

Intelligente Kantendetektion in endoskopischen Ultraschallbildern mit dem Centered-Compass-Filter

Tobias Riegg, Ursula Zucker und Alexander Horsch

Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie,
Technische Universität München, 81675 München
Email: tobias@riegg.biz

Zusammenfassung. Bei der computergestützten Analyse von endoskopischen Ultraschallbildern spielen Kantentfilter eine wichtige Rolle. Problematisch bei diesen Bildern sind das starke, modalitätsspezifische Rauschen und die unregelmäßige Struktur der Kanten. In diesem Artikel wird ein Kantentfilter vorgestellt, der die speziell bei endosonografischen Bildern auftretenden tangentialen oder grob kreisbogenförmigen Kanten detektiert, an denen man zum Beispiel bei der Detektion von Tumorberandungen interessiert ist. Für die Anwendung der Methode muss der Mittelpunkt der untersuchten Struktur, also etwa die ungefähre Lage des Lumenschwerpunkts, bekannt sein, um eine winkelabhängige Filterung zu ermöglichen. Das Verfahren wurde für das Projekt OTEUS (Oesophagus Tumor Staging mit endoskopischem Ultraschall) der Technischen Universität München entwickelt und wird dort erfolgreich eingesetzt.

1 Einleitung

Ultraschall ist in der Medizin als bildgebendes Verfahren zur Untersuchung innerer Organe und Gewebestrukturen weit verbreitet. Medizinische Ultraschallaufnahmen sind nur sehr schwer objektiv zu beurteilen und auch die automatische Analyse von Ultraschallbildern ist auf Grund von Speckles, tiefenabhängiger Signaldämpfung, niedrigem Signal-Rausch-Verhältnis und richtungsabhängigem Kantenkontrast eine Herausforderung. Doch gerade die automatische Analyse und Interpretation dieser Aufnahmen ist zur objektiven, reproduzierbaren Diagnose und Behandlungsvorbereitung wünschenswert und von hohem klinischen Nutzen. Ein essenzieller Schritt in Richtung automatischer Bildinterpretation ist die Detektion von Übergängen zwischen verschiedenen Gewebeschichten [1, 2]. Da die meisten hierfür notwendigen Kantentfilter darauf ausgerichtet sind, möglichst alle Kanten im Bild zu detektieren, ist es bei der weiteren Verarbeitung oft schwierig, relevante von irrelevanten Kanten zu unterscheiden. Hier sind also Verfahren zur Kantendetektion gefragt, die sehr tolerant gegenüber Rauschen sind und die die Zahl der detektierten Kanten auf die notwendigen einschränken und damit deren Nutzen maßgeblich verbessern. Zur weiteren Analyse benötigt man nicht alle Kanten, überflüssige Kanten erschweren diese sogar.

Bei endoskopischen Ultraschallbildern, insbesondere des Oesophagus, kann man sich Wissen über die Beschaffenheit des Bildinhaltes bei der Filterung zu Nutze machen. Die Ränder von Oesophaguskarzinomen verlaufen auf den Ultraschallbildern annähernd kreisbogenförmig entlang von Kanten, die einen Übergang von hell nach dunkel, ausgehend vom Ultraschalltransducer, markieren. Um speziell diese relevanten Kanten zu detektieren, wurde ein darauf ausgerichteter Kantefilter entwickelt, der abhängig von der relativen Position eines Bildpunktes zum Transducer arbeitet.

2 Stand der Technik

Gängige Kantefilter, wie z. B. der Sobel-Filter oder der Canny-Deriche-Filter, filtern das gesamte Bild aus bis zu vier Richtungen und wählen von den so erzeugten Werten den größten für das resultierende Kantenbild. Mit dieser Vorgehensweise werden im Idealfall alle im Bild auftretenden Kanten detektiert [3, 4].

Eine gerichtete Kantefilterung ist mit so genannten Kompassfiltern oder über Richtungsgradienten beim Sobel-Filter und ähnlichen Filtern möglich. Die hier frei wählbare Richtung ist jedoch für das gesamte Bild uniform festgelegt. Bei technischen Bildern ist diese unidirektionale Filterung aufgrund der geometrisch strukturierten Bildinhalte oft erwünscht und sinnvoll, um den Anteil der nicht benötigten Kanten zu reduzieren und so speziell nach den gewünschten Kanten zu suchen [5].

3 Wesentlicher Fortschritt durch den Beitrag

Mangels klarer geometrischer Formen war eine solche Vorselektion von Kanten bei organischen Bildinhalten bislang nicht denkbar. Der in dieser Arbeit neu entwickelte Centered-Compass-Filter (CCF) filtert nicht das gesamte Bild aus einer fest definierten Richtung, sondern ausgehend von einem Mittelpunkt der kreisförmigen Kanten strahlenförmig zum Bildrand. Hierbei wird das Wissen, dass die gesuchten Kanten näherungsweise konzentrisch um diesen Mittelpunkt liegen und so von dem „Detektionsstrahl“ passiert werden müssen, genutzt. Es wird für jeden Bildpunkt eine individuelle Filtermaske berechnet, die so gedreht ist, dass genau diese Kanten hohe Gradienten im Kantenbild zur Folge haben, während alle anderen Kanten nicht oder nur schwach auftreten.

4 Methoden und Materialien

Als Kompassfilter bezeichnet man parametrisierte Kantefilter, deren Detektionsrichtung frei einstellbar ist. Erreicht wird diese Flexibilität, indem man durch trigonometrische Umformungen die Filtermaske bzw. -matrix dreht. Im Gegensatz zu herkömmlichen Kompassfiltern verwendet der hier vorgestellte Centered-Compass-Filter für jeden Bildpunkt eine individuell berechnete Filtermaske. Ziel ist eine winkelabhängige Filterung, abhängig von der relativen Position eines

Bildpunktes zur Transducerposition. Der eigentlichen Kantenfilterung geht eine Gaussfilterung voraus, die das Bild glättet und es so ermöglicht, mit verrauschten Bildern zu arbeiten und gute Ergebnisse zu erzielen.

Kennt man die Position des Transducers, kann damit für jeden Punkt des Bildes der radiale Winkel zum Transducer berechnet werden. Mit dem so bestimmten Winkel und dem schon erwähnten Vorwissen, dass die gesuchten Kanten fast kreisförmig um den Mittelpunkt liegen, kann man eine Filtermaske, basierend auf einer Prewitt-Maske, für genau diesen Punkt erstellen. Durch diese Methode der Filterung werden vom Mittelpunkt aus die Übergänge von dunkel nach hell detektiert, die annähernd auf einem Kreisbogen verlaufen. Dies sind in Ultraschallbildern des Oesophagus genau die Kanten, entlang derer die Ränder von Karzinomen verlaufen. Somit wird eine Detektion und Analyse dieser Karzinome stark vereinfacht.

Berechnung der Filtermaske: Als Basis wird eine einfache 3x3 Prewitt-Maske verwendet:

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

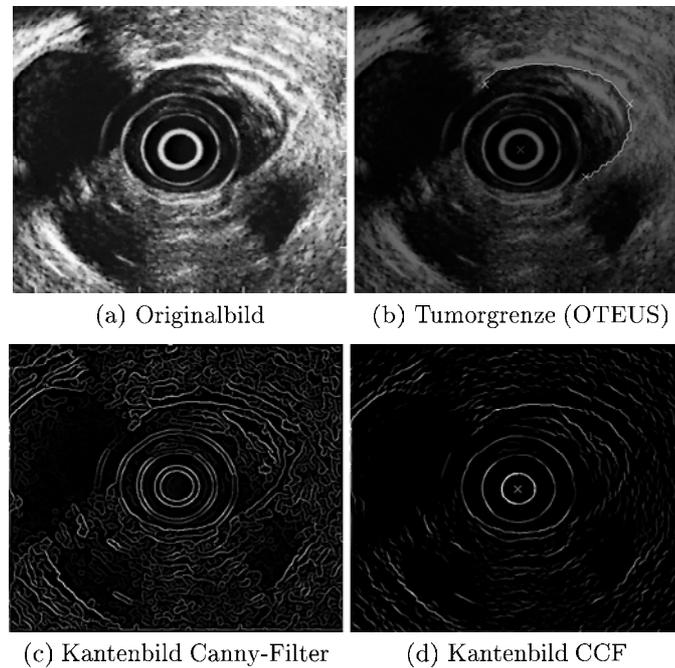
Damit diese Matrix drehbar wird, müssen die einzelnen Werte durch trigonometrische Funktionen erzeugt werden, die als Parameter den gewünschten Winkel α erhalten [6]. Damit ergibt sich folgende Filtermaske für den Centered-Compass-Filter:

$$\begin{pmatrix} a - b & -b & -a - b \\ a & 0 & -a \\ a + b & b & -a + b \end{pmatrix} \text{ wobei } \begin{cases} a = \cos(\Pi/2 - \alpha) \\ b = \sin(\Pi/2 - \alpha) \end{cases} \quad (2)$$

Bei größeren Masken als 3x3 ist die Toleranz gegenüber von der idealen Kreisform abweichenden Kanten zu gering, was problematisch ist, da die Kanten in organischen Bildern nur selten entlang dieser verlaufen. Somit würden zu große Lücken in den detektierten Kanten entstehen. Von großen Masken ist daher abzuraten. Da die Maske für jeden Bildpunkt berechnet werden muss, wirkt sich die schlanke Maske zusätzlich positiv auf die Laufzeit aus.

Sollte die Position des Transducers (oder eines anderen gewünschten Filterreferenzpunktes) nicht vom Ultraschallgerät an das Programm übermittelt werden, kann sie eventuell aus dem Bild gewonnen werden. In Abb. 1(a) ist der gesuchte Punkt der Mittelpunkt der kreisförmigsten schwarzen Region im Bild, da der Transducer kreisförmige Artefakte im Bild erzeugt. Diese Region lässt sich rasch mittels einer Schwellwertoperation, deren Ergebnisbild in seine Zusammenhangskomponenten zerlegt wird (mit einer modifizierten Tiefensuche [7, 8]), gefolgt von einer Selektion der gesuchten Region nach Größe und Form, bestimmen.

Abb. 1. Vergleich von Centered-Compass-Filter (CCF) und Canny-Filter



5 Ergebnisse

Da für jedes Pixel die Filtermaske neu berechnet wird, ist das Laufzeitverhalten des Filters im Vergleich mit anderen Kantentfiltern deutlich schlechter. Auf einem handelsüblichen Rechner mit 1,5 GHz Intel Pentium M Prozessor dauert die Kantentfilterung mit dem Centered-Compass-Filter von einem Bild mit den Dimensionen 672x480 im Schnitt eine Sekunde.

Abb. 1(a) zeigt ein Original-Ultraschallbild des Oesophagus. Vergleicht man die daraus resultierenden Kantenbilder des Canny-Filters (Abb. 1(c)) und des Centered-Compass-Filters (Abb. 1(d)) bezüglich Anzahl und Relevanz der detektierten Kanten zur Bestimmung der Tumorgrenze (Abb. 1(b)), ist der Vorteil des Centered-Compass-Filters klar erkennbar.

Der Centered-Compass-Filter senkt die Menge der in weiteren Schritten zu verarbeitenden Kanten um bis zu 75%, was eine bedeutende Vereinfachung für deren folgende Analyse darstellt. Der Filter wurde an 20 verschiedenen Ultraschallbildern des Oesophagus getestet und die Gesamtlänge der detektierten Kanten gemessen. Im Vergleich zum Canny-Deriche-Filter sank diese durchschnittlich um 36%. Die detektierten, für die Weiterverarbeitung relevanten, Kanten waren in beiden Testreihen identisch; folglich werden vom Centered-Compass-Filter lediglich die irrelevanten Kanten reduziert. Insgesamt verbessert der Centered-Compass-Filter somit die Güte der detektierten Kanten erheblich.

6 Diskussion

Der Centered-Compass-Filter eignet sich nur für ein enges Anwendungsspektrum. Die notwendigen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Filterung, nämlich kreisbogenförmige Kanten um einen bekannten Mittelpunkt herum, sind nur in speziellen Fällen erfüllt. Spielt die Laufzeit aber keine große Rolle und sind die obigen Voraussetzungen erfüllt, so liefert der Centered-Compass-Filter ausgesprochen gute Ergebnisse und leicht weiter zu verarbeitende Kanten.

Bislang kommt der Filter bei dem Programm OTEUS zum Einsatz, für das er auch entwickelt wurde. OTEUS dient zur Bestimmung des Stadiums von Oesophaguskarzinomen, um die Diagnose des Arztes durch eine Zweitmeinung zu ergänzen. Das Programm erkennt unter Zuhilfenahme des Centered-Compass-Filters zunächst die relevanten Kanten, mit denen im darauffolgenden Schritt die Tumorgrenze erkannt und analysiert wird. Erst durch die Verwendung des Centered-Compass-Filters konnte eine saubere, zuverlässige und korrekte Erkennung der Tumorgrenze realisiert werden.

Ein Einsatz des Centered-Compass-Filters ist auch in anderen Bereichen, in denen endoskopische Bilder mit Methoden der medizinischen Bildverarbeitung analysiert werden, denkbar.

Literaturverzeichnis

1. Yu Y, Acton ST. Edge Detection in Ultrasound Imagery Using the Instantaneous Coefficient of Variation. *IEEE Trans Image Process* 2004;13(12):1640–1655.
2. Gong L, Pathak SD, Kim Y. Selective contrast enhancement of prostate ultrasound images using sticks with high-level information. *SPIE Medical Imaging* 2001 2001;4319(5):1640–1655.
3. Steinbrecher R. *Bildverarbeitung in der Praxis*. Oldenbourg, München; 1993.
4. Radig B. *Verarbeiten und Verstehen von Bildern*. Oldenbourg, München; 1993.
5. Ritter GX, Wilson JN. *Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra*. CRC Press, New York; 2000.
6. Meyberg K, Vachenaue P. *Höhere Mathematik 1*. Springer, Heidelberg; 2001.
7. Heun V. *Grundlegende Algorithmen*. Vieweg, Wiesbaden; 2003.
8. Steger A. *Diskrete Strukturen 1*. Springer, Berlin; 2001.