

Evaluierung von Ansätzen der Bewegungs- detektion und -verfolgung sedierter Patienten

Thomas Wittenberg¹, Bernhard Fröba¹, Sven Friedl¹, Heinz Gerhäuser¹,
Frank Bremer², Jürgen Schüttler² und Helmut Schwilden²

¹Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen

²Klinik für Anästhesiologie, Universität Erlangen-Nürnberg

Email: wbg@iis.fraunhofer.de

Zusammenfassung. Die vorgestellte Arbeit beschreibt einen bildbasierten Ansatz zur Erkennung, Lokalisation und Verfolgung von Bewegungen von Hände und Kopfes eines sedierten Patienten im Bett einer Intensivstation. Im Rahmen einer Erststudie mit 16 Bildsequenzen wird gezeigt, dass es mit einem zweistufigen Ansatz möglich ist, zum einen Aktivitäten des Kopfes und der Hände zu erkennen und zu lokalisieren; und zum anderen diese Bewegungen in Form von 2-D-Trajektorien zu beschreiben. Während für die Bewegungserkennung ein modifiziertes Differenzbildverfahren zum Einsatz kommt, wird das Verfolgen von Händen und Kopf mittels einer Kombination aus Blockvergleich und Gesichtsmodell erreicht. Fernziel des beschriebenen Ansatzes ist die Korrelation der erfassten Bewegungen mit anderen Vitalparametern (Atmung, EKG, EGG, SpO_2 etc.) zur Bestimmung der Sedationstiefe und -qualität in der Anästhesie.

1 Problemstellung

Die Sedierung von Patienten auf der Intensivstation hat zum Ziel, Angst, Aufregung und Schmerz des Patienten weitgehend zu unterdrücken und die Voraussetzungen für notwendige therapeutische Maßnahmen, wie z.B. maschinelle Beatmung oder Wundversorgung, herzustellen. Um diesen Zustand zu erreichen, verabreicht man Pharmaka. Die Beschreibung des erzielten Sedierungszustands erfolgt derzeit i.d.R. mit einfachen Skalen wie der Ramsay Skala oder der Observer's Assessment of Alertness/Sedation Scale (OAA/S) [1]. Diese Schätzverfahren sind so angelegt, dass mit ihnen punktuell grob abgeschätzt werden kann, ob ein Patient hinreichend für eine anschließende therapeutische Intervention sediert ist. Sie sind jedoch weniger geeignet, kontinuierlich den Sedierungsgrad zu erfassen, weil sie Stimuli einsetzen, die im Sinne eines Weckreizes zu einer Veränderung, im allgemeinen Verflachung, des Sedierungsgrads führen. Welche Sedierungsgrade über welche Zeiträume dem Wohl des Patienten dienen, ist letztlich unbekannt.

In jüngerer Zeit gibt es deutliche Hinweise auf eine Therapieverbesserung durch Variation des Sedierungsgrads. So konnten Kress et al. [2] und Brook et al. [3] nachweisen, dass durch regelmäßige geplante Unterbrechung der kontinuierlichen Sedierung die Patienten einen kürzeren Aufenthalt auf der Intensivstation

und eine geringere Komplikationsrate hatten. Ziel eines geplanten Forschungsprojekts ist es, Techniken und Methoden zu untersuchen und zu entwickeln, mit denen der Sedierungsgrad des Patienten kontinuierlich erfasst und dokumentiert werden kann, ohne die Notwendigkeit, die Patienten zu stören. In diesem Beitrag werden Voruntersuchungen vorgestellt, die sich mit der Observation von sedierten Patienten mittels Videokameras beschäftigen. Die zu untersuchende Fragestellung beschäftigt sich damit, ob sich typische Bewegungen solcher Patienten mit Verfahren der Bewegungsdetektion und -analyse erfassen, lokalisieren und verfolgen lassen.

2 Stand der Forschung

Der aktuelle Forschungsstand in den beiden eng miteinander verknüpften Bereichen der *Bewegungsdetektion* und *Bewegungsanalyse* lässt sich auf zwei Ebenen unterscheiden, und zwar auf der Ebene der Methodik sowie der Ebene der Abstraktion. Auf der methodischen Seite lassen sich die Lösungsansätze unterteilen in gradientenbasierte Verfahren [4] Block-, Template- und Merkmalsverfolgung [5] sowie in kantenorientierte [6] und flächenorientierte [7] Verfahren.

Orthogonal zu dieser Menge der verwendbaren Verfahren stehen die möglichen Abstraktionsebenen. Auf der untersten Stelle sind die rein datengetriebenen Ansätze zu sehen, bei denen die zu untersuchende Bewegung ohne weiteres Vorwissen detektiert und analysiert wird. Am anderen Extrempunkt stehen dagegen die sogenannten modellgetriebenen oder wissensbasierten Verfahren, bei denen mittels einer Wissensbasis die zugehörige Bewegung im Bildmaterial gesucht wird. Während noch vor einigen Jahren überwiegend die datengetriebenen Ansätze verwendet wurden, geht der derzeitige Trend dahin, mehr und mehr Bewegungs- und Formmodelle insbesondere für die Analyse menschlicher Bewegungen einzusetzen, um einerseits bekanntes - menschliches - Vorwissen zu verwenden, und andererseits die verwendeten Bewegungs-Modelle in größere Rahmenszenarien, wie z.B. Steuer- und Regelstrecken zu integrieren.

3 Wesentlicher Fortschritt durch den Beitrag

Dieser Beitrag beschreibt im Rahmen einer ersten Studie Methoden und Möglichkeiten, um die Bewegungen von sedierten Patienten zunächst automatisch zu detektieren und bei Bedarf die Bewegungen bestimmter Körperteile (Kopf, Hände) gezielt zu verfolgen. Derartige Methoden der Bewegungsdetektion und Bewegungsanalyse bilden somit die Basis, im Rahmen einer größeren Studie, eine Korrelation zwischen Bewegungsform und -häufigkeit sowie Sedierungsart bzw. -tiefe herzustellen.

Methodisch werden dabei die beiden genannten Paradigmen der Bewegungsanalyse miteinander kombiniert, d.h. datengetriebene Blockmatching Verfahren werden mit modellbasierten Verfahren zur Gesichtsdetektion fusioniert, um die jeweiligen Schwachpunkte auszugleichen. Im Gegensatz zu den sonst üblichen Verfahren zur Sedierungsmessung, die alle auf leitungsgebundenen Messgeräten beruhen, bietet der Einsatz von digitalen Kameras den Vorteil, dass die lokomotorischen Freiheitsgrade des beobachteten Patienten nicht eingeschränkt werden

und die Bewegungen des Patienten berührungslos erfasst und Bewegungsereignisse dokumentiert werden.

4 Methoden

Der verwendete Ansatz beruht aktuell auf einem 2-stufigen Prozess: In einem ersten Schritt werden sog. auffällige 'Ereignisse' innerhalb einer Bildsequenz detektiert. Aufgrund dieser Ereignisse können in einem zweiten Schritt für unterschiedliche Körperteile (Kopf, Hände) dedizierte Trackingverfahren zur Bewegungsanalyse eingesetzt und die Bewegung in Form von 2-D-Trajektorien ermittelt werden.

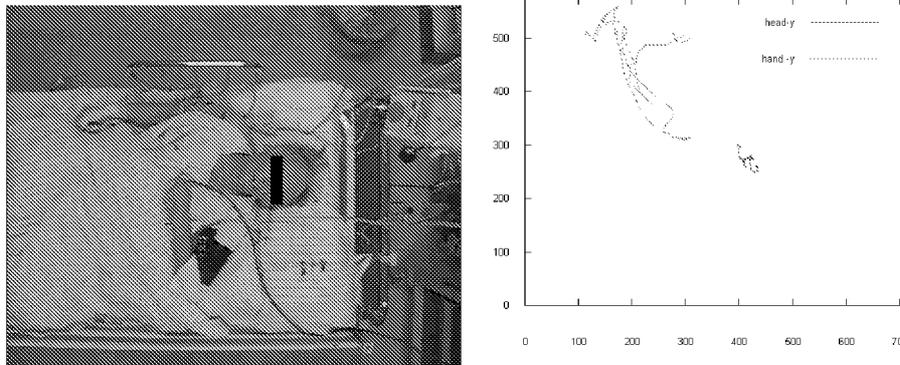
4.1 Bewegungsdetektion

Die verwendete *Bewegungsdetektion* beruht auf einer Arbeit von Bobick et al. [7], die ein einfaches, jedoch sehr robustes Verfahren beschreibt, mit dem Bewegung in Bildsequenzen erkannt und lokalisiert werden kann. Hierbei wird Bewegung als Grauwertänderung zwischen zwei Bildern definiert. Die Bewegungen zwischen Einzelbildern werden durch Differenzierung von zwei oder mehr aufeinanderfolgenden Einzelbildern ermittelt. Werden kleine Schwankungen vernachlässigt, die durch Beleuchtung, Lichtreflexe oder Rauschen entstehen, ist an den Stellen, wo sich Änderungen des Grauwertes in signifikanter Größe ergeben i.d.R. auch Bewegung in der Szene vorhanden. Durch Binarisierung mit einem adäquaten Schwellwert lässt sich ein binäres, sogenanntes *Bewegungsenergiebild* $B(t, x, y)$ [7] für jeden Zeitpunkt t einer Bildsequenz ermitteln. Durch Aneinanderreihung mehrerer Bewegungsenergiebilder entsteht eine Bewegungsenergiesequenz. Diese Bewegungsenergiesequenz lässt sich auf zweierlei Weise nutzen: Durch Berechnung der Bewegungsenergie $E(t)$ als eine Funktion der Zeit durch Summation aller aktiven Bildpunkte eines Bewegungsenergiebildes $B(t, x, y)$ sowie Ausnutzung geschickter Schwellwertbildung können zum einen aus dem resultierenden Bewegungsenergievektor sog. 'Ereignisse' an bestimmten Zeitpunkten t_i detektiert werden. Zum anderen lassen sich in dem zugehörigen Energiebild $B(t_i, x, y)$ durch eine wissensbasierte Aufteilung des Bildbereichs Bewegungen in Kopf-, Brust-, und Handzonen ermitteln, und mittels deren Koordinaten eine Initialisierung eines dedizierten Tracking-Verfahrens anstoßen.

4.2 Kinematik des Kopfes und der Hand

Ziel des zweiten Schritts im Rahmen des hier beschriebenen Systems ist die Gewinnung von 2-D-Bewegungstrajektorien $\mathbf{T}(x, y, t)$ des Kopfes und der Hände in der Bildebene mit dem Ziel, diese Bewegungen einer nachfolgenden Auswertung über mögliche Bewegungsmuster und damit über den Patientenzustand zur Verfügung zu stellen. Im Gegensatz zu klassischen Trackingverfahren, deren Hauptprobleme die automatische Initialisierung sowie die selbstständige Erkennung des Objektverlusts sind [11], kommt in der vorliegenden Arbeit ein Verfahren zum Einsatz, in dem modellbasierte Objekterkennung mit einem klassischen Blocktracking kombiniert wird.

Abb. 1. Beispiel einer typischen Aufnahme auf der Intensivstation (links), berechnete Kinematik (in Pixelkoordinaten) von Kopf und Hand (rechts)



Aufgrund einer modellbasierten automatischen Gesichtsdetektion in frontaler Ansicht wird ein Blocktrackingverfahren im Kantenorientierungsraum initialisiert [8]. Solange das Gesicht in frontaler Ausrichtung zur Kamera verbleibt und somit mit dem Gesichtsmodell detektiert werden kann, laufen beide Methoden (Modellfindung und Blocktracking) parallel zueinander. Führt eine Drehbewegung des Patienten das Gesicht aus der Frontalansicht aus der Bildebene, wird ausschließlich der Ansatz des Blocktrackings zur Bestimmung der Bewegungstrajektorie verwendet. Bei erneuter automatischer Detektion des Gesichts wird das Ergebnis des Blocktrackers mit dem Gesichtsfinder abgeglichen und gegebenenfalls eine Neuinitialisierung des Blocktrackers mit dem aktuellen Detektionsergebnis durchgeführt. Da beide Verfahren in Echtzeit laufen, kann das Blocktracking, das auch unabhängig von der Ausrichtung des Gesichts funktioniert, immer dann auf ein plausibles Ergebnis geprüft werden, wenn sich der Patient in Rückenlage befindet und sein Gesicht normal zur Kameraachse ausgerichtet ist.

Die Trajektorien der Hände werden derzeit ausschließlich durch Blockverfolgung ermittelt, da hier noch kein modellbasiertes Trackingverfahren zur Verfügung steht. Im Gegensatz zur Verfolgung des Gesichts, bei dem nach der Bewegungsdetektion und -lokalisierung mittels eines Gesichtsmodells eine Plausibilitätskontrolle erfolgt [9], wird die Bewegungsverfolgung für die Hände lediglich über die Bewegungsdetektion initialisiert.

5 Material und Ergebnisse

Zur Verifikation des Verfahrens wurden 16 Bildsequenzen von sedierten Patienten untersucht, die in der Erlanger Universitätsklinik für Anästhesiologie in einem Zeitraum von ca. 8 Wochen aufgenommen wurden. Die Videokamera mit einer Auflösung 720×576 Bildpunkten (TrueColor) wurde dabei über dem Bett installiert, und erfasst neben dem Patienten im Randbereich dessen direktes Umfeld, s. Abb. 4.2 links.

Zunächst wurden auf allen Bildsequenzen die Bewegungsdifferenzen sowie die zugehörigen Bewegungsenergien (s.o.) mit unterschiedlicher Parametrisierung berechnet (Anzahl der Bilder zur Differenzbildung, Schwellwert, Bildausschnitt). Durch eine geschickte Wahl der Schwellwerte wurden 'Ereignisse' detektiert. Aufgrund der Bildaufteilung konnten den detektierten Ereignissen spezifische Körperteile zugeordnet werden. Für das Gesicht und die Hände wurden anschließend die beschriebenen Trackingverfahren verwendet, um die korrespondierenden Trajektorien zu ermitteln. Da zum aktuellen Zeitpunkt noch kein 'Goldstandard' als Referenz vorlag (= Handmarkierung der realen Bewegungen für Kopf und Hände) musste die Evaluierung rein subjektiv durchgeführt werden. Während die Bewegungs*detektion* noch anfällig gegenüber Lichtschwankungen (z.B. 50 Hz Flackern der Deckenbeleuchtung) oder Fremdbewegungen ist (z.B. Pflegepersonal am Bett), verhält sich die Bewegungs*analyse* relativ stabil. Bis auf Schwankungen im 1-2-Pixel-Bereich entsprachen die ermittelten Trajektorien überwiegend den Erwartungen, vgl. Abb. 4.2 rechts.

6 Diskussion

Die erzielten Ergebnisse lassen hoffen, dass sich der vorgestellte 2-stufige Ansatz zur Bewegungsdetektion, -lokalisation und -analyse im Rahmen einer größeren Studie bewährt. Insbesondere müssen in einem nächsten Schritt die Bewegungstrajektorien von Händen und Gesicht durch geeignete Parameter beschrieben und daraufhin eine Korrelation mit der Sedierung hergestellt werden.

Eine kostenfreie Demoversion des beschriebenen Gesichtsdetektors ist unter [10] im Internet zu finden.

Literaturverzeichnis

1. Chernik DA, Gillings D, et al.: Validity and reliability of the observer's assessment of alertness/sedation scale: study with intravenous midazolam. *J Clin Psychopharmacol* 10:244–51, 1991.
2. Kress JP, Pohlman AS, et al.: Daily Interruption of Sedative Infusions in critically ill patients undergoing mechanical ventilation. *N Engl J Med* 342:1471–1477, 2000.
3. Brook AD, Ahrens TS, et al.: Effect of a nursing-implemented sedation protocol on the duration of mechanical ventilation. *Crit Care Med* 27:2609–2615, 1999.
4. Barron JL, Fleet DJ, Beauchemin SS: Performance of Optical Flow Techniques. *Int. J. Comp. Vision* 12(1):43–77, 1994.
5. Aschwanden PF: Experimenteller Vergleich von Korrelationskriterien in der Bildanalyse. Hartung Gorre Verlag Konstanz, 1993.
6. Denzler J: Aktives Sehen zur Echtzeitobjektverfolgung. Infix Verlag, 1997
7. Bobick AF, Davis JW: The recognition of human movement using temporal templates. *IEEE PAMI* 23(3):257–267, 2001
8. Fröba B, Küblbeck C: Rapid hand gesture detection for human computer interface. *5th IASTED Int. Conf. Comp. Graphics and Imaging*, pp 50–55, Kauai, 2002.
9. Fröba B. Verfahren zur Echtzeit-Gesichtsdetektion in Grauwertbildern. PhD-Thesis, *Universität Erlangen-Nürnberg*, Skaker-Verlag, Aachen, 2003.
10. Demo version of the real-time face detection program. <http://www.iis.fraunhofer.de/bv/biometrie/download/>, Fraunhofer IIS, Erlangen.
11. Javed O, Shah M. Tracking and object classification for automated surveillance. *The 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen/DK*, 2002.