Flächen- und Volumenmessung lokaler Objekte in DICOM-Bildern und –Bildfolgen

Sergei Hludov, Christoph Meinel und Thomas Engel

Institut für Telematik
Bahnhofsstr. 30-32, 54292 Trier
Email: hludov@ti.fhg.de

Zusammenfassung. Die Aufgabe der Segmentierung und der Flächenmessung des Objektbereichs im Bild einer DICOM-Bildfolge wird wie die Aufgabe der Parameterschätzung, die das Kriterium des Maximums der Aposteriori-Wahrscheinlichkeiten für Vektor-Prozesse optimieren, vorgestellt. Die Auflösung, die das Resultat der folgerichtigen Optimierung des Kriteriums ist, besteht aus der Pixelklassifikation der vorläufigen Bilder im Objektbereich und im Hintergrund, wobei die Grauwert-, Form- und Größenänderungen des Objekts berücksichtigt werden, sowie aus der zeitlichen Kalman-Filterung des Objektbereichs und des Hintergrunds. Auf Basis dieses vorgeschlagenen Verfahrens kann man konkrete Algorithmen ausarbeiten für die verschiedenen Untersuchungsobjekte.

Schlüsselwörter: DICOM, Modell, Zustand, Schätzung, Kalman-Filterung

1 Einleitung

Während der Analyse von CT- und MR-DICOM-Bildfolgen wird oft eine Fläche oder ein Volumen gebraucht, um bestimmte lokale Objekte zu messen. Zur Zeit markiert der Arzt manuell in jedem Bild ein Gebiet, das dem zu analysierenden Objekt gehört. Weiter werden die in Pixel berechneten Flächen der markierten Zonen aller Bilder der Bildfolgen addiert und auf Grund der Auflösung des Bildes und des Abstandes zwischen Bildern in Bildfolgen das Volumen des lokalen Objekts berechnet. Diese Operation erfordert für die übliche Länge einer Bildfolge (von 30 bis zu 50 Bildern) etwa 20 bis 35 Minuten.

Bekannte automatisierte Lösungen der Aufgabe basieren auf den Methoden der Segmentation [1-6]. Jedoch ist die Anwendung dieser Methoden oft von Schwierigkeiten begleitet, die mit der Auswahl des Merkmalsystems für Segmentation verbunden sind. Die Auswahl des Merkmals hängt ab von den Parametern des Objektbildes, die sich von Bild zu Bild in der Bildfolge ändern.

In dieser Arbeit wird die Aufgabe der Markierung der interessierenden Region (ROI) des Bildes, die zum Objekt gehören, als Aufgabe der Schätzung der Parameter des Bildes des Objekts (Bildpunkte, die des Objekts gehören) und der Parameter des Bildes des Hintergrund (Bildpunkte, die des Objekts nicht gehören) auf Grund der Erfassung die Änderung in den Bildern der Bildfolgen formuliert und gelöst.

Die Lösung setzt voraus, daß der Arzt die erste Markierung des Objektbereiches im ersten Bild macht. Hieraus erhält man die Apriori- Information über den Grauwert der Pixel und die Lage des Objektbereiches und den Hintergrund des nächsten Bildes.

2 Das Modell des Zustandes und der Messung

Seien n die Nummer des Bildes L_n der betrachteten Bildfolge, H_n der Objektbereich im Bild L_n, G_n der Hintergrund im Bild L_n, R_n die binäre Maske des Objektbereiches (Abb. 1).

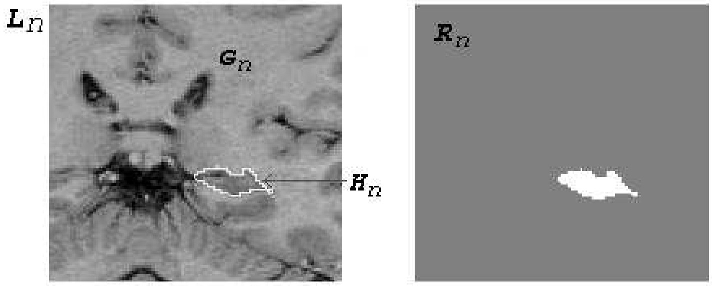

Abb. 1. L_n, G_n, H_n - Bilder und die binäre Maske des Objekts

Auf Grund der Apriori-Information ist bekannt: R_0 , wobei $r(i, j,0) = 1$ wenn Bildpunkt (i, j) in den Objektbereich gehört und $r(i, j,0) = 0$ im anderen Fall. Insgesamt ist $r(i, j,0) = \{1,0\}$ und ist eine Zufallsgröße mit der Verteilung $W(r(i, j,n)) = \{P(i, j,n),1 - P(i, j,n)\}$; $g(i, j,0)$ ist der Grauwert des Hintergrund im Bildpunkt (i, j), für den $r(i, j,0) = 0$; $h(i, j,0)$ ist der Grauwert des Objektbereiches im Bildpunkt (i, j), für den $r(i, j,0) = 1$.

Das Modell des Grauwertzustandes der Objekt- und Hintergrundpunkte definieren wir durch Markprozess folgenden Typs:

$$g(i, j,n) = g(i, j,n-1) + \omega(i, j,n) \quad \text{für } r(i, j,n-1) = 0 \tag{1}$$

$$h(i, j,n) = h(i, j,n-1) + \eta(i, j,n) \quad \text{für } r(i, j,n-1) = 1 \tag{2}$$

wobei $\omega(i, j,n)$, $\eta(i, j,n)$ - $N(0, D_\omega)$, $N(0, D_\eta)$ Gauß'sche Normaleprozesse, die räumlich und zeitlich unkorreliert sind. Es wird weiterhin vorausgesetzt, daß der Objektbereich zweier aufeinanderfolgender Bilder der Bildfolgen nur kleine Änderungen des Grauwerts, der Form und der Größe hat. Dabei, seien Δ die vorausgesetzte mögliche Änderung der Größe des Objektbereiches von Bild zu Bild, δ der vorausgesetzte kleinste Unterschied zwischen Grauwert, Objekt und Hintergrund auf dem Bild im lokalen Bereich - $\Delta \times \Delta$ Pixel. Außerdem, sei $P(i, j/k,m)$ die Warscheinlichkeit, daß der Pixel (i, j) dem Objektbereich angehört, unter der Bedingung, daß Pixel (k,m) auch dem Objektbereich angehört. Dabei ist :

$$\sum_{k,m} P(i, j/k,m) = 1 \tag{3}$$

Das Modell der Messung im Bildpunkt (i, j) definieren wir als

$$l(i, j,n) = r(i, j,n) * h(i, j,n) + (1 - r(i, j,n)) * g(i, j,n) + \xi(i, j,n) \tag{4}$$

wobei $\xi(i, j,n)$ - $N(0, D)$ ein Gauß'scher Normalprozess ist, der räumlich und zeitlich unkorreliert ist. Die Aufgabe besteht in der Schätzung der Parameter $r(i, j,n)$, $h(i, j,n)$, $g(i, j,n)$. Dabei ist die Menge der $r(i, j,n)$ die Lösung der Hauptaufgabe der Markierung des Objektbereiches im aktuellen Bild der Bildfolge.

3 Die Lösung der Aufgabe

Wenn die Aufgabe der Segmentierung und der Flächenmessung des Objektbereichs im Bild wie die Aufgabe der Parameterschätzung $r(i, j,n)$, $h(i, j,n)$, $g(i, j,n)$ vorgestellt und die Methode des Maximums der Aposteriori-Wahrscheinlichkeiten verwendet wird, müssen wir das globale Minimum des folgenden Kriteriums suchen

$$J = \sum_{i,j \in L_n} \left(\frac{(l(i, j,n) - s(i, j,n))^2}{D} - 2 Ln \overline{W}(r(i, j,n)) + \frac{(h(i, j,n) - \overline{h}(i, j,n))^2}{D_\eta} + \frac{(g(i, j,n) - \overline{g}(i, j,n))^2}{D_\omega} \right) \tag{5}$$

wobei $s(i, j,n) = r(i, j,n) * h(i, j,n) + (1 - r(i, j,n)) * g(i, j,n)$; $\overline{h}(i, j,n)$, $\overline{g}(i, j,n)$ die Erwartungswerte des Grauwerts von Objektbereich und Hintergrund sind; $\overline{W}(r(i, j,n))$ ist die Erwartungsverteilung der Parameter $r(i, j,n)$.

Die Lösung, die das Resultat der folgerichtigen Optimierung des Kriteriums des Maximums der Aposteriori-Wahrscheinlichkeiten (5) für Vektor-Prozesse ist, besteht aus zwei Teilen.

Im ersten Teil werden die Schätzungen $\hat{r}(i, j,n)$ berechnet. Die Schätzungen $\hat{r}(i, j,n) = 1$ im Bildpunkt (i, j) gehört zum Objektbereich, wenn die folgende Bedingung richtig ist

$$\ln\left(\frac{\hat{P}(i,j,n)}{1-\hat{P}(i,j,n)}\right) > 0 \tag{6}$$

wobei

$$\ln\left(\frac{\hat{P}(i,j,n)}{1-\hat{P}(i,j,n)}\right) = \ln\left(\frac{\overline{P}(i,j,n-1)}{1-\overline{P}(i,j,n-1)}\right) + \frac{(l(i,j,n)-\overline{g}(i,j,n))^2 - (l(i,j,n)-\overline{h}(i,j,n))^2}{2D} \tag{7}$$

und

$$\overline{P}(i,j,n-1) = \sum_{k,m\in\Omega} \hat{P}(i,j,n-1) * P(i,j/k,m) \tag{8}$$

wobei für $\hat{r}(i,j,n-1)=1$ gilt: $\overline{g}(i,j,n)=\overline{h}(i,j,n-1)\pm\delta$, und $\overline{h}(i,j,n)$ ist gleich der Schätzung der Grauwerte des nahestehen Bildpunktes, für $\hat{r}(i,j,n-1)=0$ den $\hat{r}(i,j,n-1)=1$. Der Bereich Ω kann in einfachsten Fall die Größe 3x3 Pixel haben.

Die Bedingung wird nur für Bildpunkte berechnet, für die $\hat{r}(i,j,n-1)=1$ und für eine gewisse Umgebung Q_n dieser Punkte (Abb.2).

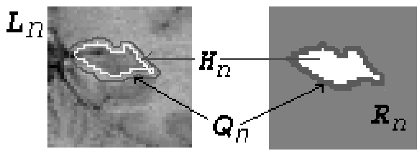

Abb.2. Die Umgebung Q_n des Objektbereich

Die Größe der Umgebung wird aus der möglichen Änderung der Größe des Objektbereiches von Bild zu Bild (Δ) ausgewählt. Ist die Bedingung (6) falsch, dann ist $\hat{r}(i,j,n)=0$ und der Bildpunkt (i,j) als Hintergrundpunkt klassifiziert.

Im zweiten Teil der Lösung werden auf Grund der Schätzung $\hat{r}(i,j,n)$ die Schätzungen $\hat{h}(i,j,n)$ und $\hat{g}(i,j,n)$ mittels Kalman-Filterung berechnet.

$$\begin{aligned}\hat{h}(i,j,n) &= \overline{h}(i,j,n) + k_h(i,j,n) * (l(i,j,n) - \overline{h}(i,j,n)) \\ \hat{g}(i,j,n) &= \overline{g}(i,j,n) + k_g(i,j,n) * (l(i,j,n) - \overline{g}(i,j,n))\end{aligned} \tag{9}$$

wobei $k_h(i,j,n) = \frac{D_\eta}{D + D_\eta}$ und $\overline{h}(i,j,n) = \hat{h}(i,j,n-1)$;

$k_\varpi(i,j,n) = \frac{D_\omega}{D + D_\varpi}$ und $\overline{g}(i,j,n) = \hat{g}(i,j,n-1)$

4 Erzielte Ergebnisse

Die statistische Modellierung des beschriebenen Algorithmus eignet sich gut zur Markierung der Objektbereiche auf Bildern verschiedener CT- und MR-DICOM-Bildfolgen. Die Genauigkeit der automatisierten Markierung ist gleich der Genauigkeit der manuellen Markierung. Die Werte Δ, δ und $W(r(i,j,0))$ hängen von der Modalität des Bildes, vom untersuchten Objekt und von der Anzahl der Bilder pro Zentimeter ab. Die $P(i,j/k,m)$ hängen von der Form des Objektbereiches und Δ ab. Alle Werte der oben genannten Parameter werden auf der Basis der statistischen Modellierung für jedes Untersuchungsobjekt berechnet.

Die Rechenzeit der automatisierten Markierung für Bildfolgen von 30 bis 50 Bildern mit Bildgröße 256x256 Pixel beträgt 30-60 Sekunden, für Bildgrößen von 512x512 Pixel beträgt sie 2-3 Minuten. Der oben beschriebene Algorithmus wurde in der Programmiersprache JAVA realisiert. Zur Modellierung wurde ein Arbeitsplatz-PC (Pentium200) benutzt.

5 Literatur

1. Rosenfeld, A., Kak, A.C. : Digital Picture Processing. Orlando : Academic Press 1982.
2. Saurbier F., Scheppelmann D., Meinzer H.P. (1989) Segmentierung biologischer Objekte aus CT- und MR-Schnittserien ohne Vorwissen. Informatik-Fachberichte 219, Mustererkennnung 1989, 11. DAGM-Symposium Hamburg, Springer Berlin, pp 210-210
3. Chelappa, R., Chatterjee, S. : Classification of textures using Gaussian Markov random fields. IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process. 33 (1985), pp. 959-963.
4. Bouman,C.A., Shapiro, M.: A multiscale random field model for Bayesian image segmentation. IEEE Trans. Image Process. 3 (1994), pp 162-177.
5. Hötter, M., Thoma, R.: Image segmentation based on object-oriented mapping parameter estimation. Signal Processing 15 (1988), pp. 315-334.
6. Grewal, M.S. and Andrews, A.P., 1993. Kalman Filtering, Theory and Practice. Prentice-Hall Inc.