkennung führt.

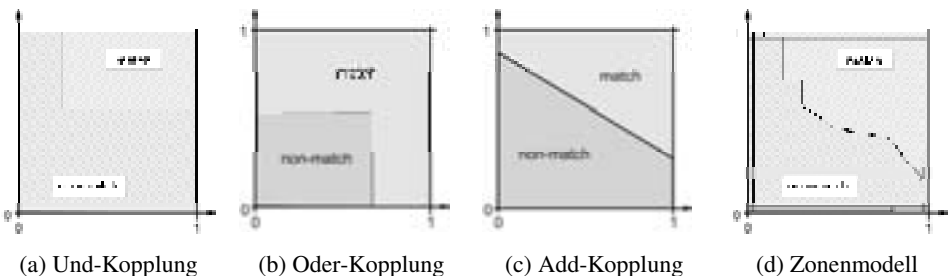


Abbildung 1: Kopplungsarten

Die einfache Integration zweier biometrischer Vergleiche erfolgt durch die **Und-Verknüpfung** ($S_1 > th_1 \wedge S_2 > th_2$) und die **Oder-Verknüpfung** ($S_1 > th_1 \vee S_2 > th_2$) der Einzelentscheidungen. Bei der **Add-Verknüpfung** erfolgt die Aufteilung des Quadrats mittels einer Geraden, die das Quadrat schneidet. Sie lässt sich durch $S_1 \times g_1 + S_2 \times g_2 = const$

beschreiben. Für *match* muss die gewichtete Summe die Akzeptanzschwelle übertreffen.

Bei der Suche nach der optimalen Partitionierung wurde deutlich, dass bessere Ergebnisse erzielt werden könnten, wenn die Randzonen des Entscheidungsraums besonders behandelt würden, was zum **Zonenmodell** führte. Hier wird das Quadrat in neun Zonen aufgeteilt: die vier Ecken, die vier Ränder und die Mitte. Für jede Ecke_{ij} gibt es eine feste Zuordnung D_x mit $D_x = \text{true} \Leftrightarrow \text{match}$. Für jeden Rand_y gibt es eine Akzeptanzschwelle T_y und es wird in dieser Zone wie im einfachen biometrischen Verfahren entschieden. Für die Mitte ist eine optimale Trennlinie gesucht.

2.1 Darstellung der Ergebnisse

Im Falle der einfachen Biometrie lassen sich FAR und FRR als Funktionen darstellen, die von einer Variablen, der Akzeptanzschwelle, abhängig sind, und sie durch FAR und FRR gebildeten Punkte lassen sich – der Akzeptanzschwelle folgend – im DET-Diagramm zu einer Kurve verbinden. Dies ist bei der Kopplung mehrerer biometrischen Merkmale i.A. nicht möglich, da FAR und FRR von mehreren Variablen abhängig sind. Werden die Punkte im DET-Diagramm nicht verbunden, so ergibt sich in der Regel eine der Milchstraße ähnliche Punktwolke. Die Punktwolken lassen sich auf die Punkte kleinster Werte reduzieren, so dass sich letztlich wieder Kurven im DET-Diagramm ergeben (s. Abb. 2).

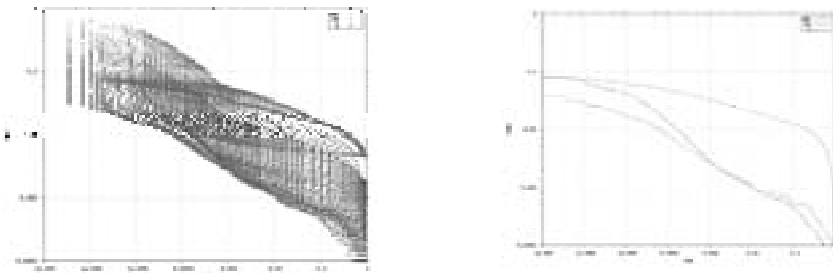


Abbildung 2: DET-Diagramme

Ab einer gewissen Anzahl wird der direkte Vergleich von Systemen mittels DET-Diagrammen unübersichtlich und nicht mehr praktikabel, vor allem dann, wenn Gruppen von Ergebnisse verglichen werden sollen. Dies ist z.B. der Fall, wenn nach dem Gewinn einer multimodalen Technik gegenüber der einfachen Biometrie gefragt ist. Eine Möglichkeit zum Vergleich besteht darin, skalare Werte je System zu ermitteln (z. B. EER), die Verteilung dieser Werte für jede Gruppe zu ermitteln und als kumulierte Verteilung darzustellen.

In Abb. 3(a) werden vier Gruppen miteinander verglichen. Die Skala der skalaren Wert ist horizontal dargestellt. Am markierten Punkt kann abgelesen werden, dass die Verteilung der blau dargestellten Gruppe für 10% der Vorkommen Werte unter 0,2% und für 90% der Vorkommen Werte über 0,2% ergibt. In Abb. 3(b) ist die kumulierte

Verteilung der Verbesserungen dargestellt. Dabei ist die Verbesserung als $v = EER_{\text{neu}}/EER_{\text{alt}}$ definiert. Zur Darstellung wurde der 2er-Logarithmus der Verbesserung gewählt. Am markierten Punkt ergibt sich für die blau dargestellte Gruppe, dass 10% der Vorkommen eine Verbesserung von bis zu 2^{-3} aufweisen, d.h. die neuen Fehlerwerte sind kleiner als 1/8 der Bezugswerte.

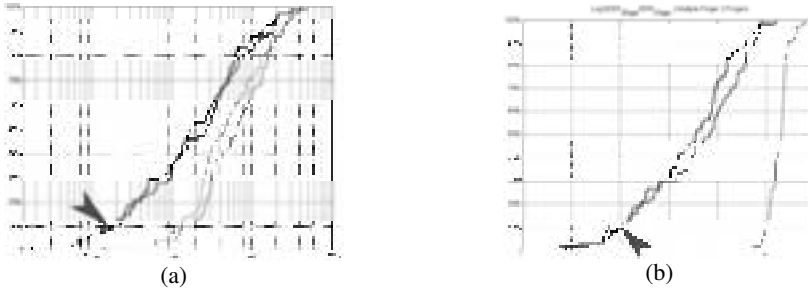


Abbildung 3: Beispiele kumulierter Verteilungen von Fehlern und Verbesserungen

3 BioFinger II

Im Projekt BioFinger II soll die Frage beantwortet werden, ob durch Verwendung mehrerer Fingerabdrücke die Erkennungsleistung der Fingererkennung gesteigert werden kann. Durch die Studie BioFinger I lagen Daten vor, die geeignet waren, die verschiedenen Szenarien nachzubilden. Somit mussten für die Untersuchungen keine Fingerabdrücke neu aufgenommen werden. Selbst die Verwendung der Fingerabdrücke aus BioFinger I war nicht erforderlich; es genügte die Verwendung der in BioFinger I ermittelten Matchscores.

3.1 Szenarien Multiple Acquire und Multiple Enrol

In der praktischen Anwendung biometrischer Systeme wird eine Person, die ein *false reject* erfährt, weitere Versuche unternehmen um akzeptiert zu werden. Ein biometrisches System, das ein solches Verhalten ermöglicht, wurde im Szenario Multiple Acquire nachgebildet. Dem ähnlich ist das Szenario Multiples Enrol. Auch in diesem Szenario wird je Person genau ein Finger verwendet. Jedoch werden hier beim Enrolment mehrere Aufnahmen vom Finger gemacht und gespeichert. Bei der Akquise wird nur eine neue Aufnahme vom Finger gemacht, die gegen alle Aufnahmen vom Enrolment verglichen wird. Die für Multiple Enrol ermittelten Ergebnisse weichen nur geringfügig von denen des Szenarios Multiple Acquire ab. Der folgenden Bericht über Multiple Acquire trifft ähnlich auch für Multiple Enrol zu.

Für die Simulation des Szenarios Multiple Acquire wurde den Fingerabdrücken „Rollen“

zugewiesen. Aus einer Gruppe von 3 Abdrücken eines Fingers wurde ein Abdruck dem Enrolment und zwei Abdrücke der Akquise zugeordnet. Zur Fusionierung wurden die Und-, Oder- und Add-Kopplung verwendet. Da die Verteilungen für die beiden Einzel-Verfahren gleich sind, ergibt sich eine symmetrische Verteilung. Wegen dieser Symmetrie der Imposter- und Genuine-Verteilung war es angebracht, bei der Oder- und der Und-Kopplung für beide Einzelverfahren gleiche Akzeptanzschwellen und bei der Add-Kopplung gleiche Gewichte für die beiden Einzel-Matchscores zu verwenden. Dies hat zur Folge, dass bei allen Kopplungen die Entscheidung von genau einer Variablen abhängig ist. Für die DET-Diagramme ist eine Darstellung als Kurvenschar oder Wolke nicht erforderlich, da infolge der Abhängigkeit von nur einer einzigen Variablen die Ergebnisse sich direkt als Kurve darstellen lassen.

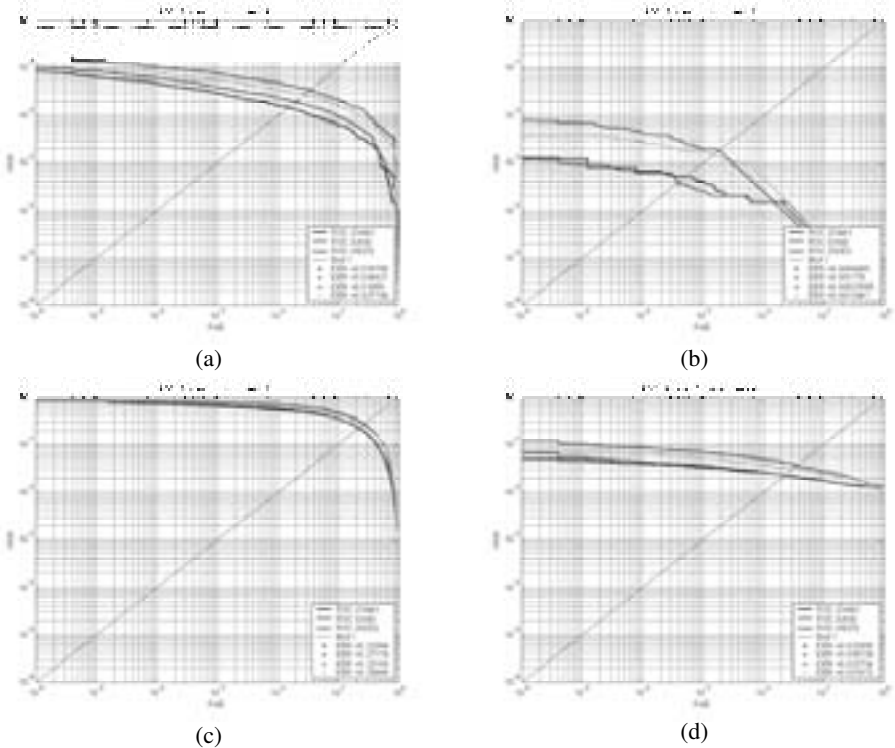


Abbildung 4: Bsp.: Ergebnisse des Szenarios Multiple Acquire

Die Fehlerraten weisen signifikante Unterschiede für die einzelnen Sensor-Algorithmus-Kombinationen auf; dies war aufgrund der Ergebnisse von BioFinger I erwartet worden. Aber auch die Verbesserungen, die durch die Verwendung von zwei Fingern erzielt werden, weisen Unterschiede auf. Überraschend waren die Unterschiede zwischen den einzelnen Kopplungsarten.

In Abbildung 4 sind in (a) die DET-Kurven für Sensor 1 und Algorithmus 1 als typisches Beispiel wiedergegeben. Türkis ist die DET-Kurve für einen Finger dargestellt, die als Bezug dient. Grün dargestellt ist die DET-Kurve für die Und-Kopplung. Sie ist deutlich

schlechter als die Bezugskurve. Ebenso deutlich ist die Verbesserung, die durch die Add-Kopplung erzielt wurde und die von der Oder-Kopplung noch übertroffen wurde. In (b) sind die DET-Kurven für Sensor 1 und Algorithmus 7 als ein Beispiel für große Verbesserungen wiedergegeben, die stellenweise fast Faktor 4 erreicht. Die Und-Kopplung führt klar zu Verschlechterung. Die Verbesserung durch Add- und Oder-Kopplung sind nahezu gleich. In (c) sind die DET-Kurven für Sensor 2 und Algorithmus 7 als ein Beispiel wiedergegeben, bei dem nur geringe Verbesserungen ermittelt wurden. Die Relationen unter den Kopplungsarten, wonach Und-Kopplung zu einer Verschlechterung und Add- und Oder-Kopplung zu Verbesserungen führen, sind dennoch zu erkennen. In (d) sind die DET-Kurven für Sensor 10 und Algorithmus 6 als ein Beispiel wiedergegeben, in dem deutlich zu erkennen ist, wie die FTA von ca. 12% eine mögliche Verbesserung beschränkt.

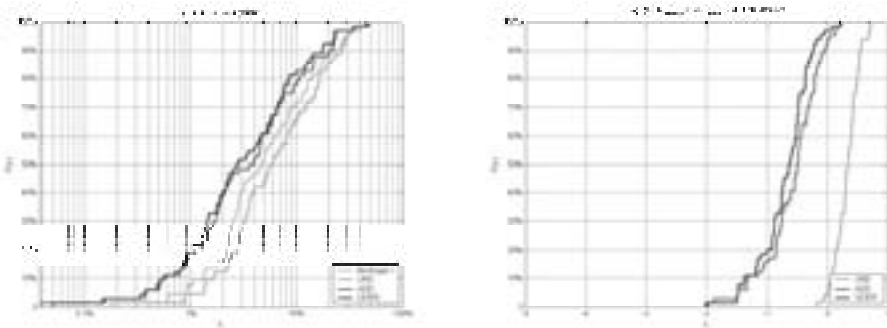


Abbildung 5: Fehler und Verbesserungen des Szenarios Multiple Acquire

Die Zusammenfassung der Ergebnisse in den Diagrammen in Abbildung 5 zeigt, dass die Und-Kopplung zu Verschlechterung der Erkennungsleistung führt. Add- und Oder-Kopplung führen zu Verbesserungen, wobei es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden gibt. Für die beste Sensor-Algorithmus-Kombination ließ die EER von etwa $1,4 \times 10^{-3}$ für das 1-Finger-Verfahren auf $3,8 \times 10^{-4}$ mittels Add-Kopplung steigern. Die größte Verbesserung betrug $2^{-2,0}$.

3.2 Szenario Multiple Finger

In diesem Szenario werden je Person mehrere verschiedene Finger verwendet. Von jedem verwendeten Finger wird beim Enrolment je eine Aufnahme gemacht und gespeichert. Bei der Akquise werden alle diese Finger erneut aufgenommen – und zwar genau einmal – und gegen ihre Aufnahmen vom Enrolment verglichen.

Dieses Szenario wurde für zwei, vier und acht Finger untersucht. Um dies zu simulieren wurden je zwei, vier oder acht Fingern zu Identitäten zusammengefasst und den Identitäten entsprechend zu Gruppen von Abdrücken zusammengefasst. Jeder Gruppe von Abdrücken wurde eine „Rolle“ zugeordnet: Eine Gruppe wurde dem Enrolment und die

anderen der Akquise zugeordnet. Auch hier sind die Imposter- und Genuine-Verteilung symmetrisch, so dass gleiche Akzeptanzschwellen für die Einzelverfahren bei der Oder- und der Und-Kopplung und gleiche Gewichte für die Einzel-Matchscores bei der Add-Kopplung verwendet wurden. Zur Fusionierung wurden die Und-, Oder- und Add-Kopplung verwendet.

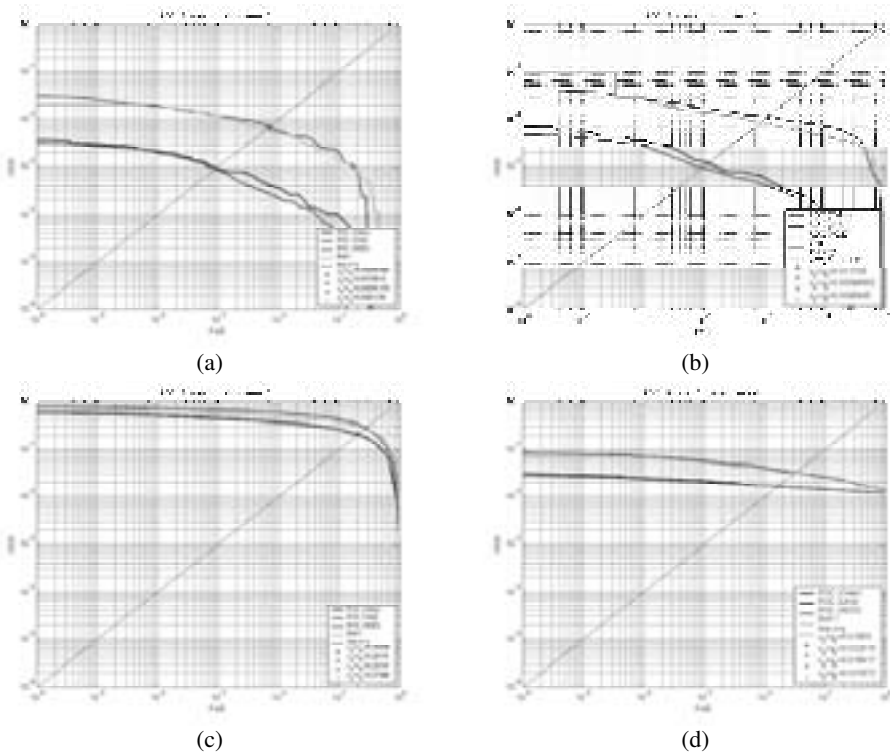
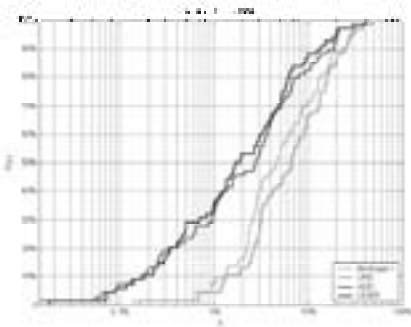


Abbildung 6: Bsp.: Ergebnisse des Szenarios Multiple Finger (2 Finger)

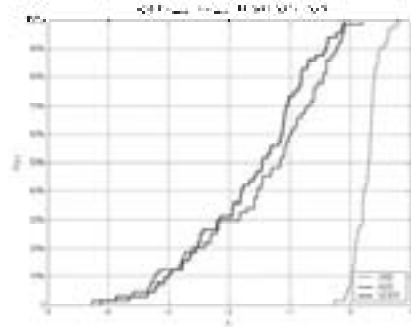
In Abb. 6 sind einige DET-Kurven des Szenarios Multiple Finger (für 2 Finger) wiedergegeben. Türkis ist die DET-Kurve für einen Finger dargestellt, die als Bezug dient. Grün dargestellt ist die DET-Kurve für die Und-Kopplung, blau die der Oder-Kopplung und rot die der Add-Kopplung. In (a) sind die DET-Kurven für Sensor 1 und Algorithmus 6 dargestellt. Die in diesem Beispiel erzielten absoluten Fehlerraten ($EER < 10^{-3}$) gehören zu den Besten in diesem Szenario. In (b) sind die DET-Kurven für Sensor 8 und Algorithmus 6 dargestellt. Hier ist die erzielte Verbesserung ($0,009 : 0,0009 = 10$) eine der Besten. Die in (c) enthaltenen DET-Kurven für Sensor 2 und Algorithmus 6 sind ein Beispiel für die Fälle, in denen das Szenario nur zu geringen Verbesserungen führt. Die in (d) dargestellten DET-Kurven für Sensor 10 und Algorithmus 6 zeigen, wie die FTA von ca. 12% eine mögliche Verbesserung beschränken.

Die Zusammenfassung der Ergebnisse in den Diagrammen in Abbildung 7 zeigt, dass bis auf wenige Ausnahmen die Und-Kopplung zu Verschlechterung der Erkennungsleistung

führt. Add- und Oder-Kopplung führen zu Verbesserungen, wobei es keine signifikante Unterschiede zwischen den beiden gibt.



(a) 2 Finger, absolut

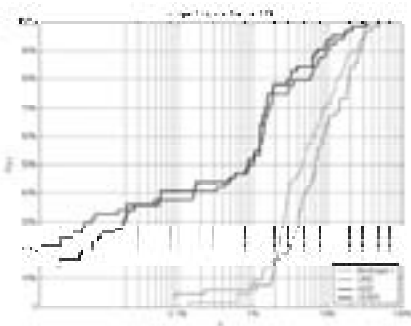


(b) 2 Finger, relativ

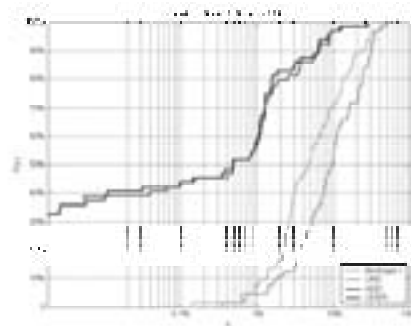
Abbildung 7: Fehler und Verbesserungen des Szenarios Multiple Finger (2 Finger)

Abbildung 7 zeigt, dass für die beste Sensor-Algorithmus-Kombination die EER von etwa $1,4 \times 10^{-3}$ für das 1-Finger-Verfahren auf etwa $1,4 \times 10^{-4}$ mittels Add-Kopplung steigern ließ. Die größte Verbesserung betrug $2^{-4,2}$.

Abbildung 8 zeigt die kumulierte Verteilung der EERs für das Szenario Multiple Finger bei Verwendung von vier und acht Fingern. Die beste mit einem Finger erzielte EER von ca. 1,5% wird mit zwei Fingern von 9% der Prüflinge erreicht, bei Verwendung von vier Fingern von 40% und bei 8 Fingern von 45% der Prüflinge.



(a) 4 Finger, absolut



(b) 8 Finger, absolut

Abbildung 8: Fehler des Szenarios Multiple Finger (4 und 8 Finger)

Für 20% der Prüflinge werden bei Verwendung eines Fingers $EER \leq 2,5 \times 10^{-2}$ erreicht. Bei zwei Fingern sind sie höchstens $3,5 \times 10^{-3}$ und bei 4 Fingern höchstens 10^{-5} . Für 10% der Prüflinge werden bei Verwendung eines Fingers $EER \leq 1,5 \times 10^{-2}$ erreicht, so sind es mit zwei Fingern $1,5 \times 10^{-3}$ und mit vier Fingern ca. $1,5 \times 10^{-4}$. Den Untersuchungsergebnissen nach kann bei Verwendung von acht statt vier Fingern eine weitere Reduktion der EER auf die nächst kleinere 10er-Potenz erwartet werden.

3.3 Szenario Multiple Algorithm

In diesem Szenario wird genau ein Finger je Person verwendet, der beim Enrolment und bei der Akquise jeweils einmal aufgenommen wird. Die beiden Samples werden allerdings von mehreren Algorithmen verglichen.

Den Fingerabdrücken aus BioFinger I „Rollen“ wurden zugewiesen: Aus eine Gruppe von Abdrücken eines Fingers wurde ein Abdruck dem Enrolment und die anderen der Akquise zugeordnet. Für die Verifikation wurde der eine Abdruck des Enrolments mit einem Abdruck der Akquise verglichen, und zwar mit beiden Algorithmen, und lieferte somit zwei Matchscores.

Zur Fusionierung wurden die Und-, Oder- und Add-Kopplung verwendet. Da die Verteilungen für die beiden Einzel-Verfahren ungleich sind, ergibt sich eine asymmetrische Verteilung. Trotz der Asymmetrie der Verteilungsfunktionen wurden erst bei der Oder- und der Und-Kopplung für beide Einzelverfahren gleiche Akzeptanzschwellen und bei der Add-Kopplung gleiche Gewichte für die beiden Einzel-Matchscores verwendet. Anschließend wurde in der Untersuchung in der Hoffnung auf bessere Ergebnisse diese Einschränkung aufgegeben und für die Oder-Kopplung eine Auswertung mit zwei unabhängigen Thesholds durchgeführt.

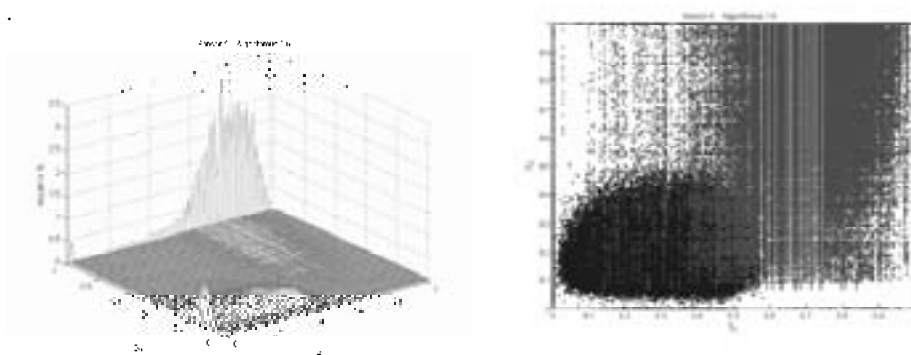


Abbildung 9: Bsp.: Verteilungen im Szenario Multiple Algorithm

Die Fehlerraten weisen signifikante Unterschiede für die einzelnen Sensoren auf. In nachfolgender Abbildung bewegen sich die Ergebnisse der Und-Kopplung zwischen den Einzelergebnissen der beiden Basisalgorithmen und dicht darunter. Die Oder-Kopplung liefert durchweg bessere Werte als der beste der beiden Basisalgorithmen, die von den Werten der Add-Kopplung noch übertroffen werden. Die Werte der asymmetrischen Oder-Kopplung (in Abb. 10(a) als grüne Punkte dargestellt) übertreffen alle anderen Kopplungen. Hiermit konnten FRR-Werte erreicht werden, die gegenüber denen des besseren Basisalgorithmus um Faktor 5 besser sind.

Wie in den anderen Szenarien zeigt sich auch hier, dass die Und-Kopplung nicht zu Verbesserungen führt. Die additive Verknüpfung der Ähnlichkeitswerte und die boolsche Oder-Kopplung weisen auch hier keine signifikanten Unterschiede auf. Eine

deutlich erkennbare Verbesserung der Oder-Kopplung wird erreicht, wenn die Akzeptanzschwellen beider Algorithmen unabhängig voneinander einstellbar sind (asymmetrischen Oder-Kopplung, in Abb. 10(b) als Erweiterung bezeichnet). Diese Option führt zu den größten Verbesserungen in diesem Szenario. Die Erkennungsleistung des gekoppelten Verfahrens ist demnach etwa 3:2 besser als das des besseren Einzelverfahrens, das um 2:1 besser ist als das andere Einzelverfahren.

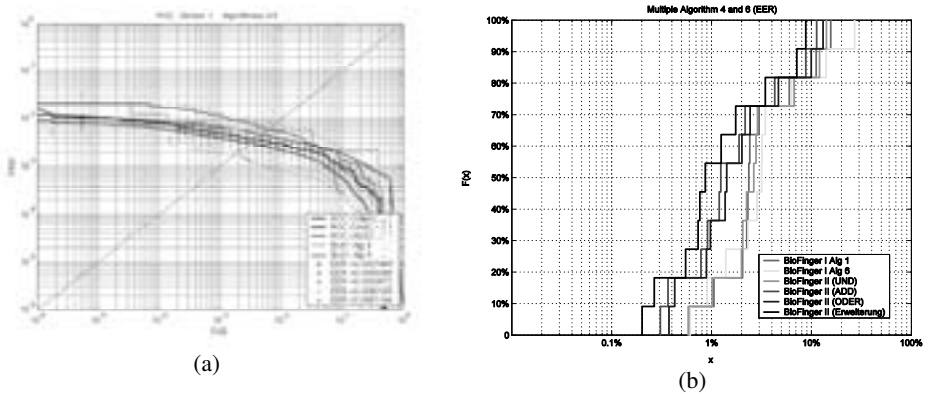


Abbildung 10: Ergebnisse des Szenarios Multiple Algorithm

4 BioMulti

Die Entwicklungen zum Einsatz biometrischer Verfahren zur Identitätsprüfung in Zusammenhang mit Ausweisdokumenten bieten die Möglichkeit zu multimodalen Verfahren, also der Kombination verschiedener biometrischer Verfahren oder Algorithmen, und werfen die Frage nach der Leistungsfähigkeit multimodaler Biometrie sowie nach der optimalen Kopplung einzelner biometrischer Verfahren auf. Zur Beantwortung dieser Fragen boten sich die im Rahmen des Projekts BioP II erfassten Verifikationsdaten als geeignete Basis an, da eine umfangreiche Testgruppe parallel unterschiedliche biometrische Verfahren benutzt hat.

BioMulti baute auf den Daten auf, die im Projekt BioP II gewonnen wurden. Die Untersuchungen in BioP II wurden je System in zwei Varianten durchgeführt: Einmal mit proprietären Templates und zusätzlich mit ICAO-konformen Images. Die verwendeten biometrischen Systeme sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Die Einzel-Verfahren wurden paarweise gekoppelt. Zur Fusionierung wurden die Und-, Oder- und Add-Kopplung verwendet. Da die Verteilungen für die beiden Einzel-Verfahren ungleich sind, ergibt sich eine asymmetrische Verteilung. Folglich wurden bei Oder- und Und-Kopplung für beide Einzel-Verfahren unabhängige Akzeptanzschwellen und bei der Add-Kopplung variable Gewichte für die beiden Einzel-Matchscores verwendet.

Kennung	Biometriotyp	verwendetes Merkmal	Hersteller
COG	Gesichtserkennung	Gesicht	Cognitec
BDR	Fingererkennung	Zeigefinger	Bundesdruckerei / NEC
DER	Fingererkennung	Zeigefinger	Dermalog
SDI	Iriserkennung	Iris	SD Industries

In den Abbildung 11 sind zwei Ergebnisse beispielhaft vorgestellt. In (a) sind die Einzelverfahren von Cognitec (COG) und der Bundesdruckerei (BDR) kombiniert. Die DET-Wolken der Add-Kopplung (G, blau) ist oben-rechts deutlich abgegrenzt und entspricht da dem Ergebnis des Einzelverfahren COG. Die Wolke der Oder-Kopplung (rot) bildet bis auf wenige Ausnahmen die Minimalwerte. Die Werte von BDR und der Und-Kopplung (grün) liegen zwischen den minimalen und maximalen Werten. In (b) sind die Einzelverfahren DER und SDI kombiniert. Mit der der Und-Kopplung (grün) werden die maximalen Werte erzielt. Sie sind erkennbar schlechter als die der Einzelverfahren. Die Ergebnisse der Add-Kopplung (G, blau) sind nur wenig besser als die des besseren Einzelverfahrens (DER). Deutlich ist der Gewinn durch die Oder-Kopplung (rot) zu erkennen.

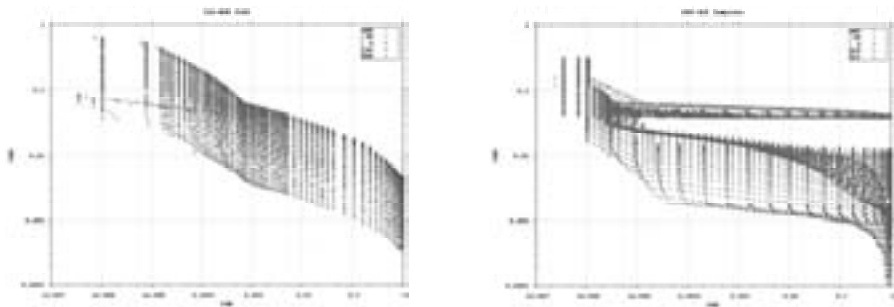


Abbildung 11: Bsp.: ausgewählte DET-Diagramme

Die erzielten Ergebnisse waren teilweise von den erwarteten Werten so weit entfernt, dass die Frage nach besseren Kopplungen forciert wurde. Bei näherer Betrachtung der Verteilungsfunktionen fielen Häufungen an einigen Stellen auf, sowohl bei der Imposter- als auch bei der Genuine-Verteilung.

In Abbildung 12 sind die Verteilungen der Kombination COG-SDI (Template) dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass eine Trennung am linken und am unteren Rand erforderlich ist. Die Und-Kopplung kann eine solche Trennung generell nicht liefern. Auch mit Add- oder Oder-Kopplung ist eine optimale Trennung nicht machbar. Auf Grund dieser Verteilungsdarstellung kann gefolgert werden, dass optimale Trennung in der Fläche und optimale Trennung an den Rändern verschiedene Trennlinien erfordern.

Infolge dieser Beobachtung wurde ergänzend zu den Untersuchungen das Zonenmodell

(siehe „2 Data Fusion“) angewendet. Der gesamte Bereich wurde in vier Ecken, vier Randzonen und die Mittenzone aufgeteilt. Dabei kamen für die Mittenzone die Und-, Oder- und Add-Kopplung zum Einsatz. Für Rand- und Eckzonen wurden die einfachen Biometrieverfahren angewendet und für die Ecken wurde zwischen Konstanten *match* oder *no-match* gewählt.

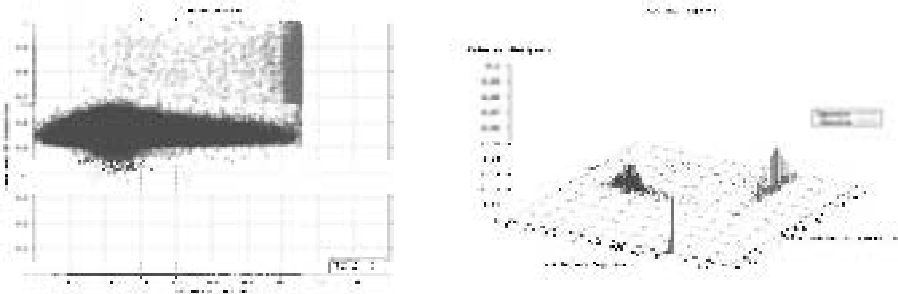


Abbildung 12: Bsp.: Genuine- und Imposter-Verteilung

In Abbildung 13 ist ein typisches Ergebnis vorgestellt. Es sind die Einzelverfahren DER und SDI kombiniert. AND bezeichnet die Und-Kopplung, OR die Oder-Kopplung und G die Add-Kopplung. Mit *areas* sind die Ergebnisse nach dem Zonenmodell bezeichnet, im Gegensatz zu den mit *complete* bezeichneten Ergebnissen. Minimum bezeichnet die DET-Kurve einer unteren Abschätzung (untere Schranke).

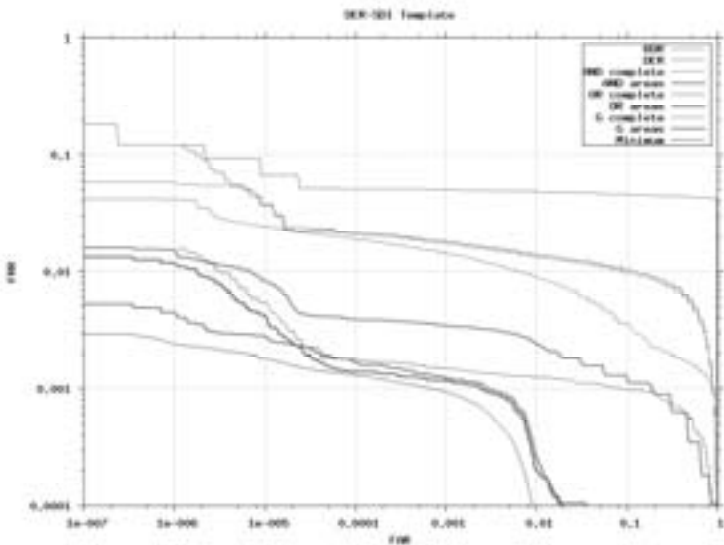


Abbildung 13: DET-Kurven der DER-SDI-Kombination

Es ist zu erkennen, dass die Ergebnisse der Und-Kopplung etwa dem Minimum der beiden Einzelverfahren entspricht. Die Add-Kopplung erzielt nur wenig bessere Werte.

Ein deutlicher Gewinn wird mit der Oder-Kopplung erreicht (bzgl. EER ca. Faktor 10). Bei dieser Kombination ist die Asymmetrie der DET-Kurven zu Lasten der FAR auffällig, besonders bei der Oder-Kopplung.

Durch Anwendung des Zonenmodells verbessern sich die Werte der Oder- und Add-Kopplung, wobei im Ergebnis der Unterschied zwischen beiden Kopplungen verschwindet. Im Bereich $10^{-5} \leq \text{FRR} \leq 10^{-4}$ verbessert sich die FAR um Faktor 100. In den Bereichen $\text{FAR} \geq 10^{-4}$ und $\text{FRR} \geq 10^{-4}$ reichen sie an die Werte der Abschätzung heran. Auch die Und-Kopplung erfährt durch die Zonenbildung signifikante Verbesserungen. Sie bleibt aber weiter deutlich hinter Oder- und Add-Kopplung zurück. Die Asymmetrie der DET-Kurven wird durch die Zonenbildung gedämpft.

In Abbildung 14 sind die kumulierten Verteilungen der FNMR für den Arbeitspunkt $\text{FMR} \leq 10^{-2}$ und $\text{FMR} \leq 10^{-3}$ abgebildet, und zwar für die Verwendung von Templates (TPL). Die Kurve für die einfachen biometrischen Verfahren ist rot dargestellt. Die anderen Kurven sind die nach dem Zonenmodell, wo für die Mittenzone alternativ die Und-Kopplung (blau), die Oder-Kopplung (magenta) und die Add-Kopplung (grün) verwendet wurden.

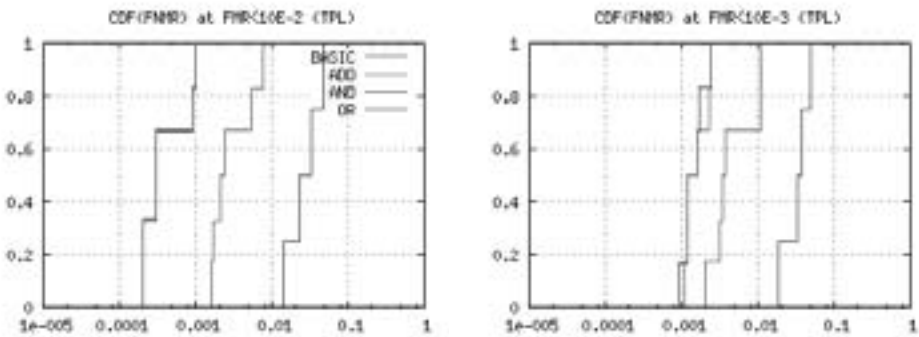


Abbildung 14: Ergebnisse über alle Kopplungen

Die Add- und die Oder-Verknüpfung liefern die besten Werte. Die Und-Kopplung liefert zwar auch Werte, die gegenüber den Einzelverfahren verbessert sind; sie erreichen aber nicht den Gewinn wie die Add- und Oder-Kopplung. Der Unterschied zwischen Add- und Oder-Kopplung ist nicht signifikant.

5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass biometrische Erkennungsleistung gesteigert werden kann, indem mehr biometrische Informationen verwendet wird. Reduzierung der Fehler auf die nächst kleinere 10er-Potenz und weiter ist technisch möglich, wenn die multibiometrischen Systemen auf geeigneten Einzel- und Kopplungsverfahren basieren.