

Segmentierung von Blutgefäßstrukturen in koloskopischen NBI-Bilddaten

Sebastian Gross^{1,2}, Stephan Palm¹, Alexander Behrens¹,
Jens J. W. Tischendorf², Christian Trautwein², Til Aach¹

¹Lehrstuhl für Bildverarbeitung, RWTH Aachen University, 52056 Aachen

²Medizinische Klinik III, Universitätsklinikum Aachen, 52057 Aachen

sebastian.gross@lfb.rwth-aachen.de

Kurzfassung. Bei der ärztlichen Einschätzung von Dickdarmpolypen kommt das neue Verfahren Narrow Band Imaging zum Einsatz. Hierbei wird der Kontrast der charakteristischen Blutgefäße durch Modifikation der Beleuchtung deutlich angehoben, wodurch diese dann als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden können. Aufbauend auf diesem Verfahren ist eine automatische Segmentierung der Blutgefäße und Klassifikation der Dickdarmpolypen möglich. In diesem Paper werden Verbesserungen für die Blutgefäßsegmentierung des von Stehle et al. vorgeschlagenen Verfahrens erläutert und Ergebnisse im Vergleich dargestellt. Es zeigt sich, dass sowohl die Qualität der Segmentierung als auch die Ergebnisse der automatisierten Klassifikation deutlich gesteigert werden konnten.

1 Einleitung

Darmkrebs ist sowohl die zweithäufigste Krebsart als auch die zweithäufigste Krebstodesursache in Deutschland [1]. Bei ungefähr 36.000 Frauen und 37.000 Männern wird jedes Jahr Darmkrebs neu diagnostiziert. Etwa 28.000 Patienten sterben pro Jahr an der Erkrankung, wobei sich dies gleichmäßig auf Frauen und Männer verteilt.

Es konnte gezeigt werden, dass bei entsprechender Vorsorge und rechtzeitiger Therapie im Frühstadium eine deutliche Steigerung der 5-Jahres-Überlebensrate erreichbar ist. Hierzu kann die Darmwand während einer endoskopischen Untersuchung (Koloskopie) visuell inspiziert und Polypen entfernt (Polypektomie) werden. Da allerdings jede Polypektomie Risiken wie z.B. Blutungen oder Rupturen der Darmwand mit sich bringt [2], ist es sinnvoll, nur potentiell bösartige Polypen zu entfernen.

Daher wurde das Narrow Band Imaging (NBI) entwickelt, welches mit Hilfe von Licht in zwei unterschiedlichen Wellenlängen die Blutgefäßstrukturen auf Polypen deutlich hervorhebt [3]. Anhand dieser Strukturen ist eine Unterscheidung zwischen Adenomen und Hyperplasten mit einer hohen Genauigkeit möglich [4].

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Verfahren zur automatischen Klassifikation von Dickdarmpolypen von Stehle et al. [5] entwickelt. Zuerst werden hierbei in den NBI-Bilddaten durch Reflexionen an der nassen Darmwand

auftretende überbelichtete Stellen im Bildmaterial, sogenannte Glanzlichter, automatisch maskiert [6]. Nachfolgend wird die Polypenoberfläche im Bild interaktiv markiert und die Blutgefäße in dieser Region-Of-Interest (ROI) automatisch segmentiert. Hierzu schlagen Stehle et al. eine Kombination aus Kovesis Phasensymmetriefilter [7] und Sethians Fast Marching [8] vor. Die Ergebnisse des Phasensymmetriefilters werden hierbei sowohl dazu genutzt, die Saatpunkte als auch die Kostenfunktion für das Fast Marching zu generieren. Das Fast Marching liefert die finale Blutgefäßsegmentierung, auf deren Grundlage Merkmale für die Klassifikation der Dickdarmpolypen gewonnen werden. Auf einem Datensatz aus 289 Polypen, die mit NBI aufgenommen wurden, erreicht das Verfahren eine Genauigkeit von 78,3 %. Die Sensitivität von 80,1 % macht deutlich, dass vor allem an der Erkennung von Adenomen noch Verbesserungen nötig sind, damit keine Adenome im Körper verbleiben. Die Spezifität von 77,2 % zeigt, dass ein Großteil der Hyperplasten vom System bereits richtig erkannt und zum Verbleib vorgeschlagen wird. Für einen Einsatz im medizinischen Bereich werden jedoch eine Sensitivität und Spezifität von jeweils über 90 % angestrebt.

2 Material und Methoden

Eine Untersuchung der Zwischenergebnisse des Verfahrens zeigt, dass es Verbesserungspotenzial bei der Glanzlichtentfernung und Blutgefäßsegmentierung gibt. Die bereits angesprochenen Glanzlichter entstehen durch die Reflexion von Licht, das koaxial zum Blickwinkel des Endoskops in den Darm gesendet wird. Die Darmwand ist feucht und wirft das Licht teilweise direkt zurück. Diese überbelichteten Stellen beinhalten keine Information und werden daher entfernt [6]. In Abb. 1(a) ist das so verarbeitete NBI-Bild gezeigt. Es zeigt sich jedoch bei genauer Betrachtung, dass bei einer einfachen Maskierung der entsprechenden Bereiche im Ergebnisbild des Phasensymmetriefilters Randeffekte auftreten können (Abb. 1(b)). Hier sind mittig sternförmige Störungen sichtbar, die im Ergebnis des Phasensymmetriefilters durch die starken Kontraste der Glanzlichter entstehen können. Eine Füllung der ermittelten Bereiche mit dem mittleren Grauwert der umliegenden Pixel und anschließende Tiefpassfilterung des Glanzlichtbereichs schließt die Lücken im Bild und verhindert unerwünschte Effekte

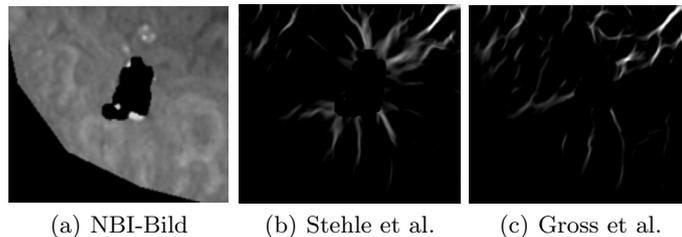


Abb. 1. Vergleich der Segmentierungsergebnisse des dargestellten Polypen (links) mit dem Verfahren nach Stehle et al. [5] und dem neuen Verfahren.

bei der Anwendung der nachfolgenden Filterung (Abb. 1(c), rechts). Weiterhin liefert das Verfahren nach Stehle et al. [5] nicht immer vollständig zufriedenstellende Ergebnisse bei der Blutgefäßsegmentierung. Insbesondere die Nutzung des Fast Marching von Sethian [8] wirkt sich häufig negativ auf das Ergebnis aus. Es ist schwer möglich, auf dem stark variierenden Bildmaterial aus der NBI-Koloskopie ein einheitliches Abbruchkriterium für das Fortschreiten der Front beim Fast Marching zu definieren. Das Verfahren liefert daher häufig deutlich unregelmäßige Segmentierungen.

Die Ergebnisse des Phasensymmetriefilters von Kovese [7], die im Verfahren von Stehle et al. [5] lediglich als Ausgangspunkt für die Bestimmung der Kostenfunktion und der Saatpunkte genutzt werden, enthalten zum Einen sehr detaillierte Informationen der einzelnen Gefäße, jedoch zum Anderen jedoch auch viel Rauschen und einige Fehldetektionen. Um die detaillierten Informationen besser zu nutzen und die Probleme zu beseitigen, die aus dem Fast Marching resultieren, wird ein dreistufiger Ansatz eingesetzt, der auf dem Hystereseverfahren von Canny [9] beruht.

In der ersten Stufe werden sämtliche Strukturen wie bisher markiert, was Details, feine Verästelungen der Gefäße und Artefakte mit einschließt. Der genutzte Schwellwert ist in dieser Stufe sehr niedrig, um die feinen Strukturen und Zusammenhänge zu erhalten (Abb. 2(b)).

In der zweiten Stufe werden durch Anpassung der Parameter von Kovese Phasensymmetriefilter [7] lediglich niederfrequente Gefäßstrukturen markiert und die Filterergebnisse zusätzlich mit einem hohen Schwellwert gefiltert. Auf diese Weise werden die kontrastreichen, starken Gefäßteile, welche sich deutlich von der Polypenoberfläche abheben, erkannt. Durch die gewählten Einstellungen werden die Gefäßstrukturen allerdings nur unvollständig abgebildet (Abb. 2(b)).

Die Ergebnisse der ersten zwei Stufen sind als Eingangsgrößen den durch unterschiedlich gewählte Schwellwerte erstellten Ergebnissen beim Canny-Egde-Detektor [9] sehr ähnlich und können daher idealerweise, wie von Canny vorgeschlagen, mit Hilfe einer Hystereseoperation kombiniert werden. In der dritten Stufe werden die niederfrequenten Strukturen aus dem zweiten Ergebnis, ähnlich einer Hysterese, mit den angrenzenden Pixeln aus dem ersten Durchlauf um Detailinformationen ergänzt und vervollständigt, so dass sich geschlossene Gefäßstrukturen ergeben. Die Ergebnisse sind in Abb. 2(d) abgebildet. Die so ermittelten Blutgefäße können in den weiteren von Stehle et al. [5] beschriebenen

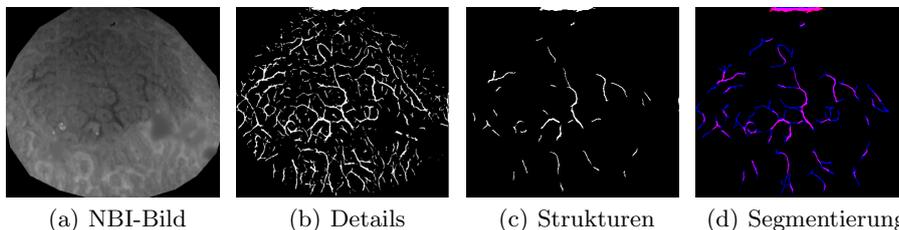


Abb. 2. Darstellung des dreistufigen Verfahrens zur Segmentierung von Blutgefäßen.

Tabelle 1. Ergebniss der Klassifikation von 289 Polypen für beide Verfahren im Vergleich.

	Neues Verfahren	Stehle et al.
Klassifikationsrate	83,4%	78,3%
Sensitivität	90,4%	80,1%
Spezifität	73,7%	77,2%

Schritten als Grundlage für die Berechnung der Merkmale zur Klassifikation der Dickdarmpolypen eingesetzt werden.

3 Ergebnisse

Die Evaluierung wird auf einer Datenbank mit 289 Bilder von Polypen der diagnostisch relevanten Größe von unter 10 mm, die unter NBI-Beleuchtung aufgenommen wurden, durchgeführt. Für sämtliche Polypen liegen neben den Bilddaten auch die Ergebnisse einer histologischen Untersuchung vor, welche als Goldstandard herangezogen werden. In Abb. 3 werden beispielhaft Segmentierungsergebnisse für zwei Polypen jeweils für das Verfahren von Stehle et al. [5] und für das vorgeschlagene Verfahren neben dem Originalbild gezeigt. Deutlich wird hier, dass das neue Verfahren mit den Verbesserungen eine wesentlich detailgetreuere Darstellung der Blutgefäße ermöglicht.

In Tab. 1 sind die Ergebnisse der automatisierten Klassifikation nach Merkmalsextraktion und Leave-One-Out-Klassifikation mittels Support Vector Machine (SVM) gelistet. Vier ausgewählte Merkmale der Polypen, die sich auf den Segmentierungen nach Stehle et al. [5], als charakteristisch erwiesen haben, wurden auf Basis der Blutgefäßsegmentierungen der beiden Verfahren berechnet. Es wird in Tab. 1 deutlich, dass die Klassifikationsgenauigkeit durch die Verbesserungen um mehr als 5% zugenommen hat. Die deutlichste Veränderung ist bei

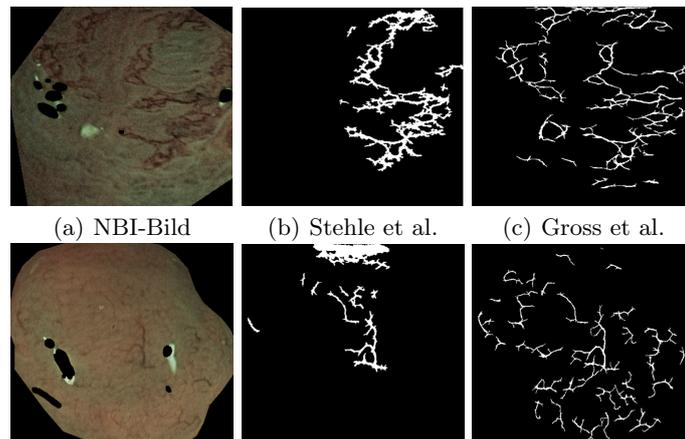


Abb. 3. Blutgefäßsegmentierungen auf zwei Polypen für beide Verfahren im Vergleich.

der Sensitivität mit einer Steigerung von über 10% zu verzeichnen. Anzumerken ist allerdings, dass die Spezifität um 3,5% abgenommen hat.

4 Diskussion

Insgesamt ist die Steigerung der Genauigkeit durch die vorgeschlagenen Schritte deutlich. Die Abb. 3 zeigt, dass die Blutgefäßstrukturen detailtreuer dargestellt werden mit dem vorgeschlagenen Verfahren, als dies mit dem Algorithmus von Stehle et al. [5] möglich war. Die Ergebnisse der Klassifikation auf Basis der segmentierten Gefäßstrukturen auf 289 Polypen in Tab. 1 zeigen, dass die ermittelten Blutgefäße und die darauf berechneten Merkmale die Polypen besser beschreiben. Für die Weiterentwicklung des Projektes mit Hinblick auf die erforderliche Performance im medizinischen Einsatz sind mehrere Ansätze vorgesehen. Eine Evaluierung auf Basis einer handsegmentierten Ground Truth, die dann auch als Maßstab für weitere Verbesserungen dienen kann, sollte erstellt werden. Weiterhin sind zusätzliche Modifikationen wie z.B. eine Nachfilterung der segmentierten Strukturen, um fehlerhaft als Blutgefäße erkannte Strukturen auszuschließen, geplant. Abschließend soll eine klinische Evaluierung durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

1. des Bundes G. Krebs in Deutschland 2005-2006 - Häufigkeiten und Trends. Robert Koch Institut, Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V.; 2010.
2. Heldwein W, Dollhopf M, Rösch T, et al. The Munich polypectomy study (MUPS): prospective analysis of complications and risk factors in 4000 colonic snare polypectomies. *Endoscopy*. 2005;37(11):1116–22.
3. Gono K, Obi T, Yamaguchi M, et al. Appearance of enhanced tissue features in narrow-band endoscopic imaging. *J Biomed Opt*. 2004;9(3):568–77.
4. Tischendorf JJW, Wasmuth HE, Koch A, et al. Value of magnifying chromoendoscopy and narrow band imaging (NBI) in classifying colorectal polyps: a prospective controlled study. *Endoscopy*. 2007;39(12):1092–6.
5. Stehle T, Auer R, Gross S, et al. Classification of colon polyps in NBI endoscopy using vascularization features. *Proc SPIE*. 2009;7260:2s1–12.
6. Stehle T. Removal of specular reflections in endoscopic images. *Acta Polytechnica*. 2006;46(4):32–6.
7. Kovese P. Image features from phase congruency. *Videre*. 1999;1(3):2–26.
8. Sethian J. A fast marching level set method for monotonically advancing fronts. In: *Proc Nat Acad Sci*. vol. 93; 1996. p. 1591–5.
9. Canny J. A computational approach to edge detection. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 1986;8(6):679–98.