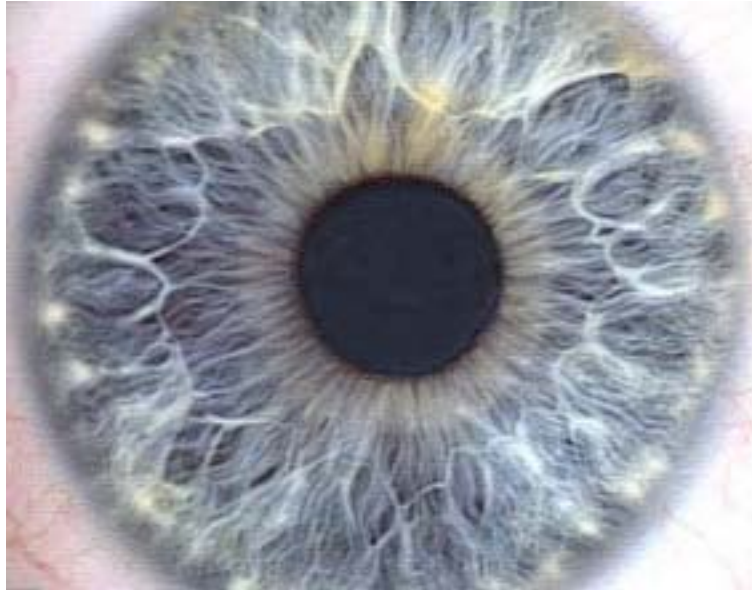


# Iriserkennung



Referat von Anastasia Galkin  
Biometrie  
2002-01-31

## **Gliederung**

### 1. Einleitung

#### 1.1 Biologischer Hintergrund

#### 1.2 Iriserkennungsalgorithmus

### 2. Der Algorithmus von Daugman

#### 2.1. Auffinden der Iris in einer Abbildung

#### 2.2. Erkennung der Iris, unabhängig von der Größe, Position und Orientierung

#### 2.3. Codierung über 2D Wavelet Demodulation

#### 2.4. Statische Unabhängigkeit der Kombinationen der Phasenfolgen

#### 2.5. Einzigartigkeit des nicht Bestehen des Tests

#### 2.6 Theoretische Wahrscheinlichkeiten

#### 2.7 Entscheidungsumgebung der Iriserkennung

#### 2.8 Geschwindigkeit

### 3. Einsatzmöglichkeiten, Versuche

### 4. Missbrauch von Irisinformationen

### Appendix

## **1. Einleitung**

Biometrische Verfahren der Identifikation ziehen mehr und mehr Aufmerksamkeit auf sich. Ein Grund dafür ist es, dass ein Fingerabdruck oder die DNA sich viel schwieriger fälschen lassen, als ein Ausweis. Auch ist es in der letzten Zeit zu rascher Entwicklung der Rechnertechnologien gekommen, was großen Rechenaufwand ermöglicht. Eine Gesonderte Stellung nimmt die biometrische Erkennung unter anderem dadurch ein, da die Körpermerkmale zu unserer Persönlichkeit gehören und die Frage nach dem Missbrauch von persönlichen Informationen erneut aufwerfen.

Warum ist die Iris zum Gegenstand der Aufmerksamkeit in Bezug auf die biometrische Forschung geworden?

Die Iris ist ein stabiles Merkmal. Falls keine mechanischen Schäden auftreten, bleiben die Muster ein Leben lang erhalten. Bilder einer Iris, im Abstand von 25 Jahren

aufgenommen, können nicht von einander unterschieden werden. Sie befindet sich im Gesicht, was sowieso unter unserem besonderen Schutz steht, sie ist aber auch durch die Lider besonders geschützt. Ein Irismuster ist so einzigartig, das es eine eindeutige Identifikation einer Person unter vielen anderen möglich macht.

### **1.1. Biologischer Hintergrund**

Die Entwicklung der Iris setzt im 3. Monat der Schwangerschaft ein und ist bis zu dem 8. Monat komplett ausgebildet. Die Pigmentation kann sich aber noch bis zu einem Jahr nach der Geburt verändern. Die Pigmentation ist genetisch bestimmt, die Entwicklung der Muster jedoch unterliegt den Zufälligkeiten während der Embryonalentwicklung. Dadurch verfügen sogar genetisch gleiche Augen, sowie rechtes und linkes Auge eines Menschen oder Augen der eineiigen Zwillinge, über völlig unterschiedliche Irismuster. Dasselbe kann man auch bei dem Entstehen des Fingerabdrucks beobachten.

### **1.2. Iriserkennungsalgorithmus**

Seit 1993/94 wird der Algorithmus von John Daugman zur Erkennung der Iris in fast allen Entwürfen genutzt. Im Grunde befolgt der Algorithmus ein einfaches Prinzip: Aufnehmen eines Augenbildes, Isolation der Iris vom Bildrest, Umwandlung der Muster in digitales Format (2048 Bits), bitweiser Vergleich der aufgenommenen Iris mit den schon vorhandenen.

## **2. Der Algorithmus von Daugman**

Bei dem Iris-Scanner, den John Daugman in Cambridge entwickelt hat, bekommt man, wenn man die Parameter so einstellt dass die false accept und false reject Raten gleich sind, für beide Raten eine Wahrscheinlichkeit von 1: 1 200 000. Dieses gute Ergebnis wird dadurch erreicht, dass in einer Iris >200 Bit echte Entropie stecken und die Bits eines 266-bit Iris –Codes weitgehend statistisch unabhängig sind. Bei einem Iris-Scan sind etwa 10% der Bits variabel (verrauscht), so dass man false accept und false reject ganz leicht über eine Binominalverteilung ausrechnen und einstellen kann (je nachdem, wo man die Schwelle für die Hamming-Distanz setzt, nach der zwei Codes als identisch angesehen werden).

### **2.1. Auffinden der Iris in einer Abbildung**

Die Herangehensweisen, um ein brauchbares Irisbild zu erhalten, sind unterschiedlich. Entweder sucht man ein Gesicht nach Augen ab, und extrahiert die Iris dann, dabei kann man sich auch der Hilfe der zu erkennenden Person mittels Anweisungen bedienen. Die andere Möglichkeit wäre, das Auge direkt aufzunehmen, wobei der Proband direkt in die Kamera schaut. Gewöhnlich ist jedoch ein Abstand bis zu einem Meter zwischen dem Auge und der Kamera.

Der Radius der Iris muss min. 70 Pixel aufweisen, üblich sind aber 100-140 Pixel. Die Aufnahmen werden mit einer (digitaler) schwarz-weißen Kamera gemacht.

Danach folgt die Trennung der Iris von den Augenlidern, der Pupille, und dem Augenweiß.

### **2.2. Erkennung der Iris, unabhängig von der Größe, Position und Orientierung**

Das Aussehen der Iris ist mit vielen veränderlichen Faktoren verbunden. Dies stellt ein gewisses Problem dar, da ein funktionierender Algorithmus gleiche Irismuster unabhängig von der Größe des Bildes, der Position der Iris darauf und der Augenorientierung als solche erkennen muss.

Folgende Parameter dürfen keinen Einfluss nehmen:

- optische Größe der Iris auf dem Bild (Kameraeinstellung, Entfernung der Kamera zu dem Auge)
- Größe der Pupille im Auge (Beleuchtung usw.)
- Position der Iris auf dem Bild
- Ausrichtung der Iris (Position des Kopfes)
- Augenwinkel
- Kamerawinkel, Position der Spiegel in der Kamera

Bei der Ausdehnung der Pupille zieht sich die Iris zusammen, sie wird nicht verdeckt. Die Daten werden nicht in dem üblichen kartesischen System gespeichert, sondern unter Polarkoordinaten. Der Irisradius, beginnend bei der Pupillengrenze bis zu dem Irisaußenrand, ist dabei immer der Länge 1. Der Radius  $r$  ist somit  $[0,1]$ . Die zweite

Koordinate ist der Winkel  $\Theta$  (Teta), der zwischen  $0^\circ$  und  $360^\circ$  liegt. Somit spielt die Größe der Pupille und auch die Irisgröße selbst keine Rolle mehr.

Anpassung des Codes an die mögliche Rotation geschieht nicht durch die Rotation des aufgenommenen Bildes, sondern durch das Verschieben des Bitcodes um einige Zeichen nach oben / unten.

Die hinten-vorne Verschiebung des Auges wird vernachlässigt, da die Feldversuche ergaben, dass es durch den großen Freiheitsgrad, den der Algorithmus zulässt, die Daten nicht sonderlich verfälscht und zuverlässige Ergebnisse liefern.

### **2.3. Codierung über 2D Wavelet Demodulation**

Nachdem wir wissen, wie wir die Informationen speichern können, also unter polaren Koordinaten, wird die Information in Bitcode umgewandelt. Relevant bei dem Vorgang ist die Phaseninformation, die Auskunft über die Kanten im Bild gibt, nicht die Amplitudeninformation, die auf Kontrast aufbaut. Die Amplitude eines Bildes ist zu sehr von äußeren Einflüssen wie der Aufnahmequalität und Beleuchtung abhängig und kann, sogar falsche Ergebnisse liefern. Die Phasenbits werden sogar für sehr unscharfe Bilder gesetzt.

Ein digital aufgenommenes Bild kann pixelweise unter den  $x, y$  – Koordinaten abgelegt werden. Wenn man jedoch das Bild auf bestimmte Inhalte untersuchen möchte, verwendet man verschiedene Verfahren, um an diese heranzukommen. Solche Information ist z. B. die Position der Kanten im Bild, der Grenzen zwischen verschiedenen Helligkeitsgraden.

Um die Kantensuche zu bewerkstelligen, bedient man sich folgenden Verfahrens:

Man lässt Sinus und Kosinus Funktionen mit verschiedenen Frequenzen über das Bild laufen, und überprüft jeweils, wie gut die hell-dunkel Verläufe zu den Verläufen der Kurven zwischen dem positiven und negativen Bereich passen. Wenn der hell-dunkel Übergang genau auf die Nullstelle der Funktion passt, ist er genau lokalisiert. Wenn er nicht auf den Nullstellen der Kosinus- und der Sinuskurven liegt, so weiß man, dass er dazwischen liegt. Dadurch, dass man die Frequenz immer größer werden lässt und dass die Kosinus- und Sinuskurve zueinander verschoben sind, kann man die Präzision des

Rasters erhöhen. Das Verfahren gibt Auskunft über das Befinden der Kanten auf dem Bild, jedoch nicht, ob sie gut oder schlecht erkennbar sind.

Die in Polarkoordinaten abgespeicherte Iris wird jetzt durch den Kantenerkennungsalgorithmus geschickt. So entstehen 2048 Phasenbits (256 Bytes), die vollständige Information über die Iris enthalten.

#### **2.4. Statische Unabhängigkeit der Kombinationen der Phasenfolgen**

Der Schlüssel zu dem Vergleichstest ist der Hamming Abstand (HD). Es bedeutet in diesem Zusammenhag nichts anderes, als die Anzahl der verschiedenen Bits zweier Wörter.

Der erzeugte Code und die gegebenen werden mit einander verglichen.

Der Hamming Abstand kann die Werte von 0 bis 1 annehmen, je nach dem wie die Schwellgrenze gelegt wird, ist die Entscheidung, ob es sich um gleiche oder ungleiche Augen handelt, davon abhängig, wie der ausgerechnete HD zu der gegebenen Schwelle verhält. Ist er kleiner, so handelt es sich um das gleiche Auge, ist er größer, sind sie verschieden. Es ist deswegen wichtig, eine passende Schwelle auszusuchen, weil sogar die Aufnahmen einer und derselben Iris nie gleich sein können, weil zu viele Faktoren mit Einfluss nehmen.

Der Schlüssel für die Iriserkennung ist das Nichtbestehen des Tests der statischen Unabhängigkeit. Der Test ist implementiert durch einfache boolean exclusive-OR  $\boxtimes$  (XOR), angewendet auf die 2048 Bits der Phasenvektoren der Irismustern. Bei beiden wird zuvor eine Maske angewendet (AND), um die Nicht-Irisartefakte auszuschließen. XOR-Operatoren finden die Differenz zwischen 2 zu vergleichendem Bitpaaren, während der AND-Operator sicherstellt, dass die zu vergleichenden Bitvektoren frei von Lichtflecken, Augenlidern, Reflexionen oder anderen „Geräuschen“ sind. Die Normzeichen  $\|...\|$  vom resultierenden Vektor und der AND's Maskenvektoren normieren das Ergebnis.

$$\mathbf{HD} = \| (\mathbf{codeA} \boxtimes \mathbf{codeB}) \mathbf{AND} \mathbf{maskA} \mathbf{AND} \mathbf{maskB} \| / \| \mathbf{maskA} \mathbf{AND} \mathbf{maskB} \|$$

*codeA, codeB: Bitcodevektoren*

*maskA, maskB: Maskenbitvektoren*

Der Vergleich geschieht in einer einzigen Anweisung, er ist sehr hardwarenahe und deswegen sehr schnell.

HD ist somit das Ungleichheitsparameter, wäre er 0, würde das die 100% Gleichheit bedeuten. Die geschätzte Korrelation wäre z. B.  $HD=0,500$ .

Je kleiner die Grenze, desto genauer das Ergebnis. Der Statistik nach zu urteilen, können sich 2 unterschiedliche Iris nicht mal zu 30% ähneln. Ist demnach  $HD < 0,3$ , handelt es sich sicher um dieselbe Iris. Sehr große Genauigkeit braucht die Grenze von  $HD < 0,330$ .

Die Untersuchungen haben ergeben, dass auch das linke und das rechte Auge, sowie Augen von Zwillingen einen genau den gleichen HD liefern, wie genetisch unterschiedlichen Augen.

### **2.5. Einzigartigkeit des nicht Bestehen des Tests**

$$0,26 < HD < 0,5$$

Zu viele Faktoren, die das Bild verfälschen können, brauchen bestimmten Freiheitsgrad. Aber eine zu hoch gesetzte Schwelle kann zu Mehrdeutigkeiten führen. Eine zu enge könnte aber, z. B. bei sehr schlechter Qualität des Bildes oder zu vielen Rauschfaktoren, sogar das passende Stück aussortieren.

Der Algorithmus wurde in USA, UK und Japan eingesetzt. Es gab 2150 unterschiedliche Irisbilder. Die Identifikation verlief fehlerfrei, wobei über 2,3 Millionen Versuche durchgeführt wurden. Diese Feldversuche haben keine falschen Ergebnisse geliefert. Das ist eine der praktischen Erfahrungen, die gemacht wurden. Es beschreibt jedoch noch nicht die Dimensionen von Datenbanken, die Einträge von hunderttausenden von Menschen beinhalten.

### **2.6. Theoretische Wahrscheinlichkeiten**

Der praktische Nutzen von sehr großen Zahlen, die theoretisch untersucht werden, liegt in der Frage, ob das Verfahren auch für große Datenbanken zuverlässig ist. Man stellt aufgrund vom tatsächlichen Werten theoretische Formeln auf, um das Fehlverhalten für große Datenbanken zu beschreiben.

Wenn  $p_1$  die Wahrscheinlichkeit eines falschen Ergebnisses bei einer eins-zu-eins Identifizierung ist, so ist  $p_N$  die Wahrscheinlichkeit, ein falsches Ergebnis während einer Datenbanksuche mit  $N$  Einträgen:

$$p_N = 1 - (1 - p_1)^N$$

Wenn die Wahrscheinlichkeit  $p_1$  sehr klein ist, so ist die Approximation von  $p_N < 10^{-8}$ . Damit bekommt man nun einige Zahlen, die für sehr große Datenbanken sehr gute und zuverlässige Ergebnisse liefern. Hier sind einige von Ihnen.

HD Criterion	Odds of False Match
0,26	1 in $10^{13}$
0,33	1 in 2,9 million
0,35	1 in 105000

*single false match probabilities for various HD criteria*

## **2.7. Entscheidungsumgebung der Iriserkennung**

Wir haben gesehen, dass das entscheidende Kriterium für die Iriserkennung und Identifikation unter vielen anderen, die Auswahl der Schwelle ist. Tatsächlich muss dieses Grenzkriterium an jeweilige Suche angepasst werden.

Die Einflüsse der Umwelt können das Bild soweit verfälschen, so dass die Erkennung der gleichen Iris nicht stattfinden kann, falls die Grenze vom Anfang an zu scharf gewählt wird.

Dieses geschieht während der Auswertung. Am Anfang wird eine relativ hohe Grenze gesetzt, die etwa 0,499 entspricht. Dadurch werden die meisten in der Datenbank enthaltenen Einträge aussortiert. Es verbleiben einige „ähnliche“ Irismuster. Die Schwelle wird erneut gesetzt, niedriger, und dies solange, bis nur noch ein Datensatz übrig bleibt.

## **2.8. Geschwindigkeit**

Für die Iriserkennung spricht nicht zuletzt die Geschwindigkeit der Bearbeitung, die der Algorithmus und die Bearbeitung des Bildes brauchen.

<b>Operation</b>	<b>Time</b>
assess image focus	15 ms
scrub specular reflections	56 ms
localize eye and iris	90 ms
find pupillary boundary	12 ms
detect and find both eyelids	93 ms
remove lashes and contact lens edges	78 ms
demodulation and iriscodes creation	102 ms
XOR comparison of two iriscodes	10 $\mu$ s

*300 MHz Sun workstation, speeds of various stages in the iris recognition process*

Die Engine ist fähig, 100.000 Vergleiche pro Sekunde stattfinden zu lassen. Das bedeutet, dass die Identifizierung innerhalb einer Sekunde fertig ist.

Große Datenbanken können in 100.000-Teile zerlegt und parallel untersucht werden.

## **3. Einsatzmöglichkeiten, Versuche**

Wie fast alle biometrischen Verfahren hat die Iriserkennung den Vorteil, dass die Merkmale nur sehr schwer zu fälschen sind. Bei dem Auge sind die Versuche, das System zu täuschen, leicht von der entsprechenden Software abzufangen. Ein Glasauge pulsiert nicht, was man beim Auge mit jedem Pulsschlag beobachten kann. Die Linsen, die die Muster nachbilden, sind flach und reflektieren das Licht ganz anders, als die gewölbten Iris und die normalen Kontaktlinsen. Sogar wenn man versucht, dem System das Auge eines Toten zu zeigen, ist es dennoch überprüfbar. Die Pupille dehnt sich auf über 80% aus, der Augapfel wird sehr matt und trübe.

In Oakland und Amsterdam wurde in Flughäfen Iriserkennung eingesetzt, um die Passagiere eindeutig zu identifizieren, damit die Abfertigung zu beschleunigen. Der Passagier führt eine Iris-Card mit, die für 90 US-Dollar für 4 Jahre ausgestellt wurde. Der

Vorgang dauert in etwa 10 sec. Die Daten wurden aus Datenschutzgründen nicht in eine Datenbank gespeichert. Dieses Verfahren wäre sehr nützlich vor allem für Geschäftreisende, für die damit sehr viel Zeit beim Einchecken erspart werden kann.

An sich braucht es nicht viel, um ein Iriserkennungs-System zu installieren. Eine digitale Kamera, ein Computer und dazugehörige Software sind ausreichend. Jetzt muss es von allen, die das System identifizieren muss, eine Irisaufnahme geben, die mit derselben Software bearbeitet werden kann und in eine interne Datenbank oder auf eine Iris-Card gespeichert wird.

#### **4. Missbrauch von Irisinformationen**

Biometrische Verfahren erregen viel Aufsehen, weil dabei persönliche Informationen gespeichert werden, die viel mehr Spielraum für den Missbrauch lassen, als ein herkömmlicher Ausweis.

In der Standardmedizin wird die Untersuchung des Auges oft für die Diagnostik einiger Krankheiten (Diabetes, Gelbsucht etc.) herangezogen. Dies geschieht anhand des vollständigen Bildes. Der Bitcode ist nicht mehr nutzbar, da er nur die Muster beschreibt und Informationen nur über die Iris, nicht über das vollständige Auge enthält.

Irisdiagnose wird auch häufig von Heilpraktikern als Diagnosenmittel eingesetzt. Sie benutzen auch das farbige Bild des Auges, so wie es am Anfang bei der Aufnahme des Bildes existiert. Die Methoden werden von vielen zwar belächelt, gibt aber beispielsweise einem Arbeitgeber persönliche Informationen in die Hand, die gegen einen Mitarbeiter verwendet werden können, um ihn einzuschätzen. Das Resultat ist das gleiche, ob in der Standardmedizin eingesetzt oder nicht.

## **Literatur**

1. John Daugman – How Iris Recognition Works (2001)

<http://www.cl.cam.ac.uk/users/jgd1000/>

2. Michael Behrens, Richard Roth (Hrsg.) –

Biometrische Identifikation – Grundlagen, Verfahren, Perspektiven

3. Online-Artikel:

<http://www.heise.de/newsticker>

<http://news.altavista.com/>

Appendix:

- Irisdiagnose

- Vergleich zwischen verschiedenen biometrischen Erkennungsverfahren

- Advantages and Disadvantages of the Iris for Identification

# Irisdiagnose

Wenngleich der Schwerpunkt der naturheilkundlichen Augendiagnostik ohne Zweifel im Bereich der Regenbogenhaut (Iris) liegt, werden doch bei der ganzheitlichen Befunderhebung auch besondere Merkmale der Sklera (das Weiße im Auge), der Pupille, der Augenlider und der Augenumgebung mit bewertet. Die bei jedem Menschen in verschiedener Anordnung, jedoch insgesamt als sehr ähnliche Zeichen, auch Phänomene genannt, immer wiederkehrenden Hinweise auf Stoffwechselprozesse und Reaktionsmuster des Organismus dienen als ganzheitliches Diagnoseraster, welches erst zum jeweiligen Menschen in Bezug gesetzt werden muss, bevor ein therapeutisch erfassbarer Befund erhoben werden kann. Nichtsdestoweniger gelingt es erstaunlich oft, mit Hilfe der Irisdiagnostik sehr konkrete Aussagen über bestimmte Organe oder Körperbereiche des Patienten zu machen: Kopfschmerzen, allergische Haut- und Schleimhauterkrankungen, Gelenkschmerzen an Knie oder Hüfte, Schilddrüsen- oder Magenbeschwerden (um nur einige zu nennen), können vom Kundigen durch ihre spezielle Zeichensetzung häufig in den ersten Sekunden der Betrachtung erkannt werden. Trotzdem handelt es sich bei der Augendiagnose nicht um eine Diagnose im klinischen Sinne, zum einen, weil sich optische Phänomene schlecht in exakte naturwissenschaftliche Daten übersetzen lassen, zum anderen, weil einige Stoffwechselprozesse ihre Zeichen in der Iris *vor*, einige leider erst *nach* dem Auftreten klinisch diagnostizierbarer Erkrankungen setzen.

In den meisten Fällen liefert die Augendiagnose jedoch einerseits eine treffende Zustandsbeschreibung des momentanen Stoffwechselgeschehens wie Leber- und Nierenfunktion, Sauerstoffmangel im Zellinneren, Gehirndurchblutung, ja sogar bestimmter seelischer, "psychosomatischer" Beschwerden, andererseits ermöglicht sie eine Art Vorschau auf die Gesundheitsentwicklung des Einzelnen, wenn prägnante Phänomene eine Entgleisung des Organismus wahrscheinlich werden lassen.

In vielen Kulturen wird dem Auge besondere Bedeutung beigemessen und als Fenster zur Seele betrachtet. Der ungarische Arzt Dr. Peczely hat 1881 die Beschreibungen der

Irisdiagnose zusammengefasst. Das rechte Auge repräsentiert die rechtsseitigen Organe, das linksseitige Auge die linksseitigen Organe. Im Auge erkennt der Irisdiagnostiker Veränderungen und kann diese zur Früherkennung oder zur Feststellung genetisch bedingter Krankheiten einsetzen. Das Auge verrät durch feine strahlenförmige Linien, Ausbuchtungen, dunkle und helle Tupfen, wolkige Gebilde oder Flecken den körperlichen Zustand. Mittels eines Stereomikroskops werden Diaaufnahmen gemacht, um über Art, Größe und Ausprägung bestimmter Zeichen auf der Iris, Aussagen zu machen. Angeborene oder erworbene Krankheiten und chronische Leiden werden sichtbar, um eine weitere Behandlung dementsprechend auszurichten.

Kennt man die organischen Schwachstellen, dann können vorbeugende Therapien eingeleitet werden. Dr. W. LANG von der Universität Heidelberg hat 1959 den Beweis erbracht, dass Nervenverbindungen von allen Körperteilen zur Regenbogenhaut bestehen. Dadurch lässt sich erklären, wie es zu den Veränderungen im Auge als Antwort auf eine gestörte Organfunktion kommt.

### Vergleich zwischen verschiedenen biometrischen Erkennungsverfahren

Biometrics	Universality	Uniqueness	Permanence	Collectability	Performance	Acceptability	Circumvention
Face	High	Low	Medium	High	Low	High	Low
Fingerprint	Medium	High	High	Medium	High	Medium	High
Hand Geometry	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium
Keystrokes	Low	Low	Low	Medium	Low	Medium	Medium
Hand Vein	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	High
Iris	High	High	High	Medium	High	Low	High
Retinal Scan	High	High	Medium	Low	High	Low	High
Signature	Low	Low	Low	High	Low	High	Low
Voice Print	Medium	Low	Low	Medium	Low	High	Low
F. Thermograms	High	High	Low	High	Medium	high	High
Odor	High	High	High	Low	Low	Medium	Low
DNA	High	High	High	Low	High	Low	Low
Gait	Medium	Low	Low	High	Low	High	Medium
Ear	Medium	medium	High	medium	Medium	High	Medium

### **Advantages of the Iris for Identification**

- Highly protected, internal organ of the eye
- Externally visible; patterns imaged from a distance
- Iris patterns possess a high degree of randomness
  - variability: 244 degrees-of-freedom
  - entropy: 3.2 bits per square-millimeter
  - uniqueness: set by combinatorial complexity
- Changing pupil size confirms natural physiology
- Pre-natal morphogenesis (7th month of gestation)
- Limited genetic penetrance of iris patterns
- Patterns apparently stable throughout life
- Encoding and decision-making are tractable
  - image analysis and encoding time: 1 second
  - decidability index (d-prime):  $d' = 7.3$  to 11.4
  - search speed: 100,000 IrisCodes per second

### **Disadvantages of the Iris for Identification**

- Small target (1 cm) to acquire from a distance (1 m)
- Moving target ...within another... on yet another
- Located behind a curved, wet, reflecting surface
- Obscured by eyelashes, lenses, reflections
- Partially occluded by eyelids, often drooping
- Deforms non-elastically as pupil changes size
- Illumination should not be visible or bright
- Some negative (Orwellian) connotations