3D Bildrekonstruktion mit Hilfe geometrischer Modelle

Andreas Herzog, Bernd Michaelis, Katharina Braun*, Henning Scheich*

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2
D-39016 Magdeburg
Email: andreas.herzog@e-technik.uni-magdeburg.de
*Leibniz-Institut für Neurobiologie
Brenneckestraße 6
D-39118 Magdeburg

Zusammenfassung. Durch den Einsatz von geometrischen Modellen ist es möglich, auf einfache Weise a-priori Wissen über den zu erwartenden Bildinhalt in die Bildrekonstruktion einfließen zu lassen. Dabei können sowohl die Abbildungseigenschaften des Bildaufnahmesystems als auch statistische und geometrische Zusammenhänge zwischen den Bildpunkten berücksichtigt werden. Durch die Wahl der Modellparameter und Vorgabe ihrer Fehlergrenzen läßt sich die Güte der Approximation beeinflussen. Im Ergebnis erhält man geometrische Modelle der im Bild vorhandenen Objekte, die in den gewählten Grenzen der Modellierung eine optimale Rekonstruktion darstellen. Aus den Parametern der Modelle lassen sich morphologische Eigenschaften wie Längen, Durchmesser, Volumen und Lagebeziehungen ableiten. Die Modelle können einfach und schnell visualisiert werden.

Schlüsselwörter: Bildrekonstruktion, geometrische Modelle

1 Einleitung

Bei den klassischen Methoden der Bildrekonstruktion zwei- oder dreidimensionaler Grauwertbilder können oft nur die Übertragungseigenschaften des Bildaufnahmesystems und statistische Eigenschaften des Rauschens berücksichtigt werden [1]. Die oft bestehenden geometrischen Zusammenhänge zwischen den benachbarten Pixeln bzw. Voxeln werden hingegen nicht berücksichtigt. Jeder Grauwert stellt hier einen unabhängigen Parameter dar. Als Folge dessen ist die zu verarbeitende Informationsmenge hoch. Praktisch lassen sich aber zwischen benachbarten Bildpunkten deutliche Zusammenhänge finden. In vielen Fällen können die Zusammenhänge zwischen den Voxeln durch geometrische Modelle mit wenigen Parametern beschrieben werden. Die freie Wahl der Parameter und deren Fehlergrenzen ermöglicht es, sehr einfach a-priori Wissen zu integrieren.

Es soll ein Verfahren vorgestellt werden, mit dem Modelle von baumartig verzweigte Strukturen aus dreidimensionalen Grauwertbildern entwickelt werden können. Als Beispiel wird die Erkennung und Vermessung von Dendritenbäumen und dendritischen Spines aus dreidimensionalen Grauwertbildern eines konfokalen Laserscan-Mikroskops gewählt (siehe Abb. 1). Die Schwierigkeiten sind hier in dem schlechten Signal-Rausch-Verhältnis und in der richtungsabhängigen Übertragungsfunktion zu sehen. Das Verfahren läßt sich prinzipiell aber auch für andere Objekte (Blutgefäße oder Lungenkanäle) und andere bildgebende Verfahren (MR, CT, Schnittbilder) anwenden.

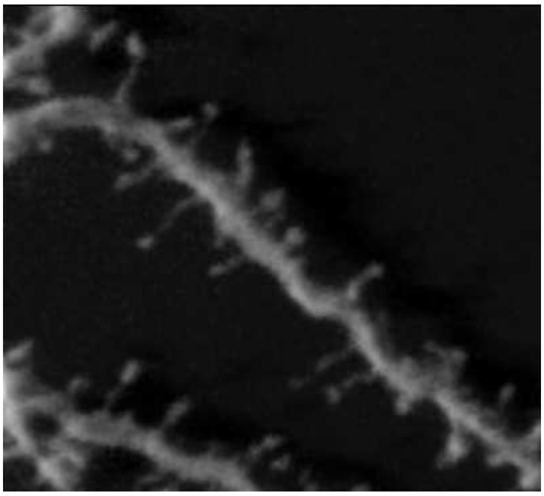

Abb. 1 Dendritenabschnitt mit Spines (Schattenprojektion von 3D - Grauwertbild)

2 Modellbasierte Bildrekonstruktion

2.1 Schrittweises Vorgehen und interaktive Korrektur

Geometrische Modelle gestatten eine schrittweise Bildrekonstruktion. In einem ersten Schritt wird ein Objekt erkannt und zunächst grob dargestellt. Eine grobe Darstellung bedeutet hier, daß nur wenige Parameter benutzt werden und der Wertebereich grob diskretisiert ist. In einem zweiten Schritte wird das Modell durch eine Beschreibung mit mehr freien Parametern ersetzt und die Parameter durch Minimieren eines Fehlerkriteriums optimiert.

Dieses schrittweise Vorgehen hat den Vorteil, daß das Erkennungssystem zur Erfassung typischer Teilobjekte aus denen sich zum Beispiel ein Dendritenabschnitt zusammensetzt, von der eigentlichen Bildrekonstruktion abgekoppelt ist. Gerade im biologischen Bereich hat sich gezeigt, daß automatische Erkennungssysteme nur bis zu einem bestimmten Grad korrekt arbeiten, da oft auch pathologische Fälle untersucht werden sollen. Hier ergibt sich eine einfache Möglichkeit einer interaktiven Korrektur für die jeweils auszuwertenden geometrischen Modelle. Da diese Korrektur aber vor der Optimierung der Modellparameter erfolgt, ist das Meßergebnis unabhängig davon, ob das Objekt von einem automatisch arbeitenden Algorithmus oder vom Bediener gefunden wurde. Auch die Subjektivität einer interaktiven Korrektur von Parametern wird so weitgehend unterdrückt.

Zudem läßt sich mit geometrischen Modellen die Genauigkeit lokal differenzieren. Das ist vor allem dann sinnvoll, wenn einige Objekte nur zum Bestimmen der Lagebeziehungen gebraucht werden oder schnell als uninteressant klassifiziert werden können. So läßt sich erheblich Rechenzeit bei der Optimierung und auch bei der Visualisierung einsparen.

Diese Möglichkeit wird bei der Erkennung und Vermessung dendritischer Spines genutzt. Der Dendrit und die Spines werden zunächst mit einem einfachen Volumenmodell, das aus Raumprimitiven zusammengesetzt ist, beschrieben. Die speziell interessierenden Spineköpfe werden sich dann in einem zweiten Prozeß mit einem genaueren Oberflächenmodell beschrieben.

2.2 Initialisierung

Die Initialisierung der geometrischen Modelle ist sehr stark von den zu untersuchenden Objekten abhängig. Hier sollte möglichst viel a-priori Wissen über Größe, Form und Lagebeziehungen mit einfließen und stark abstrahiert werden.

Zum Beispiel lassen sich baumartig verzweigte Strukturen, wie Dendriten einer Nervenzelle durch aneinandergefügte zylindrische Basiselemente gut darstellen. Dabei kann die Länge und der Radius dieser Elemente zunächst als konstant oder in nur wenigen Stufen quantisiert betrachtet werden. Des weiteren kann eine zum groben Verfolgen des Dendriten ausreichende Anzahl von Raumrichtungen definiert werden.

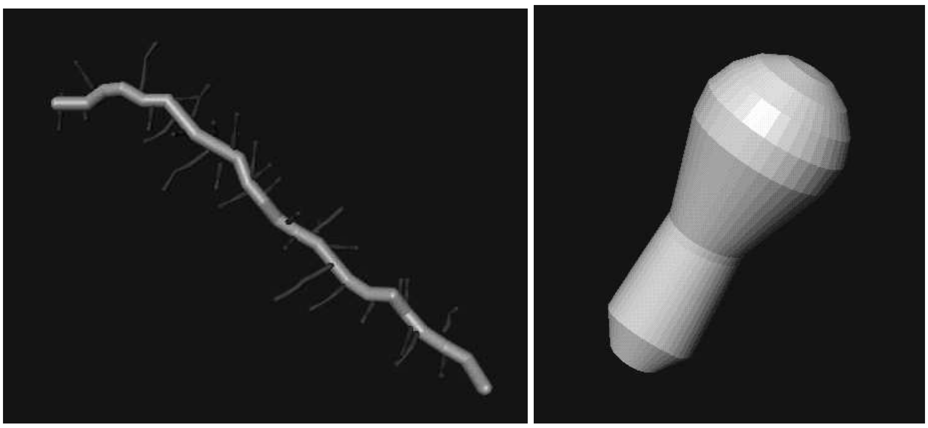

Abb. 2 Modell nach Initialisierung und manueller Bearbeitung (links)
Oberflächenmodell des Spinekopfes (rechts)

Nach dem Setzen eines Startelementes erfolgt durch das automatische Aneinandersetzen der zylindrischen Basiselemente die Erstellung eines Grobmodells. Dazu werden verschiedene Richtungen des Fortführens untersucht und nach geometrischen und statistischen Kriterien bewertet [3] (siehe Abb. 2 links). Dieses Grobmodell läßt sich bei Bedarf interaktiv korrigieren. Mit Hilfe dieser Korrekturen kann auch eine Feineinstellung des automatischen Erkennungssystems erfolgen.

Das Oberflächenmodell der Spineköpfe wird durch das optimierte Volumenmodell des Spinekopfes initialisiert (siehe Abb. 2 rechts).

2.3 Optimierung

Während die Auslegung des Erkennungssystems sehr stark von den gesuchten Objekten abhängt, läßt sich die Parameteroptimierung gut verallgemeinern. Es muß ein Vergleich zwischen dem aufgenommenen Bild und dem rekonstruierten Modell stattfinden. Das Modell wird dabei einer simulierten Abbildung des bildgebenden Verfahrens unterzogen, das sowohl die Subpixelpositionen der Objektkanten durch die Integration über den Bereich eines Voxels als auch die Abbildungseigenschaften des bildgebenden Verfahrens durch anschließende Faltung mit der Punktantwort (point-spread-function, PSF) berücksichtigt. Es entsteht ein simuliertes Bild, das direkt mit dem aufgenommenen Bild verglichen werden kann. Die im Vergleich hervortretenden Unterschiede bilden das Gütekriterium zum Optimieren der Modellparameter.

Zunächst wird aus dem Grobmodell ein Feinmodell erstellt. Das geschieht beim Dendritenbaum durch den Übergang der zylindrischen Basiselementen zu generalisierten Zylindern und bei den Spines durch eine Abtastung der Oberflächenpunkte in einem lokalen Polarkoordinatensystem. Die Oberflächenpunkte der Spines werden durch orthogonale Entwicklungsfunktionen beschrieben, deren Koeffizienten die neuen Parameter darstellen [4].

Da die Objektparameter sich gegenseitig beeinflussen, wird eine iterative Optimierung verwendet. Grundlage der Optimierung ist der Gradientenabstieg. Die Gradienten werden numerisch ermittelt. Dabei beschränkt sich die Abschätzung auf lokal begrenzte Gebiete und der Einfluß entfernterer Zonen innerhalb einer Iteration wird vernachlässigt [5].

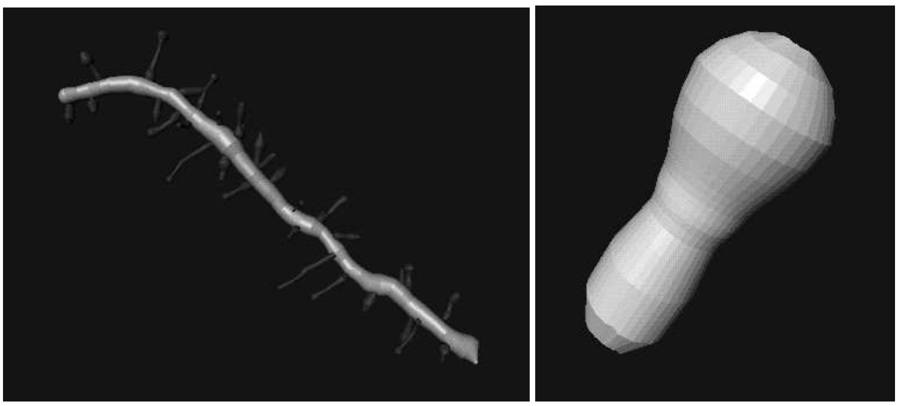

Abb. 3 Optimiertes Modell des Dendriten mit Spines (links), Spinekopf (rechts)

3 Zusammenfassung

Im Ergebnis erhält man geometrische Modelle der im Bild vorhandenen Objekte, die in den gewählten Grenzen der Modellierung eine optimale Rekonstruktion darstellen (siehe Abb. 3). Aus den Parametern der Modelle lassen sich einfach morphologische Eigenschaften wie Längen, Durchmesser, Volumen und Lagebeziehungen ableiten [6]. Die Modelle können einfach und schnell visualisiert werden.

4 Literatur

1. Lagendijk R L, Biemond J: Iterative Identification and Restoration of Images. Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London 1991
2. Herzog A, Krell G, Michaelis B, Braun K, Wang J, Zuschratter W: Restoration of Three-Dimensional Quasi-Binary Images from Confocal Microscopy and its Application to Dendritic Trees. in Progress in Biometrical Optics: Three-Dimensonal Microscopy: Image Acquisition and Processing IV. Carol J. Cogswell, José-Angel Conchello, Tony Wilson, Editors, Proc. SPIE 2984, pp. 146-157 (1997)
3. Herzog A, Krell G, Michaelis B, Zuschratter W: Tracking on tree-like structures in 3_D confical images. in Progress in Biometrical Optics: Three-Dimensonal Microscopy: Image Acquisition and Processing V. Carol J. Cogswell, José-Angel Conchello, Tony Wilson, Editors, Proc. SPIE 3261 pp. 165-176 (1998)
4. Herzog A, Schütze W, Lilienblum T, Braun K, Michaelis B: 3D Formrekonstruktion an der Auflösungsgrenze konfokaler Laserscan- Mikroskope. Mustererkennung 1997, DAGM Symposium Braunschweig September 1997, pp. 119-126 Springer 1997
5. Herzog A, Krell G, Michaelis B, Wang J, Zuschratter W, Braun K: Three-Dimensional Quasi-binary Image Restoration for Confocal Microscopy and its Application to Dendritic Trees. in Gerald Sommer, Kostas Daniilidis, Josef Pauli (Eds.) Computer Analysis of Images and Patterns 7'th International Conference, CAIP'97, Kiel, Germany Sep.1997, Proceedings. Lecture Notes of Computer Science 1296,pp. 114-121 Spinger Verlag 1997
6. Sommerkorn G, Seiffert U, Surmeli D, Herzog A, Michaelis B, Braun K. Classification of 3D dendritic Spines using SOM in G. D. Smith, N.C. Steele and R.F. Albrecht (editors) "Proceedings of International Conference of Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms" (ICANNGA97), Norwich, England 2.4. - 4.4. 1997 pp. 129-133 Springer-Verlag, Vienna, Austria 1997