

Evaluation der rechnergestützten Bildverbesserung in der Videoendoskopie von Körperhöhlen*

S. Krüger¹, F. Vogt², W. Hohenberger¹
D. Paulus^{2*}, H. Niemann² und C.H. Schick¹

¹Chirurgische Klinik mit Poliklinik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 91054 Erlangen
Email: {krueger, hohenberger, schick}@chirurgie-erlangen.de

²Lehrstuhl für Mustererkennung
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 91058 Erlangen
Email: {vogt, paulus, niemann}@informatik.uni-erlangen.de

^{2*}neue Anschrift: Inst. für Computervisualistik, Uni Koblenz-Landau, 56070 Koblenz

Zusammenfassung. Bei minimal-invasiven chirurgischen Eingriffen betrachtet der Operateur derzeit auf seinem Video-Monitor direkt die aufgenommenen, unveränderten Endoskopiebilder aus dem Operationsfeld. Die im Operationsverlauf typischerweise auftretende Verschlechterung der anfänglich guten Bildqualität konnte bislang meist nur inadäquat und zeitraubend behoben werden. Durch rechnergestützte Bildverbesserung im Sinne von Farbnormierung, zeitlicher Filterung und Bildentzerrung kann eine Steigerung der Bildqualität erreicht werden. Die vorliegende Arbeit beschreibt, mit welchen Methoden der Einsatz dieser Verbesserungen in der klinischen Praxis evaluiert wird.

1 Einleitung

Der Wandel der chirurgischen Technik in den operativen Disziplinen verläuft weg von den großen, traumatisierenden Eingriffen hin zu minimal-invasiven Verfahren, welche bereits vielfach den Standard darstellen. Nach der Entwicklung entsprechenden Instrumentariums gilt das Hauptaugenmerk aktuell dem videoendoskopischen Übertragungssystem sowie der Rechnerunterstützung, welche die Grundlagen für eine computergestützte Chirurgie bilden.

Während einer so genannten „endoskopischen“ Operation werden die Kamerabilder derzeit ohne Zwischenbearbeitung direkt auf einen Videomonitor übertragen. Beeinträchtigungen der anfänglich guten Bildqualität müssen in Kauf genommen werden. Zum einen verzerren die verwendeten Weitwinkeloptiken die aufgenommenen Bilder. Zum anderen wird das zu OP-Beginn gut eingestellte Bild im Operationsverlauf typischerweise durch den Einsatz von Elektrokoagulation oder Ultraschallmessern verschlechtert, da hierbei Schwebepartikel und Rauch entstehen. Desweiteren erschweren auftretende Blutungen durch rötliche Verfärbung die Unterscheidbarkeit von Geweben. Die genannten Störungen machen wiederholte Gasaustausche und Spülungen des OP-Gebietes nötig, welche zeitaufwändig und im Ergebnis oft unzureichend sind.

* Diese Arbeit wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 603 (Teilprojekt B6). Für den Inhalt sind ausschließlich die Autoren verantwortlich.

In [1] werden die verschiedenen Bildverbesserungsmethoden vorgestellt, welche in Echtzeit möglich sind und in der Endoskopie zum Einsatz kommen sollen. Insbesondere Optiken mit kleinem Durchmesser (5mm) verändern durch die entstehende starke Verzerrung die räumliche Zuordnung. Zur Korrektur der Bildverzerrung werden die intrinsischen Kameraparameter durch Kamerakalibrierung berechnet und über einen festen Algorithmus die Videoendoskopiebilder entzerrt [2]. Mittels zeitlicher Filterung (Medianfilter) können störende Schwebepartikel und Rauch aus den Videoendoskopiebildern reduziert werden [1]. Farbfehler, die insbesondere nach Blutungen mit rötlicher Durchtränkung aller Gewebe auftreten, werden mittels sog. Farbrotation [3] korrigiert und somit wieder eine Farbdiskrimination der Gewebe ermöglicht [1]. Glanzlichter können detektiert und nachfolgend substituiert werden [4].

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein Evaluierungsverfahren zur Auswertung der angewendeten Methoden der Bildverbesserung und erläutert, welcher Nutzen dem Operateur daraus entsteht.

2Methoden

Für die Evaluation der rechnergestützt verbesserten videoendoskopischen Bilder wird ein spezielles, eigens implementiertes Auswertungsprogramm unter Linux verwendet. Den Ärzten werden dabei jeweils mehrere Bildsequenzen (Original und verarbeitete Sequenz) und ausgewählte Einzelbilderpaare (je ein endoskopisches Originalbild und ein verbessertes Bild) zu den drei bearbeiteten Teilbereichen zeitliche Filterung (T3 und T5: aktuelles Bild wird aus 3 bzw. 5 Bildern erzeugt), Entzerrung (Abb.1) und Farbnormierung (Abb.2) vorgelegt. Es wird hierfür bei allen Testpersonen stets auf eine normierte Einstellung des Monitors geachtet. Die Originale und die verarbeiteten Einzelbilder werden doppelblind (weder Untersucher noch Auswerter kennen die Reihen- und Zuordnung der Bilder) in zufälliger Anordnung von 12 Ärzten unterschiedlicher Fachkenntnis und unterschiedlicher Endoskopie-Erfahrung beurteilt.

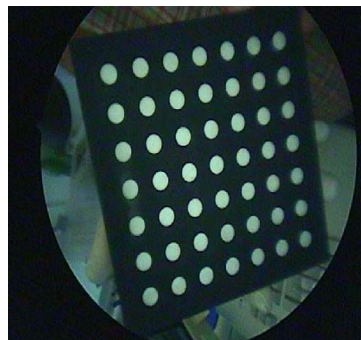
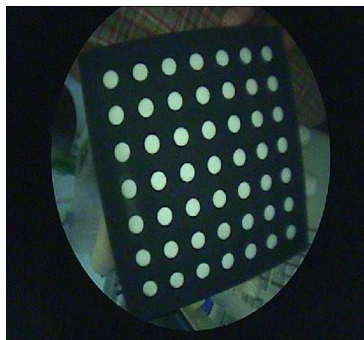
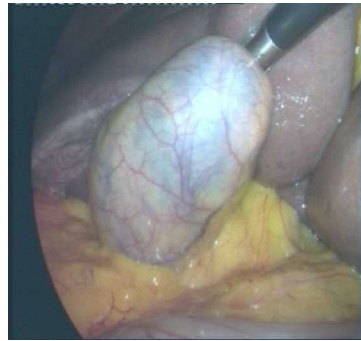


Abb. 1. Bilderpaar Verzerrung: Endoskopisches Originalbild (links) und verarbeitetes, entzerrtes Bild (rechts).

Abb. 2. Bilderpaar Farbnormierung: Endoskopisches Originalbild (links) und verarbeitetes, farbnormiertes Bild (rechts).



Die Bewertungskriterien beinhalten neben der einfachen „besser oder schlechter“ Gesamtentscheidung die Auswahlkriterien Bildschärfe, Verzerrung und Farbeindruck mit Wertebereichen von -2 (Original besser) über 0 (beide Bilder gleich) bis $+2$ (verarbeitetes Bild besser).

Aus den gewonnenen Ergebnissen wird der Mittelwert und die Standardabweichung errechnet und aufgeschlüsselt, wie häufig die verbesserten Bilder als wirklich besser bewertet werden ($MW > 0$), wie oft kein Unterschied vorliegt ($MW \sim 0$) und wie häufig das ursprüngliche, unverarbeitete Bild als besser beurteilt wird ($MW < 0$).

3Evaluation und Ergebnisse

Bei der Auswertung der jeweils 120 Einzelbilderpaare und 5 Bildsequenzpaare fanden sich folgende Ergebnisse (Tab.1):

Die hinsichtlich der Verzerrung bearbeiteten Einzelbilder wurden von den Ärzten auf 218 von insgesamt 360 Bildern als signifikant besser und auf 103 Bildern als nicht unterschiedlich eingestuft. Die Bildschärfe und der Farbeindruck wurden bei diesen Bildern als unverändert bewertet ($MW -0.064$ bzw. -0.008). Bei den farblich nachbearbeiteten Einzelbildern zeigte sich ein auffälliges Resultat: auf 253 Bildern fanden die Auswerter bearbeitetes Bild und Original gleich gut, bezüglich des Farbeindruckes aber 151mal das farbnormierte Bild besser. Interessanterweise wurden die farbnormierten Bilder auch gleichzeitig als signifikant schärfer bezüglich Bild- und Tiefenschärfe beurteilt, obwohl dieses Kriterium in den Bildern nicht verändert worden war. Bei der zeitlichen Filterung T5 (d.h. Filtergröße 5) wurde im Kriterium „besser“ und „Bildschärfe“ das Originalbild als etwas besser eingestuft ($MW -0.20$ und $-0,26$), bei T3 (d.h. Filtergröße 3) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Einzelbildern. Dies führte zu der Überlegung, die Auswertung nicht nur anhand von

Einzelbildern, sondern auch von Filmsequenzen durchzuführen, weil vermutet wurde, daß hier die Reduktion von schwebenden Teilchen oder Rauch besser nachvollzogen werden kann.

Demgemäß wurden bei den verschiedenen Filmsequenzen die zeitlich gefilterten Sequenzen mit Verringerung oder Entfernung von Rauch und Schwebeteilchen von allen Testpersonen als deutlich besser empfunden. Im Rahmen der zeitlichen Filterung wurde durch 7 von den 12 Ärzten den T5 gefilterten Sequenzen der Vorzug vor den T3 gefilterten Sequenzen gegeben. Für die farblich verarbeiteten Bildsequenzen galt im Gegensatz zu den Einzelbildern, daß die farbnormierten Filme von der Mehrzahl der Ärzte (jeweils 7 von 12) als verbessert im Vergleich zu den unverarbeiteten Originalsequenzen beurteilt wurden.

Tabelle 1. Auswertung der Einzelbildevaluation nach den 3 Teilbereichen: FN = farbnormiert, EZ = entzerrt, T3/ T5 = zeitlich gefiltert (zeitliche Filtergröße 3 bzw. 5)

	Kriterium	Mittelwert	Standardabweichung	Original besser	Verarbeitetes Bild besser	Bilder gleich	Bilder gesamt
FN	Besser	0.08	0.54	39	68	253	360
	Bildschärfe	0.38	0.86	83	211	66	360
	Verzerrung	0.04	0.35	10	23	327	360
	Farbeindruck	0.16	0.94	107	151	102	360
EZ	Besser	0.50	0.68	39	218	103	360
	Bildschärfe	-0.06	0.47	48	25	287	360
	Verzerrung	0.58	0.84	43	214	103	360
	Farbeindruck	-0.01	0.22	8	6	346	360
T3	Besser	-0.08	0.66	94	64	202	360
	Bildschärfe	-0.09	0.70	82	53	225	360
	Verzerrung	-0.04	0.41	36	21	303	360
	Farbeindruck	-0.03	0.28	19	10	331	360
T5	Besser	-0.20	0.73	140	67	153	360
	Bildschärfe	-0.26	0.80	131	55	174	360
	Verzerrung	-0.06	0.44	45	24	291	360
	Farbeindruck	-0.04	0.29	20	7	333	360

4Diskussion und Ausblick

Bislang existieren kaum Möglichkeiten, ein Endoskopiebild zu Beginn eines minimal-invasiven Eingriffes (z.B. einer Gallenblasen-Entfernung) bestmöglich einzustellen und diese gute Anfangseinstellung während des gesamten Operationsverlaufes zu erhalten. Vor jeder Operation wird mit dem Endoskop der Weißabgleich durchgeführt. Bei neueren Geräten ermöglicht während der Operation der Bildprozessor eine digital berechnete Schärfenanhebung, genauer die Kantenschärfung durch Kon-

trastanhebung. Bezüglich der Farben kann lediglich die Intensität der Grundfarben Rot, Grün und Blau mit einem Regler am Monitor in engen Grenzen reguliert werden. Bisher kann kein Einfluß auf die wichtigen Bereiche der Verzerrung, der Störeinflüsse durch Rauch oder Schwebeteilchen und den sich veränderten Farbeindruck der Endoskopiebilder genommen werden.

Durch den Einsatz der in der Einleitung genannten Bildverbesserungsmethoden für den Bereich der Videoendoskopie von Körperhöhlen ist die Erzeugung von rechnergestützt modifizierten Bildern möglich. Obwohl diese Verfahren eine Verbesserung der Bildqualität zum Ziel haben, ist es unbedingt notwendig, zu evaluieren, inwieweit die erzielten Veränderungen für die Videoendoskopie minimal-invasiver Eingriffe auch wirklich brauchbar sind. Die Evaluierung soll klären, welche Bildveränderungen überhaupt wahrgenommen werden und welche davon in der klinischen Praxis für den Operateur eine subjektive Verbesserung darstellen.

Die Entzerrung der Bilder und die zeitliche Filterung zur Entfernung von Rauch und Schwebeteilchen bieten aufgrund der Evaluation eine gute Möglichkeit, die Bildqualität zu verbessern. Bezüglich der farblichen Normierung ergibt sich ein eher uneinheitliches Bild: bei den Einzelbildern wird zwar eine Verbesserung der Bildschärfe und geringfügig auch des Farbeindrucks gesehen, insgesamt aber farbnormierte und ursprüngliche Bilder als weitgehend gleich bewertet. Bei den Kurzfilmen hingegen wurden die farbnormierten Sequenzen von der Mehrheit der Ärzte als besser eingestuft. Dies wurde mit einer verbesserten Unterscheidbarkeit des Bildhintergrundes und einer ermöglichten Sicht beispielsweise auf im Bereich einer Blutung liegende Strukturen im bewegten Bild begründet.

Der Einfluß des unterschiedlichen Ausmaßes an Weiterbildung/ Endoskopieerfahrung und der Auswahl der Evaluationskriterien auf die Ergebnisse wird gegenwärtig untersucht. Inwieweit die Evaluierung von der Tagesverfassung der einzelnen Testperson abhängig ist, ob Wiederholungsläufe bei einzelnen Probanden immer die selben Ergebnisse bieten würden und ob es interindividuelle Unterschiede gibt, ist derzeit ebenso Gegenstand weiterer Untersuchungen. Die vorliegende Evaluierung unterstreicht die Wichtigkeit des Einsatzes von Bildverarbeitungsverfahren in der klinischen Praxis und verdeutlicht die Notwendigkeit der Evaluation der Verfahren.

5Literatur

1. Vogt F, Klimowicz C, Paulus D: Bildverarbeitung in der Endoskopie des Bauchraums. In H. Handels: 5. Workshop Bildverarbeitung für die Medizin, pages 320-324, Springer Berlin, Heidelberg, New York. Lübeck, 2001.
2. Tsai R Y: A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV-cameras and lenses. IEEE Journal of Robotics and Automation, Ra-3(3): 323-344, August 1987
3. Paulus D, Csink L, Niemann H: Color cluster rotation. In: Proceedings of the international Conference on Image Processing (ICIP), Chicago, October 1998. IEEE Computer Society Press. Chicago, October 1998.
4. Palm C, Lehmann T, Spitzer K: Bestimmung der Lichtquellenfarbe bei der Endoskopie makrotexturierter Oberflächen des Kehlkopfes. In: K.-H. Franke, editor, 5.Workshop Farb-

bildverarbeitung, pages 3-10, Ilmenau, 1999. Schriftenreihe des Zentrums für Bild- und Signalverarbeitung e.V. Ilmenau