Automatische Navigationspfadbestimmung für die virtuelle Koloskopie

M. Siebert, K.-H. Englmeier, G.-F. Rust*

GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit,
Institut für Medizinische Informatik und Systemforschung,
Ingolstädter Landstr. 1, 85758 Neuherberg
*Institut für Klinische Radiologie, Klinikum Großhadern,
Marchioninistr. 15, 81366 München

Zusammenfassung. Die hier vorgestellte Methode erlaubt die automatische Bestimmung eines Navigationspfades für die virtuelle Koloskopie. Die Navigationspfade lassen sich sowohl für eine virtuelle Inspektion des Darmes, als auch zur Berechnung des Höhenprofils der Darmwand einsetzen. Die Analyse der Höhenprofile erleichtert das Auffinden von Darmpolypen. Als Datenmaterial werden Mehrzeilen Spiral CT Aufnahmen des Abdomen verwendet. Für die Segmentierung des Kolons wird ein Volumenwachstumsverfahren eingesetzt, die Berechnung der zur Zentrallinie gehörenden Volumenelemente erfolgt mittels Euklidischer und geodätischer Distanztransformationen.

1 Medizinischer Hintergrund

Enddarmkrebs (Krebs des Dickdarms oder des Rektums) stellt die zweithäufigste krebsbedingte Todesursache in den Industriestaaten dar [1, 2]. Dabei entstehen Kolonkarzinome überwiegend aus Polypen mit einem Durchmesser von mehr als 10 mm. Da sich Symptome erst in einer späten Phase der Krankheit entwickeln, lässt sich nur durch frühzeitige Entdeckung und Entfernung der Polypen das Risiko, an Enddarmkrebs zu sterben, verringern [3, 4]. Reihenuntersuchungen gewisser Risikogruppen, z.B. Menschen ab einem bestimmten Alter, erscheinen in diesem Zusammenhang sinnvoll. Dabei interessieren Polypen mit einem Durchmesser von mehr als 5 mm [5]. Darmspiegelungen mit einem flexiblen Endoskop liefern Erkennungsraten von nur etwa 80%, weil das Zökum nicht in allen Fällen erreicht wird [3, 6, 7], oder Polypen hinter oder an Darmfalten nicht immer sichtbar sind [3].

In den letzten Jahren hat die virtuelle Koloskopie als neues Verfahren zur Untersuchung des Kolons stetig mehr Bedeutung erlangt. Grundlage bildet Bildmaterial der Elektronenstrahl- und Mehrzeilendetektor-Tomographie.

Vorraussetzung für eine sinnvolle virtuelle Koloskopie sind leicht zu bedienende Navigationstechniken, die dem Anwender einerseits genügend interaktive Eingriffsmöglichkeiten lassen, ihn aber anderseits beim Navigieren durch den Darm unterstützen. Voraussetzung hierfür ist ein entsprechender Navigationspfad, der mit der hier vorgestellten Methode vollautomatisch bestimmt werden kann.

2 Material und Methoden

Zur Untersuchung des Dickdarmes stand ein *Somatom Plus 4, Volume Zoom* (Siemens) zur Verfügung. Dank Mehrzeilentechnik lassen sich mit diesem Gerät hoch aufgelöste CT-Untersuchungen auch großer Organabschnitte bei guter Bildqualität durchführen. Für das hier vorgestellte Verfahren wurden Schichtbildsequenzen mit 512 x 512 Bildpunkten verwendet (Pixelgröße 0,625 mm, Schichtabstand 1,25 mm, bis zu 590 Schichtbilder).

Der Patient wurde wie zu einer konventionellen Koloskopie vorbereitet. Hierzu wurde am Tag vor der Untersuchung ein Abführmittel mit bis zu 4 l Flüssigkeit verabreicht und zur Säuberung des Darms mindestens 6 h vor der Untersuchung noch 4 l Macrogol. Zur Distension des Darmes wurde dem Patienten schließlich über eine rektale Sonde 1-3 l Luft insuffliert [8]. Diese Reinigung und Luftfüllung des Kolons stellen einen hohen Kontrast zwischen Darmwand und umliegendem Gewebe sicher [1]. Daher kann das Darmlumen mit einem automatischen Volumenwachstumsverfahren segmentiert werden. Dazu wird ein Saatvoxel interaktiv im Rektum platziert und das Darmlumen bis zum Zökum segmentiert.

Grundlage für die vollautomatische Berechnung des Navigationspfades sind neben dem segmentierten Datenvolumen zwei Abstandsvolumen, die im Anschluss an die Segmentation bestimmt werden. Das erste ist ein Volumen, das Entfernungswerte speichert. Der Wert eines Voxels gibt an, wie weit dieses Volumenelement von der nächstgelegenen Objektwand entfernt ist. Diese Abstandsverteilung wird mit einer effizienten Implementierung der dreidimensionalen Euklidischen Distanztransformation (EDT) berechnet [9]. Das zweite Volumen speichert Entfernungswerte zum Saatvoxel. Diese Entfernungswerte (Iso-Flächen) werden durch eine iterative Anwendung einer modifizierten geodätischen Distanztransformation auf das segmentierte Datenvolumen erzeugt. Dabei entsteht eine Reihe aneinander liegender Subvolumen, wobei jedem Subvolumen ein eigenes Startvoxel zugeordnet wird. Dabei ist die Position der Startvoxel sowie die Größe der entsprechenden Subvolumen abhängig von den Abstandswerten des ersten Abstandsvolumens, welches zuvor mit der Euklidischen Distanztransformation berechnet wurde.

Die Berechnung des Navigationspfades erfolgt mit diesen beiden Abstandsvolumen. Als Ausgangspunkt des Pfads dient das Volumenelement mit dem größten Abstandswert zum Saatvoxel. Dieses Voxel liegt üblicherweise im Blinddarm. In der 26er Nachbarschaft dieses Voxels wird das Volumenelement mit dem größten Abstand zur Darmwand gesucht, das einen kleineren Abstand zum Saatvoxel hat. Die Suche wird mit dem neuen Volumenelement fortgesetzt. Nach Terminierung der Suchschleife ergibt sich eine zusammenhängende Folge von benachbarten Volumenelementen, die sich vom Blinddarm bis ins Rektum erstreckt und dabei einen möglichst großen Abstand von der Darmwand wahrt. Anschließend wird die berechnete Linie geglättet (Abb. 1).

Die Software-Realisierung erfolgte mit der Entwicklungsumgebung IDL 5.3, mit der auch eine grafische Benutzeroberfläche erzeugt wurde.

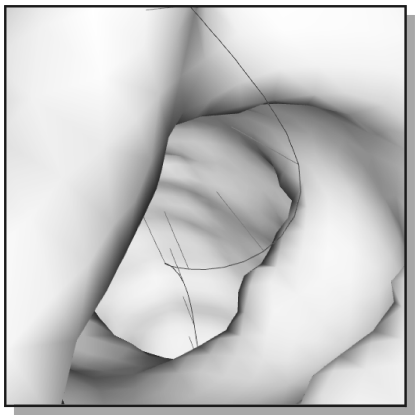

Abb. 1. Automatisch berechnete Zentrallinie durch den Darm

3 Ergebnisse

Mit dem automatisch berechneten Navigationspfad lässt sich leicht ein vollautomatischer Flug durch den Darm realisieren. Die Navigation innerhalb eines Darmes erfordert keine Richtungssteuerung durch den Anwender. Aus diesem Grund wird eine vollautomatische Positionsführung bei interaktiver Steuerung der Blickrichtung gewählt. Auf gängigen PC-Systemen lassen sich durch vorherige Berechnung der Einzelbilder zufriedenstellende Visualisierungsergebnisse erreichen. Für eine zuverlässige Polypendetektion ist es ratsam, eine Navigation durch das Darmlumen in beiden Richtungen vorzunehmen, um auch zwischen oder hinter Darmfalten liegende Polypen zu erkennen.

Um das Auffinden von Tumoren oder Polypen zu erleichtern, wird der berechnete Navigationspfad für eine Darmwandprojektion eingesetzt. Zuerst wird die Segmentierung des Darms durch eine Dilatation ausgedehnt. Vom derart vergrößerten Darm wird danach die ursprüngliche Segmentierung binär subtrahiert, so dass nur ein äußerer Rand um den Darm erhalten bleibt. In bestimmten Abständen entlang des Navigationspfades werden Ebenen bestimmt, die auf dem Navigationspfad senkrecht stehen und den Darmrand schneiden. Von jedem Schnittvoxel, das Teil der Darmwand ist, wird der euklidische Abstand zum Zentralpunkt und der Winkelbereich in der entsprechenden Ebene bestimmt. Alle im Winkelbereich liegende Punkte des Schnittbildes werden mit dem berechneten Abstandswert belegt. Jede Schnittebene erzeugt also eine Reihe von Werten, die jedem Winkelintervall einen Abstandswert zuordnet. Zu einer Höhendarstellung des Darmwandprofils gelangt man, indem man auf der Abszisse die Position auf dem Navigationspfad und auf der Ordinate das Winkelintervall um den Navigationspfad aufträgt. Die Höhe eines Punktes repräsentiert den Abstand zum nächsten Punkt der Darmwand (Abb. 2).

Polypen stellen, anders als Darmfalten, nur eine lokale Erhebung der Darmwand dar. Diese Erhebungen erzeugen im Höhenprofil abrupte Höhenänderungen. Diese

Diskontinuitäten im Höhenprofil lassen sich weitgehend automatisch detektieren. Mit einer anschließenden automatischen Navigation lassen sich die gefundenen verdächtige Stellen überprüfen.

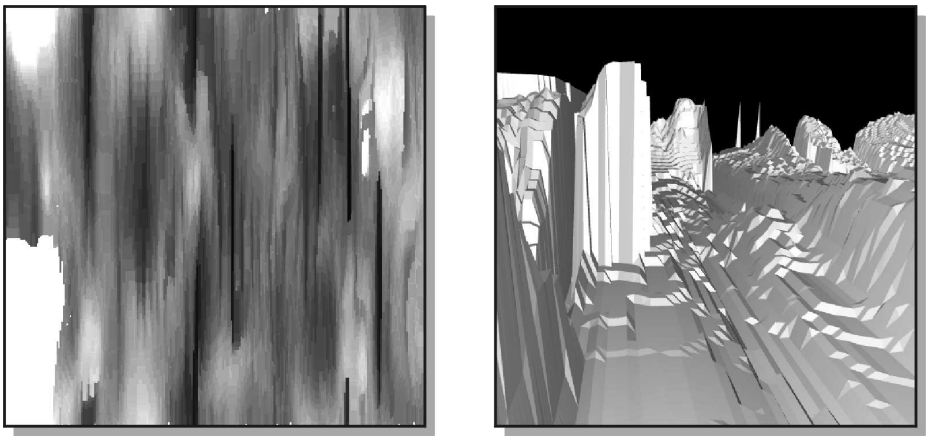

Abb. 2. Berechnetes Darmwandprofil als Grauwert- (Mitte) und Höhendarstellung (rechts)

4 Schluss

Die automatische Berechnung eines Navigationspfades, der einerseits für eine automatische Navigation, anderseits zur Bestimmung der Darmwandprojektion verwendet werden kann, unterstützt die virtuelle Koloskopie beim Auffinden von verdächtigen Strukturen an der Darmwand, bei denen es sich möglicherweise um Polypen oder Tumore handeln kann.

In weiteren Untersuchungen soll noch gezeigt werden, mit welcher Sensitivität und Spezifität von Polypen verursachte Diskontinuitäten detektiert werden können.

5 Literatur

1. Hara AK, Johnson D, Reed JE, Ehman RL und Ilstrup DM: Colorectal polyp detection with CT colography: Two- versus three-dimensional techniques. Radiology, 200: 49-54, 1996.
2. Hara AK, Johnson D, Reed JE, Ahlquist DA, Nielson H, Ehman RL, McCollough CH und Ilstrup DM: Detection of colorectal polyps by computed tomographic colography: Feasibility of a novel technique. Gastroenterology, 110: 284-290, 1996.
3. Fenlon HM und Ferrucci JT: Virtual colonoscopy. American Journal of Roentgenology, 169: 453-458, August 1997.
4. Kay CL und Evangelou HA: A review of the technical and clinical aspects of virtual endoscopy. Endoscopy, 28: 768-775, 1996.
5. Hong L, Muraki S, Kaufman A, Bartz D und He T: Virtual voyage: Interactive navigation in the human colon. In: Computer Graphics (SIGGRAPH '97 Proceedings), 27-34, August 1997.

6. Hunt GW, Hemler PF und Vining DJ: Automated virtual colonoscopy. In: Kim Y (Herausgeber): Medical Imaging 1997: Image Display, Proceedings of SPIE, 535-541, Februar 1997.
7. Kay PA, Robb RA, Myers RP und King BF: Creation and validation of patient specific anatomical models for prostate surgery planning using virtual reality. In: Höhne KH und Kikinis R (Herausgeber): Visualization in Biomedical Computing, Lecture Notes in Computer Science, 547-558. Springer Verlag, September 1996.
8. Rust GF, Eisele O, Hoffmann JN, Kopp R, Fürst H und Reiser M: Virtuelle Koloskopie mit der Mehrschichtcomputertomographie. Der Radiologe, 40:274-282, 2000.
9. Stammberger T: Untersuchung von invarianten Repräsentationen zur Bestimmung von Transformationen in medizinischen Bilddaten. Diplomarbeit, Technische Universität München, 1996.