

Genauigkeit und Generalisierbarkeit kantenlistenbasierter Korrelationsverfahren im Vergleich zu grauwertbasierten Verfahren

Ralph Maschotta, Martin Pietraszczyk, Simon Boymann und Dunja Jannek

Institut für Biomedizinische Technik und Informatik
Technische Universität Ilmenau, 98684 Ilmenau
E-mail: ralph.maschotta@tu-ilmenau.de

Zusammenfassung. Wie frühere Untersuchungen auf Grundlage medizinischer Bilder gezeigt haben, liefern kantenlistenbasierte Korrelationsverfahren bei günstigen Bildbedingungen in kürzerer Zeit bessere Ergebnisse als grauwertbasierte Korrelationsverfahren. Ändern sich jedoch die Bildbedingungen bzw. wird das Bild verrauscht, reagieren kantenlistenbasierte Verfahren sehr empfindlich. Trotzdem liefern sie auch unter diesen Bedingungen teilweise bessere Ergebnisse als grauwertbasierte Verfahren. Im folgenden wird mit Hilfe verschiedener analytischer Bilder untersucht, inwieweit sich Veränderungen des zu suchenden Objektes auf das Korrelationsergebnis im Vergleich zu grauwertbasierten Verfahren auswirken. Es zeigt sich, dass die kantenlistenbasierten Verfahren empfindlicher auf Objektänderungen reagieren. Durch eine weitere Untersuchung mit Objekten, die nicht im Bild vorhanden sind, wird gezeigt, dass kantenlistenbasierte Verfahren genauer als grauwertbasierte Verfahren arbeiten. Auf der anderen Seite können grauwertbasierte Verfahren flächenmäßig ähnliche Objekte besser generalisieren. Durch die vorgestellten Untersuchungen können nähere Aussagen über die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen kantenlistenbasierter Verfahren getroffen werden.

1 Einleitung

Kreuzkorrelationsalgorithmen werden zur Lösung verschiedenster Aufgabenstellungen, nicht nur im medizinischen Umfeld, verwendet. Eine in [1] untersuchte Problemstellung realisiert eine Bewegungskompensation von Augenhintergrundbildern mit Hilfe eines Templatematching-Verfahrens. Zur Lösung dieser Aufgabe stehen eine Vielzahl von Lösungsansätzen zur Verfügung. Zu den verbreitetsten Algorithmen zählen jene, bei denen die beste Übereinstimmung eines Templates in einem Bild mit Hilfe verschiedener Abstandsmaße ermittelt wird. Dazu gehören neben der zweidimensionalen Kreuzkorrelation die normierte und die empirische Kreuzkorrelation. Ein weiterer Ansatz besteht darin, die Korrelation nicht auf dem Originalbild, sondern mit Hilfe von Merkmalslisten zu berechnen, die aus dem Originalbild extrahiert werden. Hierzu zählen die kantenlistenbasierten Korrelationsverfahren, bei denen die Korrelation zwischen den Originalbild-Kantenlisten und einer Template-Kantenliste ermittelt wird [1].

Durch die Verringerung der Anzahl der Werte wird eine höhere Geschwindigkeit bei der Berechnung der Korrelation erreicht, was vor allem bei zusätzlichen Rotationen und Skalierungen vorteilhaft ist. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass kantenlistenbasierte Korrelationsverfahren sehr stark von der zugrundeliegenden Kantenerkennung abhängen und somit empfindlich gegenüber Rauschen, Helligkeits- und Kontrastschwankungen sind. Sie liefern jedoch bei guter Qualität der Bilder bzw. einem robusten Kantenalgorithmus in kürzerer Zeit bessere Ergebnisse [2].

Das Ergebnis der Korrelation hängt aber auch von der Wahl des Templates ab, das im Bild meist nicht exakt vorhanden ist, sondern leicht verformt bzw. verfälscht sein kann. Im folgenden soll untersucht werden, wie empfindlich kantenlistenbasierte Verfahren auf Änderungen des Objektes bezüglich der Größe und der Schärfe des Objektes reagieren. Weiterhin soll untersucht werden, wie gut die unterschiedlichen Verfahren verschiedene Objekte voneinander trennen können.

2 Methoden

Als Testbilder werden in einem schwarzen Bild weiß gefüllte Kreise, Kreuze, Dreiecke oder Quadrate, in unterschiedlicher Art und Weise variiert. Dazu wird entweder die Größe verändert oder das Objekt mit einem Mittelwertfilter unterschiedlicher Maskengröße geglättet. Anschließend wird mit Hilfe verschiedener Korrelationsverfahren ein Template mit einer Größe von 31x31 Pixel mit unverändertem Objekt im Bild gesucht. Weiterhin werden auch nicht im Bild vorhandene Objekte gesucht, um die Erkennungssicherheit der Verfahren vergleichen zu können.

Als grauwertbasierte Verfahren werden die Kreuzkorrelation, die normierte Kreuzkorrelation und die empirische Kreuzkorrelation untersucht [3,4]. Für die kantenlistenbasierten Verfahren werden von den Testbildern und den Templates die Kantenlisten erstellt. Dazu wird ein regelbasierter Gradientenalgorithmus verwendet, der durch eine Kombination verschiedener Gradientenfilter unterschiedlicher Länge auch bei langen Kanten wenige Kantenpunkte liefert [5]. Signifikante Kanten werden in Kantenlisten mit der Position und dem vorzeichenbehafteten Gradientenwert der Kante abgespeichert. Die so ermittelten Kantenlisten bilden die Berechnungsgrundlage für die kantenlistenbasierten Korrelationsverfahren (1). Prinzipiell können auch andere robuste Kantendetektoren je nach Anwendungsgebiet eingesetzt werden. Wichtig ist dabei die Robustheit des Algorithmus und eine geringe Anzahl von ermittelten Kantenpunkten, da diese entscheidend für die Geschwindigkeit der Korrelation ist.

$$S_{pos_x, pos_y} = S_{pos_x, pos_y} + XCorr_{i,j} \quad (1)$$

$$XCorr_{i,j} = O_{d_i} T_{d_j} \quad (2)$$

$$XCorr_{i,j} = a - (O_{d_i} - T_{d_j}) \quad (3)$$

$$XCorr_{i,j} = 1 \quad (4)$$

mit $pos_x = O_{x_i} - T_{x_j}, pos_y = O_{y_i} - T_{y_j}, i = 0, 1, \dots, N - 1, j = 0, 1, \dots, M - 1$; O = Bild-Kantenliste; T = Template-Kantenliste; S = Korrelationsbild; a = max. Grauwert (255); x,y = Kantenposition; d = Gradient; N = Kantenlistengröße des Bildes; T = Kantenlistengröße des Template.

Als kantenlistenbasierte Korrelationsverfahren wurden ein der Kreuzkorrelation (2), der normierten Kreuzkorrelation und der empirischen Kreuzkorrelation entsprechendes Verfahren, ein Verfahren mit der Differenz als Abstandsmaß (3) und ein Verfahren, bei dem übereinstimmende Kanten unabhängig von ihrem Gradientenwert gezählt werden (4), verwendet [2]. Die verschiedenen Koeffizienten der Korrelationsverfahren werden mit Hilfe der Anzahl der Templatepunkte normalisiert. Um die Ergebnisse der verschiedenen Verfahren auch quantitativ vergleichen zu können, wird neben den Koeffizienten die Peak-Signal-to-Noise-Ratio (PSNR) berechnet [2]. Die Position des Templates im Testbild ist bekannt. Der Wert des Koeffizienten an dieser Stelle wird als Maximum zur Berechnung der PSNR verwendet. Die sich aus den Koeffizienten und der PSNR ergebenden Verläufe werden zur Bewertung der verschiedenen Verfahren verwendet.

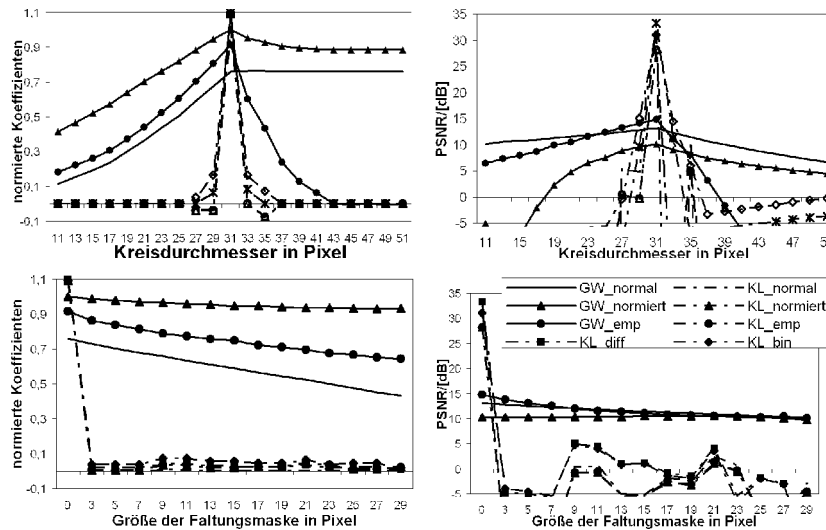
3 Ergebnisse

Beispielhaft werden in Abb. 1 die Ergebnisse der Korrelation eines Kreises mit skalierten (oben) und geglätteten Kreisen (unten) dargestellt. Bei den grauwertbasierten Korrelationsverfahren sind die Koeffizienten bei unverändertem Objekt erwartungsgemäß am höchsten. Dabei liefern die Templates mit großer Fläche auch hohe Koeffizienten. Wird das Objekt verändert, sinken die Koeffizienten meistens. Bei der normalen Kreuzkorrelation bleibt er jedoch konstant, sobald sich das Template vollständig im Objekt befindet.

Die PSNR liefert ebenfalls bei unverändertem Objekt den höchsten Wert. Dabei wird bei der Verwendung von Kreuzbildern der höchste Wert erreicht. Wird das Objekt verändert, sinkt die PSNR ebenso erwartungsgemäß. Bei der normierten und der empirischen Kreuzkorrelation sinkt die PSNR bei Veränderung des Objektes schneller als bei der normalen Kreuzkorrelation. Wird das Bild mit einem Template korreliert, das nicht im Bild enthalten ist, steigen alle Koeffizienten zunächst an. Bei der normalen Kreuzkorrelation steigt der Koeffizient sogar bis auf eins, sobald sich das Template komplett im Objekt befindet. Der Koeffizient der anderen grauwertbasierten Verfahren ist etwa an der Stelle am größten, an der sich das Objekt und das Template am besten überlappen. Wird das Objekt größer, sinken die Koeffizienten. Die maximalen Koeffizienten dieser Verfahren liegen dabei um ca. 30% niedriger als die Maxima bei übereinstimmenden Templates. Das Maximum der PSNR ist bei nicht übereinstimmenden Objekten nur um ca. 10% kleiner. Das Maximum liegt bei allen Verfahren in etwa an der Stelle der besten Überlappung. In Abb. 2 sind die Ergebnisse der Korrelation eines Dreiecks mit skalierten Kreisbildern dargestellt.

Auch die kantenlistenbasierten Verfahren liefern bei unverändertem Objekt die höchsten Koeffizienten. Da durch die Art der Kantenerkennung mehrere Kantenpunkte an einer Position entstehen können, kann dieser Wert nach der Normalisierung größer als eins sein. Die Koeffizienten sinken bei kleinster Verfälschung

Abb. 1. Korrelationsergebnisse eines Kreistemplates mit unterschiedlich veränderten Kreisen. oben: Änderung der Skalierung: (l.) Koeffizienten (r.) PSNR; unten: Glättung der Kreise: (l.) Koeffizienten (r.) PSNR; (KL-Kantenlistenbasiert / GW-Grauwertbasiert)

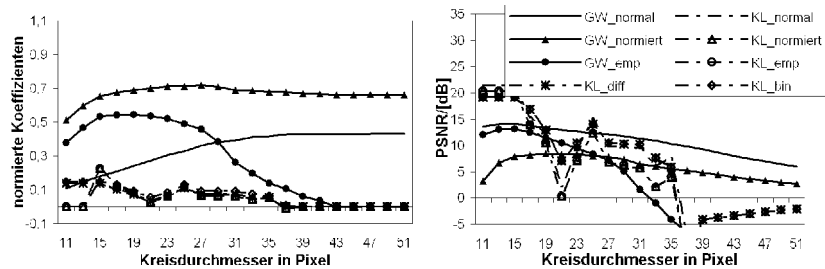


des Objektes sofort sehr stark ab (Tabelle 1). Wie bereits untersucht, ist die PSNR der kantenlistenbasierten Verfahren außer bei den Kreuztemplates bis zu zweimal höher im Vergleich zu den grauwertbasierten Korrelationsverfahren. Auch dieser Wert sinkt bei Verfälschung des Objektes sehr stark ab, wobei das binäre Verfahren nicht so steil abfällt. Ist das Template nicht im Bild vorhanden, sind die Maxima der Koeffizienten um ca. 80% kleiner. Die Maxima liegen dabei an der Stelle, an der die meisten Kanten übereinstimmen, was ungefähr der Stelle entspricht, an der sich die Objekte am besten überlappen. Die PSNR erreicht auch an dieser Stelle das Maximum, das um ca. 40% kleiner ist als bei übereinstimmenden Objekten.

4 Diskussion

Die untersuchten grauwertbasierten Verfahren sind robust gegenüber Änderungen der Größe und Schärfe eines Objektes, wobei die normierte und die empirische Kreuzkorrelation am empfindlichsten reagieren. Sowohl die Koeffizienten als auch die PSNR sinken jedoch nur gering ab, wenn Objekte gesucht werden, die sich nicht im Bild befinden. Das Ergebnis wird maßgeblich von der Fläche eines Objektes beeinflusst. Die grauwertbasierten Verfahren sind somit in der Lage, flächenmäßig ähnliche Objekte zu generalisieren. Ihnen fehlt aber die Genauigkeit, um kleinere Veränderungen der Objekte unterscheiden zu können.

Kantenlistenbasierte Korrelationsverfahren reagieren im Gegensatz dazu sehr empfindlich gegenüber Veränderungen des im Bild zu suchenden Objektes. Dies umfasst nicht nur, wie bereits untersucht, Rauschen und Veränderungen globaler

Abb. 2. Ergebnisse eines Dreiecks mit skalierten Kreisen. (l.) Koeffizienten (r.) PSNR

Bildparameter, sondern auch Änderungen der Größe und der Schärfe des zu suchenden Objektes. Außerdem lassen sich zwei unterschiedliche Objekte sehr gut voneinander trennen. Am empfindlichsten reagiert dabei das kantenlistenbasierte Verfahren mit der Differenz als Abstandsmaß. Ausschlaggebend für das Korrelationsergebnis ist im Gegensatz zu den grauwertbasierten Verfahren die Kontur eines Objektes. Sind die möglichen Transformationen bekannt, ist mit diesen Verfahren eine genauere Ermittlung der Transformationsparameter möglich. Diese hohe Genauigkeit der Verfahren bewirkt jedoch, dass diese nicht so generalisierungsfähig sind wie die grauwertbasierten Verfahren. Durch eine Einbeziehung der Kantenumgebung in die Korrelation, zum Beispiel durch Glättung der Template-Kantenliste, könnte eine Steigerung der Generalisierungsfähigkeit erreicht werden. Aber auch ohne diese Erhöhung der Generalisierbarkeit ist der Einsatz dieser Verfahren auch für medizinische Bilder zur Lösung verschiedenster Problemstellungen möglich. Die in [1] vorgestellte Lösung zeigt, dass auch bei verrauschten Bildern mit Templates, die nicht exakt in jedem Bild vorhanden sind, eine Anwendung der kantenlistenbasierten Verfahren möglich ist. Bei Aufgaben, bei denen eine hohe Genauigkeit erforderlich ist und das Aussehen des zu suchenden Objektes sowie die Transformationsmöglichkeiten bekannt sind, können diese Verfahren eingesetzt werden.

Da die Ergebnisse der kantenlistenbasierten Verfahren stark von den Fähigkeiten der zugrundeliegenden Kantenerkennung abhängig sind, sind weitere Untersuchungen der Kantenerkennungsalgorithmen notwendig. Es besteht jedoch keine Abhängigkeit gegenüber einem bestimmten Algorithmus. Wichtig ist seine Robustheit und eine geringe Anzahl an Kantenpunkten. Alternativ können auch die Auswirkungen verschiedener Vorverarbeitungen untersucht werden.

Literaturverzeichnis

1. Maschotta R, et al.: Shift reducing of retinal vessel image series by using edge based template matching algorithm, Procs. EMBEC 02, Part I, 848–849, 2002.
2. Maschotta R, et al.: Vergleich kantenlistenbasierter Bildmatchingverfahren zur Bewegungskompensation von Fundusbildern, Procs. BMT 03, 132–133, 2003.
3. Bosch K: Statistik-Taschenbuch, 3. verb. Aufl., Oldenburg Verlag, 1998.
4. Jähne B: Digitale Bildverarbeitung, 5. üb. u. erw. Aufl., Springer, 2002.
5. Maschotta P: Ein universelles Hard- und Softwarekonzept für grauwertverarbeitende Bilderkennungssysteme zur automatischen visuellen Inspektion in der Elektroniktechnologie. Technische Hochschule Ilmenau, Diss. B, 1988.