Verfahren zur Detektion der Papille auf den Fundusbildern

István Pál

Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
Augenklinik mit Poliklinik, Labor für okuläre Perfusion
D-91054 Erlangen, Schwabachanlage 6.
Email: inpal@cip.informatik.uni-erlangen.de

Zusammenfassung Die Untersuchung der Papille (blinder Fleck, Sehnervkopf) auf dem Augenhintergrund ist bei den Zirkulationserkrankungen von großer Bedeutung. Die Papille ist auf den Fundusaufnahmen ein kreisartiges dunkles Gebiet. Die Lage der Papille wird durch die Berechnung mit Hilfe des Schwerpunktes grob bestimmt. Ausgehend aus dem Mittelpunkt des Sehnervkopfes werden mit Kantendetektion entlang eines Kreisbogens die maximalen Gradientsprünge bestimmt und die Papille wird segmentiert.

Schlüsselwörter: Papille, Sehnervkopf, Segmentierung

1 Einleitung

Die Papille (blinder Fleck, Sehnervkopf) ist die Stelle auf dem Augenhintergrund, wo die Sehnerven und Gefäßen ins Auge ein- und austreten. Die Untersuchung der Papille ist von großer Bedeutung bei Zirkulationserkrankungen des Auges. Die Morphologie des Sehnervkopfes ist sehr wichtig in der Glaukomdiagnostik [1], wo eine Veränderung der Papillenform auf die Erkrankung bzw. auf Absterben des Sehnerves hinweist.

Der Bereich der Papille zeigt auf den Fundusaufnahmen eine kreisartige dunkle Form, die abängig von Aufnahmetechniken spezielle Verarbeitung braucht. Für verschiedene Vermessungen auf dem Augenhintergrund kann der Mittelpunkt der Papille als Referenzpunkt dienen. Das Gebiet der Papille wird extra verarbeitet und so kann z.B. bei Scanning Laser Doppler Flowmetrie (SLDF) Aufnahmen die Durchblutung für temporale und nasale Seite getrennt bestimmt werden. Der Bereich der Papille selbst kann aus der Verarbeitung ausgelassen werden.

2 Segmentierung der Papille

Die Papille zeigt auf den Fundusaufnahmen eine kreisartige Form mit unterschiedlicher Größe und sie liegt meistens zentral auf den Bildern. Die Helligkeit dieses Bereiches ist dunkler als der andere Teil des Augenhintergrundes und im pathologischen Fall sind innerhalb der Papille keine Gefäße zu erkennen und sie ist ganz schwarz. In der Phase der Segmentierung des Sehnervkopfes wird entlang der Kreisbogenstücken nach maximalen Gradientsprüngen gesucht und mit Hilfe der Gradientmaximas werden die Parametern des Papillenkreises bestimmt.

2.1 Segmentierung auf Tomograph-Bildern

Die Retina-Tomograph-Bildern bieten die Möglichkeit für die Verwendung der Schichtbildern, mit denen auch das Papillencup im 3D-Raum dargestellt werden kann. Obwohl die Papille sich auf den Tomograph-Aufnahmen, wie Heidelberg Retina Tomograph (HRT) sehr einfach mit Hilfe der Tiefeninformationen aus den Helligketisprofilkurven segmentieren lässt, wird hier diese Möglichkeit nicht behandelt, weil die Tiefeninformationen bei anderen Fundusaufnahmen nicht vorhanden sind. Die in folgenden vorgestellten Methoden sind auch hier verwendbar.

2.2 Segmentierung auf den SLDF-Bildern

Das Ziel dieses Verfahrens ist einen möglichst schnellen Algorithmus zu finden, mit dem der Papillenbereich segmentierbar ist.

Die Segmentierung der Papille erfolgt durch die Bestimmung der Parametern eines Kreises (Mittelpunkt (x_c, y_c), Radius r). So basiert das folgende Verfahren auf einem schnellen Kreiszeichnenalgorithmus von Bresenham [2] und auf einem Kantenfilter. Bei den SLDF-Aufnahmen wird davon ausgegangen, dass der Mittelpunkt der Papille etwa in der Mitte bzw. etwa auf der Mittelzeile des Bildes liegt. Der Algorithmus sucht nach maximalen Gradientsprüngen in zwei Richtungen (rechts, links) entlang zwei Halbkreisen, deren Radien $r_1; r_2$ sind und deren Kreismittelpunkte in dem Mittelpunkt des Bildes liegen (siehe Abb. 1) [3]. So entstehen zwei Gradientmaxima und die zugehörigen Kreisen mit ihren Radien. Danach müssen die folgenden Korrekturen durchgeführt werden, um den Mittelpunkt und den Radius des Papillenkreises bestimmen zu können:

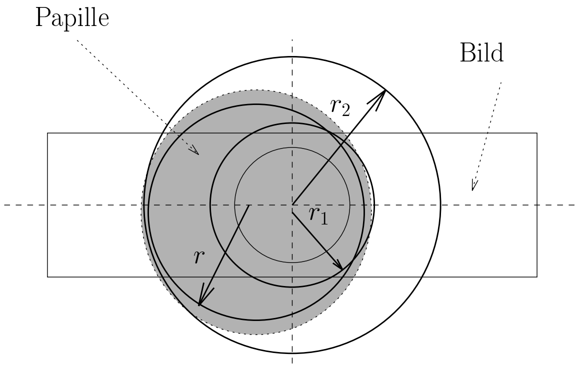
$$x_c = \frac{(x_c - r_2) + (x_c + r_1)}{2};\ y_c = y_c, \tag{1}$$

wobei x_c und y_c den Mittelpunkt des Bildes bezeichnen.

$$r = \frac{r_1 + r_2}{2} \tag{2}$$

Dieses Verfahren hat eine Beschränkung, weil der Papillenkreis nur um den Mittelpunkt des Bildes, der der Mittelpunkt der “Suchkreise” ist, gesucht wird. Damit können nur solche Bilder korrekt verarbeitet werden, in denen der Mittelpunkt der Papille in der Nähe der Mittellinie des Bildes liegt. Die Papillenbestimmung kann auch dann fehlerhaft sein, wenn innerhalb der Papille die Gefäße große Gradientsprünge haben (siehe Abb. 2 unten). Dieses Verfahren ist sehr schnell im Vergleich zu anderen Methoden, wie z.B. Hough Transformation oder statistische Verfahren, weil hier nur Additionen bzw. zwei Divisionen verwendet werden.

Abbildung1. Segmentierung des Papillenkreises



2.3 Die Bestimmung der Lage der Papille

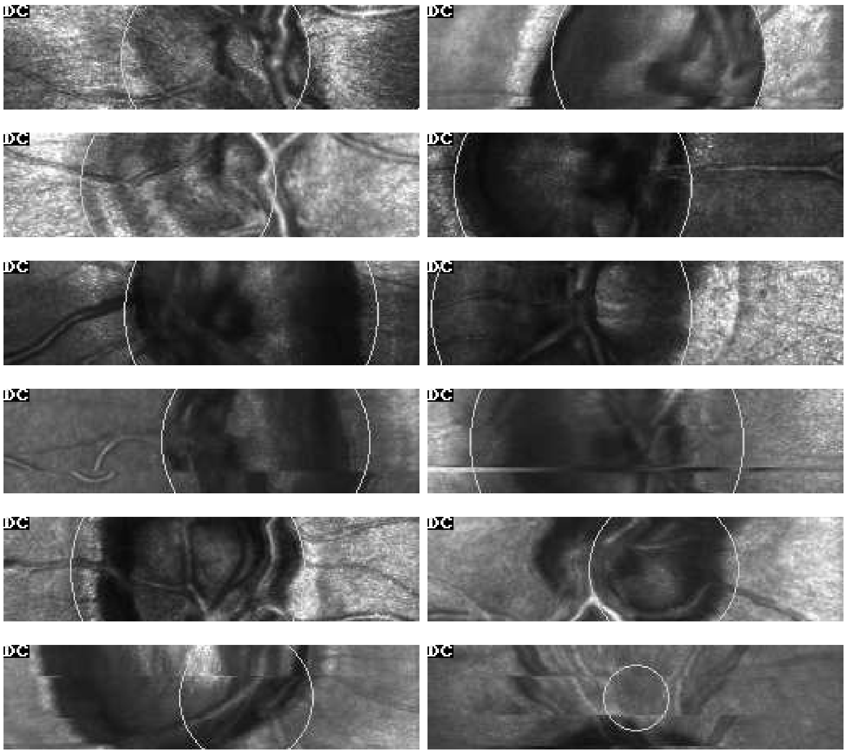
Obwohl für die Untersuchung der Papille die Aufnahmen über dem zentralliegenden Sehnervkopf gemacht werden, kommen in der Praxis solche Bilder vor, bei denen der bereits vorgestellte Algorithmus fehlerhaft funktioniert, also die Papille nicht zentral liegt. Deswegen wird ein Punkt, der nahe zur Papillenbereich (kann auch innerhalb der Papille sein) liegt, mit Hilfe der Schwerpunktberechnung bestimmt. Dafür werden auf dem Bild die Gefäßen und die Papille mit Erosion "verkleinert", damit die Gefäße möglichst gut verschwinden und sie werden schließlich binarisiert. Für die weißen und schwarzen Pixels auf dem binarisierten Bild wird der Schwerpunkt bestimmt und dessen arithmetischen Mittel wird als Mittelpunkt der Suchkreise für Kantendetektion verwendet. Aus diesem Punkt ausgegangen, wie im Abschnitt 2.2, wird der Papillenkreis bestimmt.

Das Kenntnis über die Lage der Papille spielt auch bei den Scanning Laser Doppler Flowmetrie (SLDF) Bildern eine wichtige Rolle. Der Papillenbereich kann wegen der Konfokalität der SLDF-Aufnahmetechnik "unscharf" sein, da dieser "cupförmige" Volumen im 3D-Raum meistens außerhalb der Tiefschärfe von 300μm liegt und so kann die Durchblutung auf diesem Bereich ungenau bestimmt und dargestellt werden. Deswegen muss dieses Gebiet aus der Verarbeitung entweder ausgelassen oder extra verarbeitet werden, um genauere Messergebnisse erreichen zu können. Außerdem können mit Kenntnis der Papillenlage die temporale und nasale Seite des Auges getrennt verarbeitet werden.

2.4 Verfeinerung des Randsuchens

Bei SLDF-Aufnahmen funktionierte das Kreisbogengradientverfahren mit zwei horizontalen Richtungen (rechts, links) auffallend gut. Bei anderen Fundusaufnahmen ist es nicht immer ausreichend, so können mehrere Kreisbogen, also eine feinere Einteilung des Kreises verwendet werden. Der Algorithmus sucht nach maximalen Gradientsprüngen in zwei Richtungen (rechts, links) horizontal und ebenfalls vertikal (oben, unten), entlang vier Halbkreisen ausgehend von dem

Abbildung2. Ergebnisse der Papillendetektion auf den SLDF-Bildern



groben Mittelpunkt der Papille, deren Radien r_1, r_2, r_3, r_4 sind. So entstehen vier Gradientmaxima und die zugehörigen Kreisen mit ihren Radien, die noch auch korrigiert werden müssen.

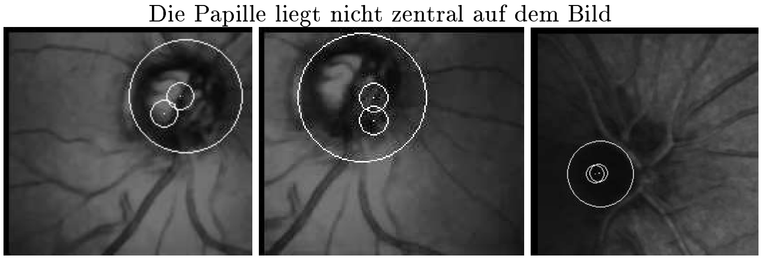
$$x_c = \frac{(x_c - r_2) + (x_c + r_1)}{2}; \ y_c = \frac{(y_c - r_4) + (y_c + r_3)}{2} \tag{3}$$

$$r = \frac{1}{4} \sum_{i}^{4} r_i \tag{4}$$

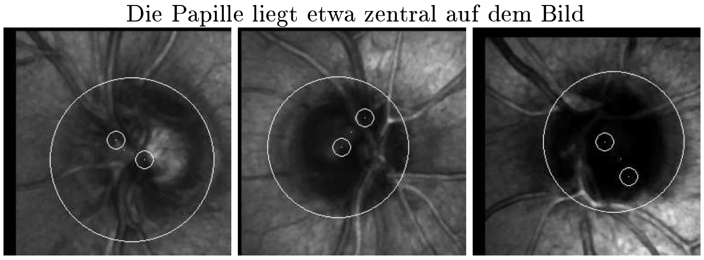
Um eine genaure Fläche der Papille bestimmen zu können, werden in radiale Richtung die Konturpunkten des Papillenrandes bestimmt und mit einem Spline [4] interpoliert. Für die Glaukomdiagnostik bzw. für die Untersuchung des retinalen Randschaumes kann es nützlich sein, den inneren und äußeren Rand der Papille, die durch eine Exkavation der Papille entstehen, mit aktivem Konturmodell (snakes) [5] zu bestimmen.

Abbildung3. Ergebnisse der Papillendetektion auf den HRT-Bildern, die kleinen Kreise bezeichnen die Schwerpunkte für weiße und schwarze Pixels

Die Papille liegt nicht zentral auf dem Bild



Die Papille liegt etwa zentral auf dem Bild



3 Ausblick

Bei der Untersuchung von Papille weiterer entfernten Gebiete des Augenhintergrundes ist der Sehnervkopf gar nicht auf dem Bild zu sehen. Für die Diagnose und Beurteilung wäre aber die Information über die Entfernung der Papille wichtig. Eine Bestimmung der Position des sogenannten virtuellen Sehnervkopfes könnte mit der Verwendung des Gefäßverlaufes, also mit der Verwendung der Richtungen der Gefäßmittellinie und mit dem Gefäßdicke bestimmt werden.

Literatur

1. Jonas J. B, Naumann G. O. H: Morphologie des gesunden und des glaukomatösen Sehnerven. Pillunat L.-E, Stodtmeister R (Hrsg.), *Das Glaukom: Aspekte der Forschung für die Praxis*, Springer-Verlag, Berlin, Ophthalmothek, S. 141–151, 1993.
2. Ernst H: *Einführung in die digitale Bildverarbeitung: Grundlagen und industrieller Einsatz mit zahlreichen Beispielen.* Franzis–Verlag GmbH, München, 1991.
3. Pál I: Scanning Laser-Doppler-Flowmetrie in der Augenheilkunde: Bildanalyse. *7. Heidelberger Bildverarbeitungsforum*, Ludwigshafen BASF, S. 103–110, Nov. 1997.
4. Jain A. K: *Fundamentals of Digital Image Processing.* Prentice–Hall, Inc., USA, 1989.
5. Lai K. F: *Deformable Contours: Modeling, Extraction, Detection and Classification.* Dissertation, Electrical Engineering, University of Wisconsin-Madison, 1994.