3D Segmentierung mittels hierarchischer Inselstrukturen

Jan-Friedrich Vogelbruch, Patrick Sturm[1], Richard Patzak,
Lutz Priese[1], Horst Halling

Zentrallabor für Elektronik, Forschungszentrum Jülich, 52425 Jülich
[1]Institut für Computervisualistik, Universität Koblenz-Landau, 56016 Koblenz
Email: j.vogelbruch@fz-juelich.de

Zusammenfassung. In vielen Bildverarbeitungsaufgaben stellt die Segmentierung einen wichtigen Schritt zur analytischen Auswertungsphase dar. Ihr Ziel im Dreidimensionalen ist es, einen Volumendatensatz in eine Menge von Regionen aufzuteilen, die in Bezug auf gewisse Eigenschaften homogen sind. Das Ergebnis dient meist als Basis für eine anschließende Klassifizierung. Die hier vorgestellte Segmentierungsmethode ist ein inhärent paralleles Regionenwachstumsverfahren, das in hierarchischen, einfach überlappenden 3D Inselstrukturen arbeitet und die Vorteile von lokalen Verfahren mit denen der globalen Verfahren verbindet. Die Regionen werden durch Verknüpfungs- und Trennungsoperationen auf den verschiedenen Hierarchieebenen detektiert. Das Verfahren läuft stabil und liefert sehr gute und reproduzierbare Segmentierungsergebnisse, welche mit Hilfe von modernen 3D Visualisierungstechniken präsentiert werden.

1 Einleitung

In vielen Bildverarbeitungsaufgaben stellt die Segmentierung einen wichtigen Schritt zur analytischen Auswertungsphase dar. Dabei soll das Bild in eine Menge von homogenen Regionen (bzgl. definierter Eigenschaften) zerlegt werden.

Eine universelle Strategie, mit einem Algorithmus alle gesuchten Strukturen einwandfrei zu identifizieren, gibt es nicht, da die hierzu benötigten Vorgehensweisen, ihre Parameter und ihre Einsatzbereiche zu unterschiedlich sind. Ziel eines Segmentierungsalgorithmus sollte es jedoch sein, möglichst vollautomatisch gute Ergebnisse als Basis für eine anschließende Klassifizierung zu liefen. Je unabhängiger hierzu ein Algorithmus von wissensbasierter Vorinformation ist, desto breiter ist sein Einsatzbereich.

Die Ausnutzung von Informationen in allen drei Raumrichtungen stellt einen wichtigen Ansatz für 3D Segmentierungsalgorithmen dar. Dieses Ziel wird mit dem hier vorgestellten 3D-GSC (Grey Value Structure Code) erreicht. Er basiert auf dem von [1] vorgestellten zweidimensionalen CSC (Color Structure Code). Der CSC verbindet lokale Genauigkeit mit globaler Sichtweise, indem Entscheidungen, die auf einer niedrigeren/lokaleren Ebene getroffen wurden, aufgrund der globalen Sicht neu bewertet und bereits zusammengefaßte Regionen nachträglich neu aufgeteilt werden. Die genannten prinzipiellen Vorteile des CSC gaben den Anlaß, den Ansatz von [1] im Dreidimensionalen fortzuführen und den 3D-GSC zu entwickeln.

2 Die 3D Inselstruktur

Die Grundlage des 3D-GSC stellt eine 3D Inselstruktur dar, die die folgenden Kriterien erfüllen muß: Zentralsymmetrie, Abdeckung aller Gitterpunkte, vollständige einfache Überlappung, Hierarchie und Regelmäßigkeit. Hierzu wurden die dreidimensionalen Translationsgitter (Bravais-Gitter) in Bezug auf ihre möglichen Nachbarschaften und deren entsprechenden Gitterabdeckungs- und Überlappungseigenschaften ihrer Knoten-an-Knoten-Pflasterung untersucht. Die Zunahme des Nachbarschaftsgrades in einem Gitter wurde dabei so gewählt, daß eine maximale Anzahl von „primitiven" Nachbarschaften entsteht und ein „geordnetes" Nachbarschaftswachstum (einfache Überlappungen werden zuerst betrachtet) garantiert wird.

Die Untersuchung der Gittertypen im Bereich der Voronoizelle der Makroinseln ergab, daß nur die 14-er Nachbarschaften der nicht primitiven Gitter das Gitter vollständig einfach überlappend abdecken können. Diese stellen die Nachbarschaftsstruktur des Rhombendodekaeders dar. Allerdings können die Makroinseln (Knoten-an-Knoten-Pflasterung von 15 Rhombendodekaedern, s. Abb. 1a) aufgrund der inhomogenen Nachbarschaftsbeziehungen des Rhombendodekaeders das Gitter nicht mehr vollständig abdecken. Dies hat zur Folge, dass Segmente an sogenannten „Fehlstellen" zusammenhängen können und dort getrennt werden müssen. Um die Struktur des Rhombendodekaeders (tetragonal flächenzentriertes Gitter (tF) $\hat{=}$ cI Gitter) auf den orthogonalen (oP) Ausgangsdatensatz anwenden zu können, wurde das tF Gitter durch nicht-lineare Shift-Operationen auf das oP Gitter so abgebildet, daß der Schwerpunkt der entstandenen Insel weiterhin im Inselmittelpunkt liegt (Abb. 1b).

3 Der 3D-GSC

Der 3D-GSC beginnt mit der Codierungsphase. Hier werden die Voxel zu lokalen Regionen (Codeelementen) der Hierarchieebene 0 zusammengefaßt, wenn sie benachbart und ähnlich (Homogenitätskriterium) sind. In der anschließenden Verknüpfungsphase werden diese Regionen hierarchisch bis zur höchsten Hierarchieebene zu zusammenhängenden globalen Gebieten verknüpft. Dabei besteht eine Region der Ebene $h+1$ aus zusammenhängenden (überlappenden) und ähnlichen Regionen der Ebene h. Der Grauwert einer Region wird aus dem mit der (angenäherten) Regionengröße gewichteten Mittel der beteiligten Subregionen gebildet.

Überlappen sich zwei nicht ähnliche Regionen, so muß der Überlappungsbereich auf diese Regionen aufgeteilt werden, um ein disjunktes Segmentierungsergebnis zu erhalten. Dies wird rekursiv bis auf die niedrigste Hierarchieebene während der Trennungsphasen durchgeführt, die nach der Verknüpfung innerhalb einer Insel initiiert werden. Die erhöhte Komplexität des Zerfalls von Regionen im 3D während der Trennung hat zur Folge, daß sich der Aufwand für die technische Umsetzung der Trennung gegenüber dem zweidimensionalen Fall wesentlich erhöht. Insbesondere muß ein Konzept, basierend auf temporären Datenfeldern, implementiert werden, damit zu jedem Zeitpunkt des Algorithmus eine Adressenkonsistenz vorliegt. Bei der Generierung des Regionendatensatzes können die bei der Codierung u. U. entstehen-

den „Singularitäten“ (Voxel, die zu keiner Region gehören) nachträglich auf Basis des Segmentierungsergebnisses den Segmenten zugeordnet werden.

Abb. 2 zeigt die hierarchische Verknüpfung der Regionen anhand des Beispiels eines Ellipsoidphantoms (128^3, Schicht 65), das mit Gauß'schem Rauschen ($\sigma = 16$) verrauscht wurde. Für die Darstellung wurde eine nicht stetige, stark inhomogene Farbtabelle gewählt, um die Regionenbildung hervorzuheben.

4 Das Visualisierungssystem

Die Visualisierung der segmentierten Volumina erfolgt auf Voxelbasis. Um eine räumliche, realitätsnahe Darstellung erzielen zu können, wird ein perspektivisches Volumenrendering verwendet. Eine Besonderheit dieser Visualisierungssoftware der Firma *VolumeGraphics* ist eine Schnittstelle für ein autostereoskopisches Display (s. Abb. 3c), das von der Firma *Dresden 3D* hergestellt wird. Im Unterschied zu herkömmlichen Stereovisualisierungstechniken erfolgt die Rechts-Links-Kanaltrennung bei diesem Display mittels vertikaler Prismen, die die gleichzeitig dargestellten Halbbilder für das rechte und linke Auge auf den Augenabstand gespreizt in die Augen fokussieren. Um dem Beobachter den ergonomisch notwendigen Bewegungsspielraum zu geben, wird die Prismenmaske den Pupillen des Beobachters nachgeführt.

5 Ergebnisse und Ausblick

Bei dem hier vorgestellten 3D-GSC handelt es sich um ein generisches Verfahren zur Segmentierung von Volumendatensätzen mit einem breiten Anwendungsspektrum. Der Algorithmus benötigt für die Segmentierung eines 256^3 Datensatzes ca. 30 sec Laufzeit und 80 MB Speicherbedarf. Abb. 3b zeigt das klassifizierte Segmentierungsergebnis eines simulierten MRI-Datensatzes [2] (Abb. 3a).

Zur Zeit werden ausschließlich Grauwerte als Merkmal benutzt, jedoch lässt sich der Algorithmus auch auf weitere Datenmerkmale (Merkmalsvektor bestehend z.B. aus: Farben, lokalen Gradienten etc.) mittels einer modifizierten Verknüpfungsarithmetik erweitern. Aufgrund der Geschwindigkeit und der inhärenten Parallelität des 3D-GSC bietet sich dieser Algorithmus als Weiterentwicklung für eine Echtzeitsegmentierung an. Neben Optimierungsverfahren wird in Zukunft auch eine Implementierung auf Hardwarebasis (z.B. FPGA) untersucht. Dadurch sollen sich Laufzeiten realisieren lassen, die eine 3D-Echtzeitsegmentierung, iterative Methoden zur Schwellwertoptimierung und eine interaktive Segmentierung effizient erlauben.

6 Literatur

1. Rehrmann V., Stabile, echtzeitfähige Farbbildauswertung. Koblenzer Schriften zur Informatik, Band 1, 1994, ISBN 3-923532-50-4
2. D.L. Collins et. al., Design and Construction of a Realistic Digital Brain Phantom, IEEE Trans. on Med. Imag., 17 (3), p.463-468, 1998, http://www.bic.mni.mcgill.ca/brainweb

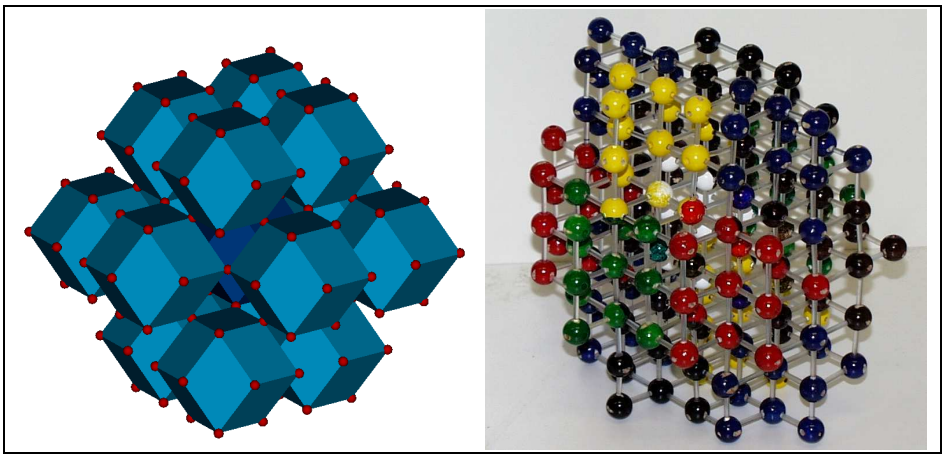

Abb 1: **a)** Knoten-an-Knoten-Pflasterung des Rhombendodekaeders, **b)** Modell der orthogonalen, einfach überlappenden Inselstruktur des 3D-GSC

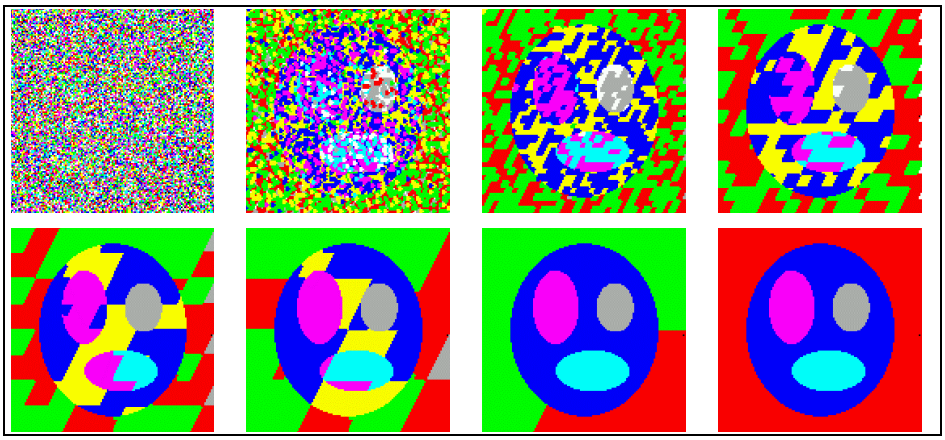

Abb. 2: Hierarchische Verknüpfung + Trennung in den Hierarchieebenen (Ellipsoidphantom)

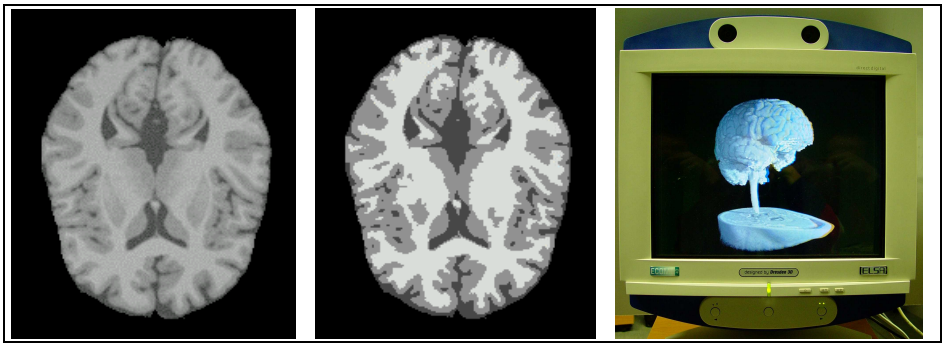

Abb. 3: **a)** sim. MRI-Datensatz, **b)** klassifiziertes Regionenbild, **c)** 3D Visualisierungssystem