

Rekonstruktion des Oberflächenreliefs pigmentierter Hautmale durch photometrisches Stereo

Matthias Färber¹, Heinz Handels², Thorsten Grünendick³,
Andreas Rick³, Alexei Orlikov³ und Siegfried J. Pöpl¹

¹Institut für Medizinische Informatik, Universität zu Lübeck, 23538 Lübeck

²Institut für Medizinische Informatik, Universität Hamburg, 20246 Hamburg

³Visiomed AG, 44801 Bochum

E-Mail: faerber@informatik.uni-luebeck.de

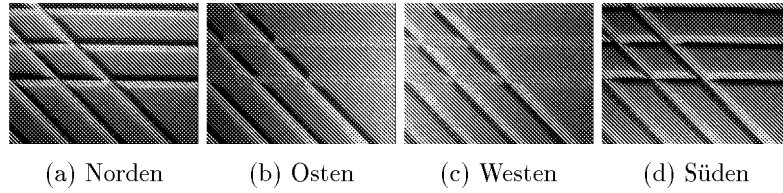
Zusammenfassung. Im Rahmen dieses Beitrages wird ein Verfahren zur Berechnung eines 3D-Modells des Oberflächenreliefs der Haut vorgestellt. Als Eingabe für das Verfahren dienen gerichtet beleuchtete Auflichtfotografien der Hautoberfläche. Mit Hilfe von photometrischem Stereo wurden anhand dieser Aufnahmen die Gradientenbilder der Oberflächenfunktion berechnet. Diese bilden die Grundlage für die Rekonstruktion der Höhenwerte durch ein globales Integrationsverfahren. Das Verfahren wurde an verschiedenen Testobjekten sowie mit den Fotografien von 22 Oberflächen benigner und maligner Hautmale getestet. Eine Evaluierung des Verfahrens erfolgte anhand eines Vergleichs der rekonstruierten Höhenwerte eines Datensatzes mit den Messwerten eines optischen Profilometers.

1 Einleitung

Das maligne Melanom ist, wegen der hohen Mortalität bei zu später Diagnose, eine der gefährlichsten Krebserkrankungen. Die Inzidenz des Hautkrebses nimmt weltweit, besonders aber in den westlichen Industrienationen, aufgrund multikausaler Faktoren beständig zu. Eine möglichst frühzeitige Erkennung und Entfernung maligner Hautläsionen ist für die Prognose der Patienten von entscheidender Bedeutung. Vor diesem Hintergrund muss der Verbesserung von computergestützten Diagnosetechniken besondere Priorität eingeräumt werden.

In der Praxis hat sich die Anwendung der ABCDE-Regel zur Diagnose durchgesetzt. Die Kriterien A bis D (**A**symmetrie, **B**egrenzung, **C**olorit und **D**urchmesser) werden im Allgemeinen mit Hilfe von Epilumineszenz-Aufnahmen visuell oder computergestützt [1,2,3] beurteilt.

Um auch die **E**rhabenheit von Läsionen rechnergestützt begutachten zu können bedarf es eines 3D-Modells des Hautoberflächenreliefs. Diese Modelle werden bisher mit Hilfe von Profilometern erstellt. Optische Profilometer arbeiten üblicherweise mit Silikon-Abdrücken der Haut. Diese Abdrücke werden je nach Gerät mit Hilfe von Fokussierungs- oder Streifenprojektionsverfahren vermessen. Hierbei erreicht man vertikale Auflösungen von unter einem Mikrometer.

Abb. 1. Gerichtet beleuchtete Aufsichtsfotografien eines Testobjektes.

Eine direkte Vermessung am Patienten ist ebenfalls denkbar. Es kommt hierbei jedoch durch kleinste Bewegungen des Patienten schnell zu Fehlmessungen.

In [4] wurden Abdrücke von Hautläsionen mit einem optischen Profilometer vermessen, und nach der Extraktion signifikanter Merkmale mit Hilfe eines Klassifikationsverfahrens in gut- und bösartig eingeteilt. Hierbei wurden in einer ersten Evaluation Erkennungsraten über 97% erreicht.

Mit dem vorgestellten Verfahren vereinfacht sich die Aufnahme von profilometrischen Daten erheblich. Die benötigten Bilddaten können innerhalb von Sekunden direkt am Patienten erstellt werden. Eine zeitraubende Aufnahmesequenz am ruhig liegenden Patienten oder die Erstellung von Hautabdrücken ist nicht mehr nötig.

2 Methoden

Mit einer umgebauten Videodermatosekopiekamera (microDERM, Visiomed AG) wurden jeweils vier gerichtet beleuchtete Aufnahmen der Oberflächen maligner und benigner Hautmale sowie einiger Testoberflächen angefertigt.

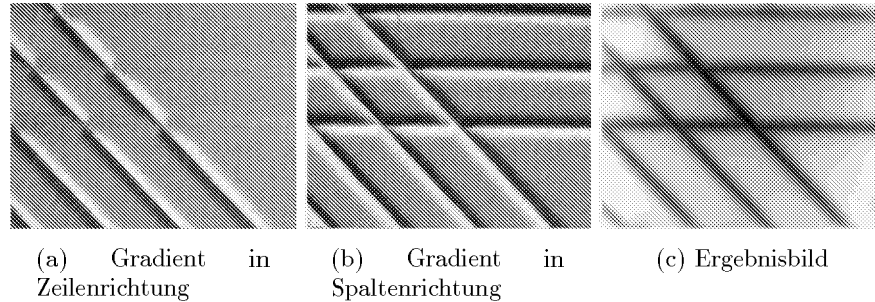
Diese vier Aufnahmen unterschieden sich einzig in der Einstrahlungsrichtung der Lichtquellen.

So wurde die Oberfläche bei der ersten Aufnahme aus nördlicher Richtung beleuchtet, bei den folgenden dann aus östlicher, westlicher und südlicher Richtung (Abb. 1). Für spätere Qualitätsuntersuchungen wurden einige der oben genannten Oberflächen zusätzlich mit einem optischen Profilometer vermessen.

Zur Berechnung der Oberflächennormalen wurde die Methode des photometrischen Stereo angewendet [5]. Bei diesem Verfahren wird vereinfachend das lambertsche Reflexionsmodell zur Modellierung der Hautreflexionen eingesetzt. Der reflektierte Lichtanteil eines Oberflächenpunktes E ist bei diesem Ansatz nur abhängig von der Intensität der parallel einstrahlenden Lichtquelle E_0 , der Albedo ρ der Hautoberfläche (Lichtabsorption im Oberflächenpunkt) und dem Winkel Θ zwischen Einstrahlvektor \mathbf{s} und Oberflächennormaler \mathbf{n} .

$$E = \frac{E_0}{\pi} \cdot \rho \cdot \cos(\Theta) = \frac{E_0}{\pi} \cdot \rho \cdot \mathbf{s}^t \mathbf{n} \quad (1)$$

Spekulare (spiegelartige) Reflexionen, die zusätzlich von der Betrachterposition abhängen, sowie ambientes Licht werden nicht beachtet.

Abb. 2. Gradientenbilder und Ergebnisbild.

Unter Ausnutzung der gemessenen Intensitäten E_i eines Bildpunktes in den vier Aufnahmen und den bekannten normierten Einstrahlungsvektoren \mathbf{s}_i^0 konnte ein lineares Gleichungssystem aufgestellt werden.

$$\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \end{pmatrix} = \frac{\rho}{\pi} \cdot \begin{pmatrix} E_{01} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_{02} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E_{03} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & E_{04} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} s_{1x} & s_{1y} & s_{1z} \\ s_{2x} & s_{2y} & s_{2z} \\ s_{3x} & s_{3y} & s_{3z} \\ s_{4x} & s_{4y} & s_{4z} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{pmatrix} \quad (2)$$

Ein numerisches Verfahren zur Minimierung des Residuums $\|\mathbf{E} - \frac{\rho}{\pi} \cdot \mathbf{E}_0 \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{n}^\circ\|$ lieferte eine Approximation für den Normalenvektor der Hautoberfläche.

Das Ergebnisbild mit den Normalenvektoren der Oberfläche $\mathbf{n}(x, y)$ lässt sich zu einem Steigungsbild (Gradientenbild) mit zweidimensionalen Einträgen $p(x, y)$ und $q(x, y)$ umrechnen, wobei:

$$p(x, y) = \frac{\partial Z(x, y)}{\partial x} \quad \text{und} \quad q(x, y) = \frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} \quad (3)$$

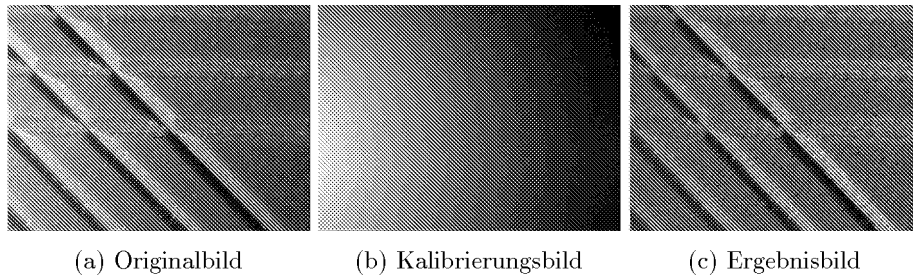
Die Einträge geben also die Gradienten der Oberflächenfunktion $Z(x, y)$ in Zeilen- und Spalten-Richtung an (Abbildungen 2(a) und 2(b)).

Die gesuchte Oberflächenfunktion $Z(x, y)$ des Läsionsreliefs wurde anschließend durch ein geeignetes Integrationsverfahren rekonstruiert (Abb. 2(c)).

Es wurden zwei unterschiedliche Integrationsverfahren getestet. Zum einen das Integrationsverfahren von Rodehorst [6], welches entlang eines vorgegebenen Pfades lokal integriert und zum anderen das globale Integrationsverfahren von Frankot und Chellappa [7]. Letzteres erwies sich als weniger rauschanfällig und war deshalb besser für die vorliegenden Daten geeignet.

Es hat sich gezeigt, dass das verwendete lambertsche Reflexionsmodell der Architektur des Kamerasystems nicht hinreichend entsprach. Der Grund hierfür war die Diskrepanz zwischen den punktförmigen Lichtquellen der Kamera und den im Modell vorausgesetzten parallel eintreffenden Lichtstrahlen (Abb. 3(a)). Es war deshalb nötig den Lichtquellenvektor \mathbf{s} für jeden Bildpunkt anzugleichen und mit Hilfe von Kalibrierungsbildern (Abb. 3(b)) die Unterschiede in der Ausleuchtung des Bildbereichs zu kompensieren (Abb. 3(c)).

Abb. 3. Ausleuchtungsangleichung durch Verwendung von Kalibrierungsbildern.



Da für eine spätere Betrachtung vor allem der Verlauf der feineren Hautfurchen verdeutlicht werden sollte wurden die Ergebnisse hochpassgefiltert.

3 Ergebnisse

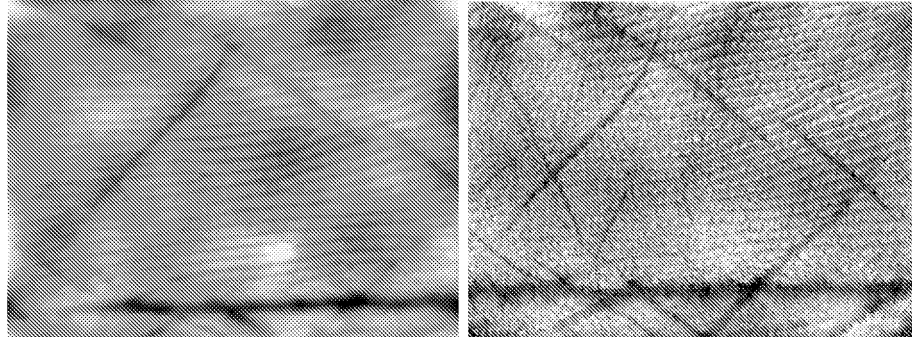
Die durch obige Methoden berechneten Höhenprofile wurden mit Hilfe von Grauwertbildern dargestellt. Die Rekonstruktion der Testoberflächen zeigte, dass das Verfahren in der Lage ist, einen korrekten Eindruck des Oberflächenprofils zu vermitteln. Die Methode wurde zudem an 22 Aufnahmeserien benigner und maligner Hautmale getestet, wobei die charakteristischen Strukturen der Oberflächen dieser Hautmale korrekt rekonstruiert wurden. Dies zeigt auch ein qualitativer Vergleich mit den Messwerten eines optischen Profilometers (Abb. 4).

4 Diskussion und Ausblick

Es hat sich gezeigt, dass mit den verwendeten Methoden die charakteristischen Strukturen des Oberflächenreliefs der Haut rekonstruiert werden konnten. Für die dermatologische Diagnostik ist insbesondere der Verlauf der Hautlinien sehr wichtig. Diese sind in den Ergebnissbildern sehr gut zu erkennen. Der wesentliche Fortschritt durch die neue Methode besteht jedoch nicht in einer herausragenden Genauigkeit der rekonstruierten Oberflächen, vielmehr verringert das Verfahren den Aufwand für die Erstellung profilometrischer Daten erheblich. Die Aufnahme der erforderlichen Bilddaten erfolgt innerhalb von Sekunden mit einer leicht modifizierten Videodermatoscopiekamera, die im Bereich der Dokumentation und computergestützten Klassifikation pigmentierter Hautmale ohnehin zum Einsatz kommt.

Die Ergebnisse bilden die Grundlage für weitere Arbeiten, mit dem Ziel, Strukturunterschiede zwischen dem Relief gutartiger Hautläsionen und dem Relief maligner Melanome zu quantifizieren und somit einen Beitrag zur Verbesserung der computergestützten Diagnose von Melanomen zu leisten.

Abb. 4. Höhenwertbild der Handinnenfläche. Die Bildausschnitte sind leicht gegeneinander verschoben.



(a) Ergebnis des Verfahrens

(b) Profilometrische Daten

Literaturverzeichnis

1. Horsch A, Stolz W, Neiss A et al.: Improving Early Recognition of Malignant Melanomas by Digital Image Analysis in Dermatoscopy. *Stud. Health Technol. Inform.*, 43:531–535, 1997.
2. Pompl R, Bunk W, Horsch A et al.: MELDOQ: Ein System zur Unterstützung der Früherkennung des malignen Melanoms durch digitale Bildverarbeitung. *Procs BVM 2000:234–238*, 2000.
3. Golston JE, Stoecker WV, Moss RH et al.: Automatic Detection of Irregular Borders in Melanoma and Other Skin Tumors. *Computerized Medical Imaging and Graphics* 16(3):163–177, 1992.
4. Handels H, Ross T, Kreuzsch J et al.: Computer-Supported Diagnosis of Melanoma in Profilometry. *Methods of Information in Medicine* 38:43–49, 1999.
5. Klette R, Schlüns K, Koschan A: *Computer Vision: Three Dimensional Data from Images*. Springer, Berlin, 1998.
6. Klette R, Schlüns K: Height Data From Gradient Fields. *Procs Machine Vision Applications Architectures and System Integration* 2908:204–215, 1996
7. Frankott RT, Chellappa R: A Method for Enforcing Integrability in Shape From Shading Algorithms. *IEEE Trans. on PAMI* 10:439–451, 1998.