

Iriscodegenerierung

Seminararbeit

Universität Paderborn
Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und
Mathematik
Institut für Informatik



Paderborn Center for Parallel Computing

Christoph Scholz

31.05.2007

Projektgruppe CSI PC²

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Biologie des Auges	4
3	Algorithmus	5
3.1	Extraktion der Iris aus dem Bild	6
3.2	Normalisierung der Iris	8
3.3	Generierung des Iriscodes	9
4	Ausblick	12

1 Einleitung

Ein Ziel der automatischen Erkennung von Personen ist es, individuelle biometrische Verhaltens- oder Körpercharakteristika zu finden. Biometrische Systeme, die zur automatischen Erkennung eingesetzt werden, basieren zum Beispiel auf Fingerabdrücken, Gesichtsmerkmalen, Sprache, Handschrift, Retina und Iris.

Ein gutes biometrisches Merkmal zur Identifikation von Personen zeichnet sich dadurch aus, dass die Wahrscheinlichkeit, dass 2 Personen die gleiche Charakteristik dieses Merkmals besitzen minimal ist und sich die Charakteristik auch über einen längeren Zeitraum nicht ändert. Eine Schwierigkeit der Gesichtserkennung liegt zum Beispiel darin, dass das Gesicht ein veränderbares Organ ist. So treten zum Beispiel bei guten Gesichtserkennungsalgorithmen Fehlerquoten von 43% bis 50% [1] auf, wenn Aufnahmen in einem zeitlichen Abstand von einem Jahr verglichen werden. Außerdem werden die Resultate der Gesichtserkennung schon durch unterschiedliche Beleuchtung stark beeinflusst. Somit eignet sich die Gesichtserkennung, nach dem heutigen Stand nicht sonderlich zur Personenidentifikation.

Ein biometrisches Merkmal, dessen Muster über einen sehr langen Zeitraum nahezu stabil bleibt und bei jedem Menschen individuell ist, ist die Iris [7]. Die Wahrscheinlichkeit, dass das Irismuster zweier Menschen zufällig übereinstimmt, liegt bei 1 zu 10^{78} . Ein weiterer Vorteil der Iriserkennung liegt darin, dass die Erkennung relativ unempfindlich gegenüber dem Beleuchtungswinkel ist. Auch die Musterverzerrung, die durch pupillare Erweiterung entsteht, ist rechnerisch reversibel. Eine Methode zur Kodierung und Erkennung des Irismusters wurde erstmals 1993 von John Daugman vorgestellt. [3]

Im Jahr 2006 wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem 632.500 Irisbilder verglichen wurden. Es trat keine einzige Doppelung auf [2].

Ziel dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, das Verfahren von Daugman zur Kodierung der Iris zu beschreiben. Dabei wird zunächst die Extraktion der Iris aus dem Bild beschrieben. Dann wird gezeigt, wie dieses Bild kodiert wird.

Aubau der Arbeit

Die Arbeit besteht aus 3 Kapiteln. Im 2. Kapitel wird auf die Biologie des Auges eingegangen. In Kapitel 3 werden der Algorithmus zur Extraktion der Iris aus einem Bild und die Kodierung der Iris vorgestellt.

2 Biologie des Auges

Die Iris - auch Regenbogenhaut genannt - beginnt sich im dritten Monat der Schwangerschaft zu bilden. Diese Entwicklung ist bis zum achten Monat weitgehend abgeschlossen. Es kann jedoch vorkommen, dass die Pigmentablagerungen sich noch einige Jahre nach der Geburt fortsetzen.

Die Iris reguliert den Lichteinfall in die Pupille und hat in der Regel einen Durchmesser von 12 mm. Die Größe der Pupille kann dabei, je nach Lichteinfall, zwischen 10% und 80% des Durchmessers der Iris variieren [5]. Die Iris besteht aus 2 Schichten. Der vordere Teil wird als Stroma bezeichnet, der hintere Teil ist das Pigmentblatt. Das Pigmentblatt enthält Pigmente, die bewirken, dass das Streulicht gefiltert wird. Dadurch wird die Optik verbessert. Ein hoher Pigmentanteil im Stroma färbt die Iris braun, ein niedriger Anteil grün bis blau. Beim Albinismus fehlt das Pigment völlig, so dass die Iris durchscheinend ist.

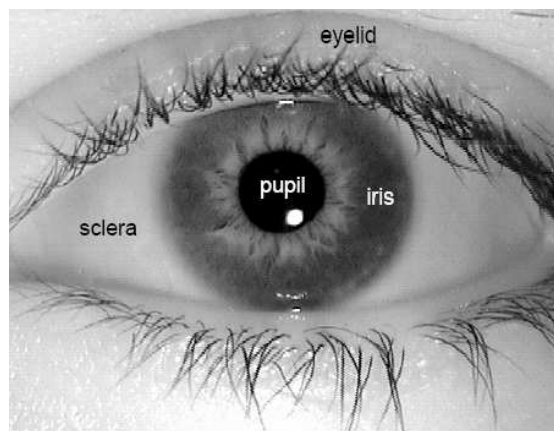


Abbildung 1: Iris

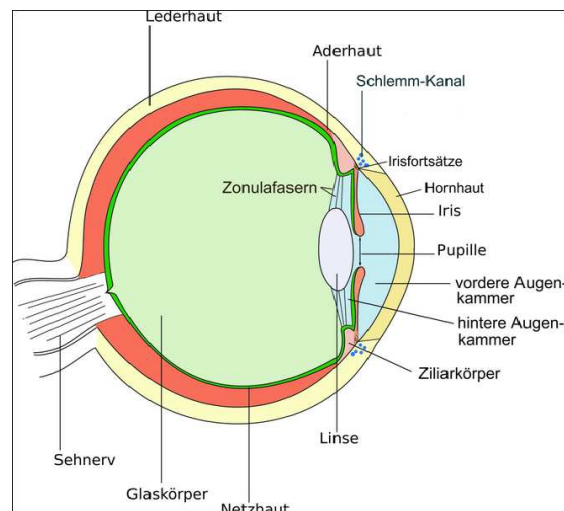


Abbildung 2: Aufbau der Iris

Warum ist die Iris als besonderes Identifikationsmerkmal so geeignet ?

Die Iris eignet sich so besonders als eindeutiges Identifikationsmerkmal, da sie bei jedem Menschen einzigartig ist. Selbst die Irismuster des rechten und linken Auges derselben Person,

sowie die von eineiigen Zwillingen, weisen unterschiedliche Strukturen auf [6]. Eine weitere Besonderheit ist, dass sich die Iris eines Toten leicht von der Iris einer lebenden Person unterscheiden lässt, da sich die Pupille eines Toten auf über 80% des Irisradius ausdehnt. Weiterhin bleibt das Muster der Iris über einen sehr langen Zeitraum stabil. All diese Merkmale machen eine gute Identifikation von Personen möglich.

3 Algorithmus

Ziel dieses Kapitels ist es, einen Algorithmus vorzustellen, der einen Iriscode erzeugt.

Um den Iriscode zu erstellen wird in folgenden Schritten vorgegangen.

1. Extraktion der Iris aus dem Bild.
2. Normalisierung der Iris.
3. Generierung des Iriscodes.

Um ein Bild von einem Auge zu erzeugen, sollten monochrome Kameras eingesetzt werden, die eine NIR-Beleuchtung im Wellenlängenbereich von 700 nm bis 900 nm besitzen. Dies ist erforderlich, um das System für das menschliche Auge unsichtbar und unauffällig zu machen. Die Strukturen der Iris bei dunklen Augen lassen sich nicht so gut erkennen. Die Farben der Pigmente, die für die Augenfarbe verantwortlich sind, liegen in einem Wellenlängenbereich von 300 - 700 nm. Deswegen ist es notwendig die Iris mit nahezu unsichtbarem Licht im nahen Infrarotbereich (700-900 nm) zu beleuchten. Durch diese Maßnahme lassen sich dann die Strukturen der Iris auch bei dunklen Augen sehr gut erkennen. Das Auge selber nimmt elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von 380 nm bis etwa 780 nm wahr. Wichtig ist es zu wissen, dass die Augenfarbe bei der Generierung des Iriscodes keine Rolle spielt.

Um die vielen Einzelheiten (siehe Abbildung 3) des Irismusters zu erfassen, sollte die Auflösung des Abbildungssystems nicht weniger als 70 Pixel des Irisradius betragen [5]. Überlicherweise werden besser 100 - 140 Pixel des Irisradius aufgelöst.

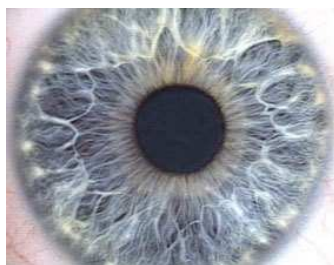


Abbildung 3: Komplexität der Iris

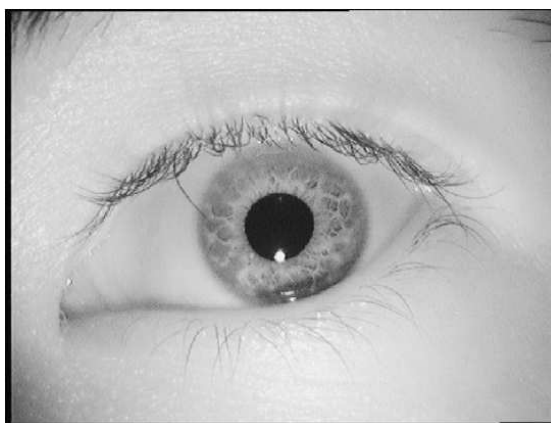


Abbildung 4: Aufnahme der Iris im nahen Infrarotbereich

3.1 Extraktion der Iris aus dem Bild

Ziel ist es, die Grenzen der Iris zu lokalisieren, um so eine Extraktion der Iris aus dem Bild durchführen zu können. Dabei ermittelt man zunächst die Grenze zwischen Pupille und Iris. Anschließend werden die Grenzen zwischen Iris und Sklera, sowie zwischen Iris und Augenlid ermittelt. Mit den nun gefundenen Grenzen kann die Iris aus dem Bild extrahiert werden. Um gute Resultate zu erzielen, ist es erforderlich die Grenzen zwischen Pupille und Iris bzw. zwischen Iris und Sklera getrennt zu ermitteln, da der Mittelpunkt der Iris meist von dem Mittelpunkt der Pupille abweicht.

Eine Technik zum extrahieren der Iris aus dem Bild wurde 1993 von John Daugman vorgestellt [3].

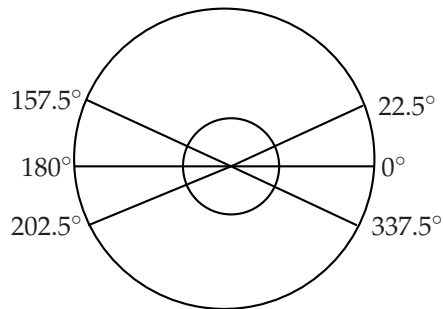
Daugman beschreibt dabei einen Erkennungsoperator mit der folgenden Gleichung :

$$\max_{(r,x_0,y_0)} \left| G_\sigma * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right|, \quad (1)$$

wobei $I(x,y)$ ein Bild vom Auge ist (siehe Abbildung 4). G ist eine Glättungsfunktion mit Skalierungsfaktor σ , $*$ steht für die Faltung, s bezeichnet den Kreisbogen mit Radius r und Mittelpunktkoordinaten (x_0, y_0) .

Für jeden Mittelpunkt (x_0, y_0) werden konzentrisch wachsende Kreise mit Radius r definiert. Für jeden konzentrischen Kreis wird nun der durchschnittliche Wert der Pixel entlang der Kontur des jeweiligen Kreises berechnet. Der Wert, für den der Durchschnittswert am signifikantesten bezüglich des Wertes des zuletzt berechneten Kreises steigt, ist der gesuchte Parameter. Dieses Vorgehen wird zum Finden der Grenze zwischen Pupille und Iris benutzt.

Um die Grenzen zwischen Iris und Sklera zu finden, muss der Operator leicht modifiziert werden. [9]. Aufgrund des oberen und unteren Augenlides, sowie der Tatsache, dass die linke und rechte Seite der Iris unterschiedlich groß sein können, werden keine konzentrischen Kreise zum finden der Grenzen mehr verwendet. Stattdessen benutzt man 2 horizontale "Pie Wedges", die auf 0 und 180 Grad der Pupille gesetzt werden (siehe Abbildung). Jedes "Pie-Wedge" deckt genau 45 Grad der Irisfläche ab. Dies stellt sicher, dass nur Teile der Iris betrachtet werden.



Daugman beschreibt diesen Vorgang durch den folgenden Operator : [9]

$$\max_{r \in [1.5r_0, 10r_0]} \frac{\partial}{\partial r} \int_{p=r-\delta}^{r+\delta} \frac{2}{\pi\delta r} \int_{\phi=\theta-\pi/8}^{\theta+\pi/8} I(p, \theta) p dp d\theta \quad (2)$$

Dabei bezeichnet r_0 den zuvor berechneten Pupillenradius, δ ist eine kleine radiale Hülle, mit $\delta \approx 0.1r_0$. Der Wert von ϕ ist entweder 0 oder 180 (π), abhängig davon, ob die linke (180) oder rechte (0) Grenze (Iris/Sklera) berechnet wird. Das für r ein Wert zwischen dem 1.5 und 10-fachen des Pupillenradius genommen wird, hat sich laut Daugman als sehr gut erwiesen[9]. Durch die getrennte Ermittlung des linken und rechten Randes bekommt man nun zwei Radien, einen für den Abstand vom Mittelpunkt zum linken Rand und einen zum rechten Rand der Iris. Als Ergebnis der Berechnung bekommt man also nun die Grenze der Iris zur Sklera, sowie den Radius zur linken und rechten Seite der Iris.

Anschließend wird die Grenze zwischen Iris und Augenlid ermittelt. Dabei wird nun wieder der Operator (1) verwendet. Es werden aber anstatt der kreisförmig konzentrisch wachsenden Kreise bogenförmige Linien benutzt.

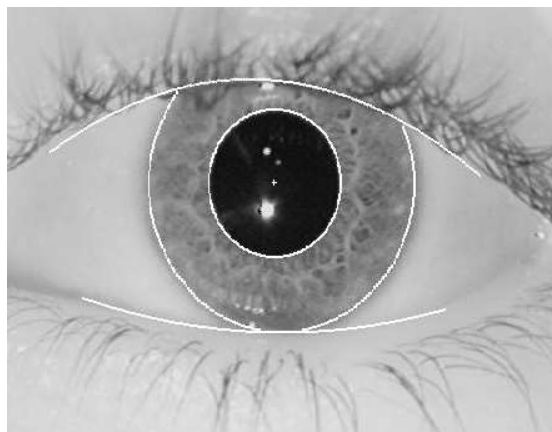


Abbildung 5: Grenzen der Iris

Diese Methode bietet zusätzlich eine Möglichkeit, um die Sicherheit bei der Authentifizierung zu erhöhen. Angreifer versuchen, die Iriserkennung zu überlisten, indem sie sich durch ein Foto, der Iris einer zugangsberechtigten Person, Eintritt verschaffen wollen. Eine andere Möglichkeit der Überlistung ist, Kontaktlinsen mit Mustern von einer legitimisierten Iris zu tragen.

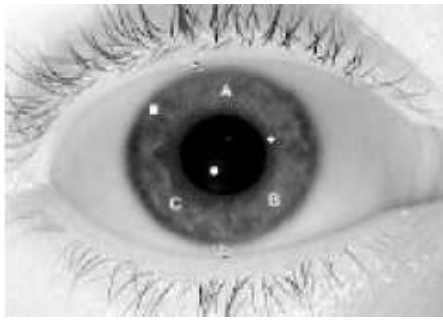


Abbildung 7: Iris

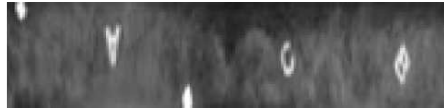


Abbildung 8: Polardarstellung

Eine wichtige Eigenschaft eines lebendigen Auges ist, dass der Pupillendurchmesser sich in einer Sekunde ein bis zweimal minimal verändert [9]. Durch das Messen des Pupillenradius in bestimmten Zeitabständen lässt sich diese Eigenschaft dazu nutzen, eine unechte Iris zu erkennen.

3.2 Normalisierung der Iris

Eine Normalisierung der Iris ist notwendig, um zu gewährleisten, dass im Laufe des Vergleichs stets die gleichen Regionen der Iris miteinander verglichen werden. Veränderungen der Iris können zum Beispiel durch Lichteinfluss entstehen. Ein Modell zur Normalisierung der Iris wird in Abbildung 6 gezeigt [8].

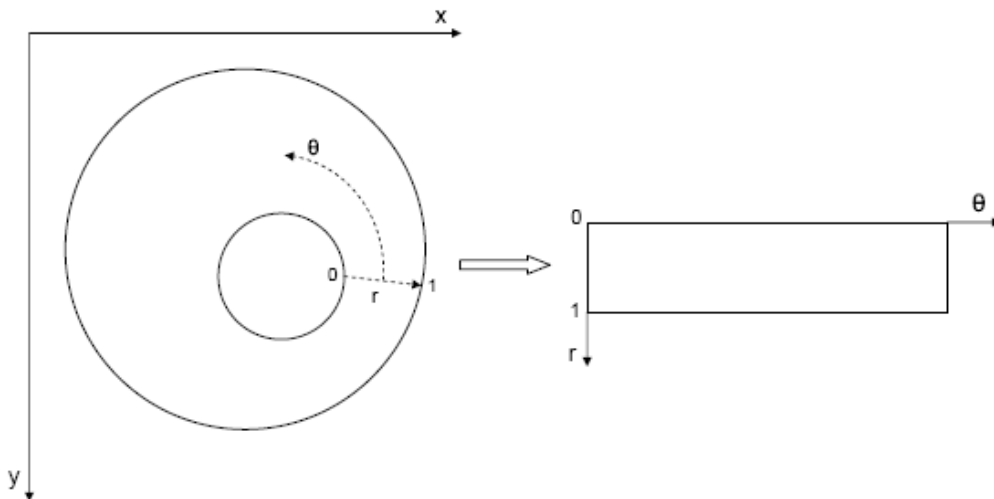


Abbildung 6: Iris

In diesem Modell wird jeder Punkt (x, y) der Iris in ein pseudopolares Koordinatensystem mit Koordinaten (r, θ) transformiert. Dabei gilt: $(r, \theta) \in \{[0, 1] \times [0, 2\pi]\}$. Daugman beschreibt diesen Prozess durch die folgende Formel:

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta), \quad (3)$$

wobei

$$\begin{aligned}x(r, \theta) &= (1 - r)x_p(\theta) + rx_i(\theta) \\y(r, \theta) &= (1 - r)y_p(\theta) + ry_i(\theta)\end{aligned}\tag{4}$$

gilt. Hier bezeichnet $x_p(\theta)$ einen Punkt, der auf der Grenze Pupille/Iris liegt. Analog bezeichnet $x_i(\theta)$ einen Punkt auf der Grenze Iris/Sklera. Der Winkel θ bezieht sich immer auf den Mittelpunkt.

Aus der Normalisierung ergeben sich folgende Vorteile [9][10]:

- Unabhängigkeit von der Pupillendilatation.

Da die Pupille den Lichteinfall in das Auge reguliert, und sich die Pupille bei geringen Lichtverhältnissen erweitert bzw. bei starken Lichtverhältnissen zusammenzieht, variiert die Größe der Iris. Die Transformation in das pseudo-polare Koordinatensystem garantiert allerdings eine robuste Projektion. Die Irisgröße ist ebenfalls von der Entfernung des Auges von der Kamera abhängig.

- Anpassung der Analyse an die radiale Struktur der Bilddaten.

Ein Großteil der Isirmuster hat eine radiale Ausrichtung. Das ringförmige Koordinatensystem unterstützt diese Eigenschaft.

- Bei Änderungen der Lage des Auges, die zum Beispiel durch Neigung des Kopfes auftreten, kann dies durch das ringförmige Koordinatensystem leicht behoben werden.

3.3 Generierung des Iriscodes

Ziel dieses Kapitels ist es, zu beschreiben, wie der Iriscode berechnet wird.

Eine Methode um strukturelle Informationen zu einem Bild zu bekommen ist die Verwendung eines 2D Gabor-Filters[9]. Dieser Filter entsteht, wenn man ein Gaußfenster mit einer komplexen Welle der Frequenz ω multipliziert. Ein 2D Gabor-Filter ist eine lokale wellenförmige Funktion, die über verschiedene Größen und Positionen definiert wird. Diese Funktion wird mit den Rohdaten (Grauwerte des Irisbildes) des Bildes multipliziert. Über die Resultate wird dann integriert. Das Ergebnis dieser Integration sind Koeffizienten, die Informationen zu den Strukturen des Bildes wiedergeben. Ein 2D Gabor-Filter ist wie folgt definiert :

$$G(r, \theta) = e^{-2\pi i \omega(\theta - \theta_0)} e^{-(r - r_0)^2 / a^2} e^{-(\theta - \theta_0)^2 / \beta^2},\tag{5}$$

wobei (r, θ) Polarkoordinaten und α, β Konstanten sind. Über diese Konstanten wird später die Ausdehnung spezifiziert. Eine Anwendung der Gaborfilter ist in Abbildung 9 [9] zu sehen.

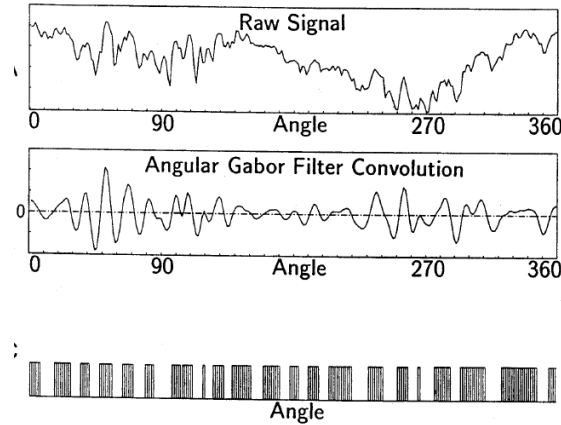


Abbildung 9: Anwendung des Gaborfilters auf Rohdaten

Abbildung 9 zeigt das Rohsignal für die Grauwerte, mit einem bestimmten Radius, rund um die Iris. Das zweite Bild zeigt die Antwort des Gaborfilters.

Die Größe des Iriscodes ist 256 Byte. Diese Größe begründet sich laut Daugman [3] aus der Überlegung, dass die Größe ungefähr der Kapazität des Magnetstreifens einer drei-kanaligen Standard-Kreditkarte nach ISO-7811 entspricht.

Um die 256 Byte Signatur zu berechnen werden folgende Formeln benutzt [9] :

$$h_{Re}(r_0, \theta_0) = 1 \text{ if } Re \int_p \int_\phi I(p, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - p)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} p dp d\phi > 0 \quad (6)$$

$$h_{Re}(r_0, \theta_0) = 0 \text{ if } Re \int_p \int_\phi I(p, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - p)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} p dp d\phi \leq 0 \quad (7)$$

$$h_{Im}(r_0, \theta_0) = 1 \text{ if } Im \int_p \int_\phi I(p, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - p)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} p dp d\phi > 0 \quad (8)$$

$$h_{Im}(r_0, \theta_0) = 0 \text{ if } Im \int_p \int_\phi I(p, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - p)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} p dp d\phi \leq 0 \quad (9)$$

In diesen Formeln finden folgende Koeffizienten Verwendung.

- α und β sind Skalierungsparameter der Gaborwavelets. Dabei ist α für die horizontale und β für die vertikale Skalierung verantwortlich.
- θ_0 und r_0 sind die Koordinaten des Gaborwavelets.
- ω ist die mittlere Frequenz des zweidimensionalen Gaborwavelets

In den Formeln wird über das Produkt des Gaborfilters mit dem Grauwert des Bildes integriert. Dabei erhält man einen Wert für gerade (Realteil) und schräge Symmetrien (Imaginärteil) des Bildes. Die Struktur der Iris wird also durch Phasoren der komplexen Ebene repräsentiert. Dabei wird jeder Phasor in einen Quadranten des Einheitskreises quantisiert (siehe Abbildung 10). Hierbei ist zu beachten, dass nur die Phase des Phasors, nicht aber die Amplitude des Phasors für den Iriscode eine Rolle spielt. Reagiert ein Gaborfilter positiv (> 0) auf die Eingabedaten wird eine 1, andernfalls (≤ 0) eine 0 im Iriscode gesetzt.

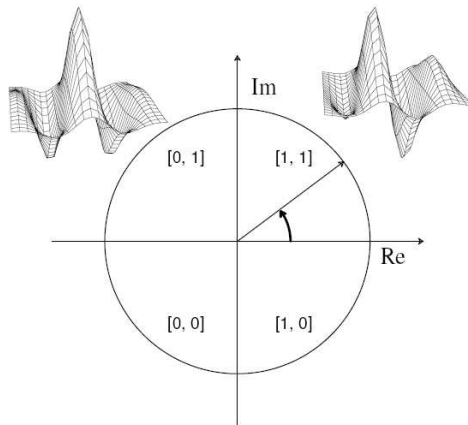


Abbildung 10: Quantisierung

Aufgrund des kreisförmigen Koordinatensystems werden eine Reihe von "Analysebändern" definiert. Diese haben jeweils einen Radius p . Aus dieser Tatsache folgt, dass Bildpunkte, die nah an der Pupille liegen mehr Gewicht haben, als Punkte die weiter außen zur Sklera hin liegen (siehe Abbildung 11).

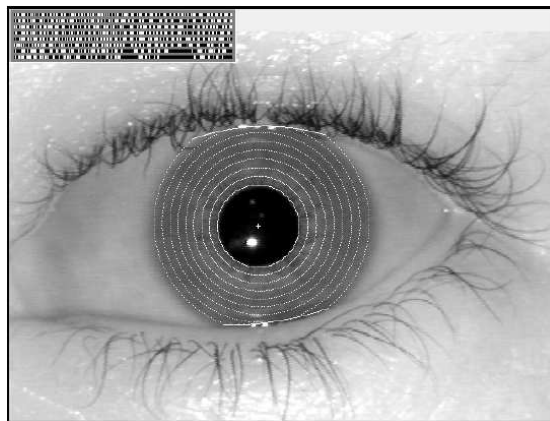


Abbildung 11: Analysebänder

Insgesamt hat der zu berechnende Iriscode eine Größe von 256 Byte (siehe Abbildung 12) = 2048 Bit. In jedem Durchlauf (Berechnung eines Waveletkoeffizienten) von 6-9 werden 2 Bits des Codes gesetzt. Es sind also insgesamt 1024 Waveletkoeffizienten zu berechnen.

Position der Analysebänder

Bei der Positionierung der Analysebänder ist folgendes zu beachten : [9][10]

- Der Radius des innersten Analysebandes beträgt ca. das 1,1-fache des Pupillenradius. Diese Wahl begründet sich darin, dass sichergestellt sein muss, dass alle Bereiche der Pupille von der Analyse ausgeschlossen werden.
- Der Radius des äußersten Analysebandes beträgt ca. 80% des Abstandes zwischen der Grenze Pupille/Iris und Iris/Sklera. Diesen verhältnismäßig großen Abstand erklärt Daugman mit dem Fakt, dass die Iris oft nicht exakt kreisförmig ist.

- Vom äußeren Analyseband ausgehend, werden mit festgelegtem radialen Abstand mindestens 8 Analysebänder definiert. (siehe Abbildung 11)
- Es ist allerdings nicht bekannt, ob es optimal ist, die Bänder gleichmäßig über den Irisring zu verteilen.

Skalierung und Frequenz der Wavelets[9][10]

- Es treten insgesamt 8 verschiedene Skalierungen der Wavelets auf.
- Daugman gibt an, dass sich α und β umgekehrt proportional zur Frequenz ω verhalten.
- Die Werte werden so gewählt, dass alle Wavelets selbstähnlich sind, sie also eine selbstähnliche Familie von "Frequency Selective Quadrature Filters" bilden.
- "They are self-similar, because the inverse proportionality of their size and frequency parameters renders them all dilates of each other sharing a common shape" [9]

Insgesamt müssen 1024 Punkte auf 8 Skalierungen und 8 Wavelets verteilt werden. Das bedeutet, dass eine durchschnittliche Anzahl von 16 Punkten auf einem Band verteilt werden muss. In jedem Band werden dann die Punkte mit verschiedenen Skalierungen der Wavelets untersucht.



Abbildung 12: Iriscodes

4 Ausblick

Ziel dieser Ausarbeitung war es, zu zeigen, wie aus einer Iris ein Iriscodes erzeugt wird. Es wurde nicht gezeigt, wie zwei Irismuster miteinander verglichen werden und ob eine Identifikation mit dieser Art der Codierung gut funktioniert. Daugman erstellte dazu ein statistisches Modell [3], das zeigt, wie effizient das Matching ist. Wie das Matching funktioniert und wie das statistische Modell aussieht, wird in der Seminararbeit von Nils Timm vorgestellt. Weiterhin wurde nicht gezeigt, wie eine Maske der Iris erstellt wird. Zu jedem Bit des Iriscodes wird ein Maskenbit erstellt, das anzeigt, ob der Bereich der Iris, für den das Bit erstellt wurde, durch eine Störung beeinflusst wird. Eine Störung kann zum Beispiel eine Wimper oder eine Reflektion sein.

Literatur

- [1] Phillips, P.J., Moon, H., Rizvi, S.A., and Rauss, P.J. (2000) The FERET evaluation methodology for face-recognition algorithms. *Trans. Pat. Anal. Mach. Intell.* 22(10): 1090-1104.
- [2] Daugman J (2006) "Probing the uniqueness and randomness of Iriscodes: Results from 200 billion iris pair comparisons." *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, no. 11, pp 1927-1935.
- [3] Daugman, J. (1993) High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. *Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* 15(11): 1148-1161.

- [4] Daugman, J. (1994) U.S. Patent No. 5,291,560: Biometric Personal Identification System Based on Iris Analysis. Issue Date: 1 March 1994.
- [5] J. Daugman. How iris recognition works. Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing, Vol. 1, 2002.
- [6] Physiology of the Eye. St. Louis, MO: Mosby, Adler F. (1965).
- [7] Iris recognition: an emerging biometric technology. Proc. IEEE, 85, 1348- 1363. Wildes R. (1997).
- [8] Recognition of human iris patterns for biometric identification. Requirement for the Bachelor of Engineering degree, University of Western Australia, Malek (2003)
- [9] United States Patent, Biometric Personal Identification System based on Iris Analysis, Inventor: John G. Daugman, Patent Nummer: 5.291.560, Date of Patent: Mar. 1. 1994.
- [10] Anwendung von Wavelets für diebiometrische Authentikation, Martin Johns (Diplomarbeit), 2003