Automatische Verfolgung von Augenlidbewegungen und Korrelation mit EMG-Daten

Thomas Wittenberg*[♣], Robert Frischholz[♦], Stephan Wolf[♥], Monika Tigges[♣], Bernhard Suchy[♥] und Simone Schneider[♥]

* Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen - Angewandte Elektronik (IIS-A), Projektgruppe IBVMT, Am Weichselgarten 3, 91058 Erlangen
[♦]Dialog Communication Systems AG, Erlangen, Wetterkreuz 19a, 91058 Erlangen
[♣]Abteilung für Phoniatrie und Pädaudiologie, Klinikum der Universität Erlangen, Bohlenplatz 21, 91054 Erlangen
[♥]Hals-Nasen-Ohren-Klinik, Klinikum der Universität Erlangen, Waldstr. 1, 91054 Erlangen
Email: wbg@iis.fhg.de

Zusammenfassung. Es wird eine Methode vorgestellt, mit der es möglich ist, ohne spezielle Marker oder Markierungen die Bewegungen von Augenlidern zu detektieren. Dieses Verfahren basiert auf der Methode des Template-Matchings mittels Korrelation, die um eine dynamisches Template-Adaption sowie um Subpixel-Genauigkeit erweitert wurde. Das Verfahren wird anhand von Beispielen an Probanden und Patienten demonstriert. Die Aufnahmen wurden mit einer digitalen Hochgeschwindigkeitskamera gemacht, die Bewegungen der Augenlider wurden mittels unterschiedlicher Stimulationen hervorgerufen.

Schlüsselwörter: Bewegungsanalyse, Template Matching, Bewegung des Augenlides, Hochgeschwindigkeitskamera

1 Einleitung

Die Funktion der Augenlider ist für den Schutz des Auges unabdingbar. Der gestörte Lidschluß führt zu einer Austrocknung der Hornhaut und damit zu einer Beschädigung des Epithels. Bei einer fortbestehenden Funktionseinschränkung kann diese Beschädigung zu einer Hornhautulzeration, bis hin zu einer Perforation mit der Gefahr eines kompletten Verlusts des Auges führen.

Der spontane Lidschlag wird durch einen Taktgeber im Hirnstamm ausgelöst. Da die Hornhaut aber auch durch äußere Einflüsse akut gefährdet sein kann, besitzt der Mensch einen umfangreichen und sehr reaktionsschnellen Reflexmechanismus, der verhindert, daß Fremdkörper die Augenoberfläche zerstören.

1.1 Material und Methode

Um die schnellen Augenlidreflexe, die zugehörigen muskulären Aktivitäten sowie deren Korrelation quantitativ zu erfassen, wurde eine digitale Hochgeschwindigkeitskamera [1] verwendet. Die zeitliche Auflösung dieser Kamera beträgt 500 Bilder pro

Sekunde (bps) mit $\Delta t = 2ms$ zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bildern. Die räumliche Auflösung ist 256×256 Pixel. Das verwendete Kamerasystem verfügt zudem über zwei integrierte, exakt synchronisierte digitale Meßkanäle für die Registrierung der muskulären Aktivitäten mittels Elektromyografie (EMG).

1.2 Probanden und Patienten

Die Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des Augenlidreflexes wurden an zwei gesunden Probanden (je einer männlich und weiblich) sowie an einem männlichen Patienten mit einseitiger Facealisparese (Gesichtslähmung) durchgeführt. Bei jedem Studienteilnehmer wurde der Augenlidreflex mit mehreren unterschiedlichen Stimulationsarten (willkürlich, spontan, taktil, akustisch und visuell) ausgelöst und aufgenommen. Bei dem spontanen und dem willkürlichen Augenzwinkern wurden die Teilnehmer gebeten, diese so natürlich wie möglich auszuführen. Als akustischer Reiz diente eine Kinder-Korken-Pistole, die hinter dem Rücken des Probanden abgeschossen wurde; für den visuellen Reiz wurde ein Blitzlicht einer Fotokamera (vgl. dazu auch Abb.1) verwendet, das hinter der Hochgeschwindigkeitskamera positioniert wurde; als taktiler Reiz wurde den Probanden jeweils spontan von der Seite in das Gesicht gepustet.

Um die Kinematik der Augenlider nicht zu verfälschen und um für den Patienten und Probanden die Untersuchung bzw. die Aufnahme der Augenlidreflexe so angenehm wie möglich zu gestalten, wurden keine Markierungen oder Marker [2,3] auf den Augenlidern aufgetragen.

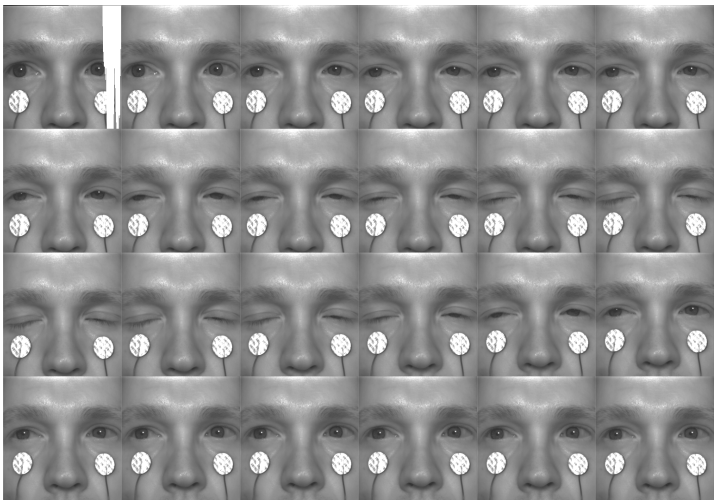

Abb. 1: Bildsequenz einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme einer Augenlidbewegung eines gesunden Probanden. Im ersten Bild ist als visuelle Stimulation das Blitzlicht zu sehen. Auf den Wangen des Probanden sind die EMG-Meßpunkte aufgeklebt. Es ist hier jedes zehnte Bild der Bildfolge dargestellt.

2 Bewegungsanalyse

Die vertikalen Bewegungen der beiden Augenlider werden mit Hilfe eines vollautomatischen aber interaktiven Template-Matching-Verfahrens subpixelgenau verfolgt. Im ersten Bild einer Sequenz werden die zu verfolgenden Objekte manuell markiert. Verwendet werden dafür die Unterkanten der oberen Augenlider sowie die Oberkanten der EMG-Meßpunkte auf den beiden Wangen. Das markierte Template T_t im Bild f_t wird anschließend mittels Korrelation (maximum cross correlation, MCC) automatisch im Suchraum B_{ij} des Nachfolgebildes f_{t+1} gesucht:

$$MCC_{i,j}(u,v) = \frac{\sum_{(x,y)\in B_{i,j}} \left(T_t(x,y) T_{t+1}(x+u, y+v)\right)^2}{\sum_{(x,y)\in B_{i,j}} T_t(x,y)^2 \sum_{(x,y)\in B_{i,j}} T_{t+1}(x+u, y+v)^2} \tag{1}$$

Die Korrelation ist im Vergleich mit Subtraktionsmethoden etwas rechenaufwendiger, arbeitet dafür bei den vorliegenden Anwendung wesentlich stabiler. Insbesondere bei den Beleuchtungsänderungen während der Blitzlichtstimulation konnten mittels Intensitätsnormierung bessere Ergebnisse im Sinne von glatteren Trajektorien produziert werden. Durch eine speziell entwickelte Erweiterung des Korrelationsverfahrens durch eine subpixelgenaue Positionsbestimmung [4] konnte zudem die Genauigkeit der Objektlokalisation erheblich gesteigert werden. Zusätzlich wurde im Falle der Verfolgung der affinen Gesichtsbewegungen auf den EMG-Meßpunkten, die sich relativ zu den Augenlidern relativ langsamen bewegen, eine erhöhte Genauigkeit erzielt.

Die Position des detektierten Korrelationsmaximums im Bild f_{n+1} dient jeweils als neuer Startpunkt für die nächste Iteration. Ab dem zweiten Bild f_2 arbeitet das Verfahren vollautomatisch. Manuelle Korrekturen der automatisch berechneten Trajektorienpunkte sind nur in Ausnahmefällen nötig.

Da sich das Anfangstemplate T_0 während des Korrlationsverfahrens über die Länge einer Bildsequenz (mit ca. 1000 Einzelbildern) relativ wenig oder kaum ändert, wird nicht zwischen jedem neuen Bilderpaar f_t und f_{t+1} ein neues Template erzeugt, sondern das aktuelle Template dynamisch angepaßt. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn sich die zuvor detektierte Verschiebung d im Subpixelbereich befindet. Experimentell wurde folgendes Vorgehen festgelegt: Bei Verschiebungen mit $d < 1$

Abb. 2: Bildsequenz einer Augenlidbewegung eines Patienten mit einseitiger Gesichtslähmung. Als Reaktion auf einen akustischen Reiz wird nur die das rechte Auge verschlossen, das linke Auge bleibt aufgrund der Gesichtslähmung geöffnet. Es ist jedes achte Bild der Sequenz dargestellt.

pixel wird das Template nicht verändert, bei $d \geq 1\ pixel \wedge d \leq 8\ pixel$ wird das aktuelle Template mit dem neuen Template gemittelt und bei Verschiebungen von $d > 8$ wird ein neues Template erzeugt [3].

Die berechneten Trajektorien (vgl. Abb. 3 und 4) werden mit dem Durchmesser der EMG-Meßpunkte (∅ = 19 mm) normiert. Dadurch können die zeitlichen und räumlichen Komponenten der Bewegungen in DIN-Massen angegeben werden.
Da als Reaktion auf die externe Stimulation (akustisch, taktil bzw. visuell) auch eine Bewegung des gesamten Kopfes stattfindet, muß diese sog. affine Bewegung kompensiert werden. Unter der Annahme, daß mit den Trajektorien der EMG-Meßpunkte diese affine Bewegung beschrieben werden kann, werden diese Trajektorien von den Trajektorien der Augenlider subtrahiert, vgl. Abb. 3a und 3b.

3 Ergebnisse

Durch den Vergleich der Trajektorien mit den synchron aufgenommenen EMG-Daten, konnte eine Zuordnung zwischen externer bzw. willkürlicher Stimulation, der daraus resultierenden muskulären Aktivität sowie der Reaktion durch Bewegung der Augenlider durchgeführt werden. Speziell können damit zwei damit zwei Teilergebnisse festgehalten werden:

(1) Mittels des vorgestellten Verfahrens lassen sich die Bewegungen des rechten und linken Augenlids vergleichen. Im Falle einer uni- oder bilateralen Gesichtslähmung reagieren beide Gesichtshälften unterschiedlich auf externe Stimulationen. In Abb. 2 ist ein Patient mit einer einseitigen Gesichtslähmung zu sehen, in Abb. 4 die zugehörigen Trajektorien. Während sich das rechte Augenlid (gesunde Gesichtshälfte) aufgrund des akustischen Reizes vollständig verschließt, bewegt sich das rechte Augenlid (gelähmte Seite) lediglich um ca. 2 mm nach unten.

(2) Durch den Vergleich der Trajektorien mit den EMG-Daten sowie der Stimulationstriggerung lassen sich die muskulären Aktivitäten sowie die Latenzzeiten zwischen Aktion und Reaktion objektiv bestimmen. Abb. 5 zeigt die Gegenüberstellung von akustischem Reiz, EMG-Daten und Augenlidbewegung.

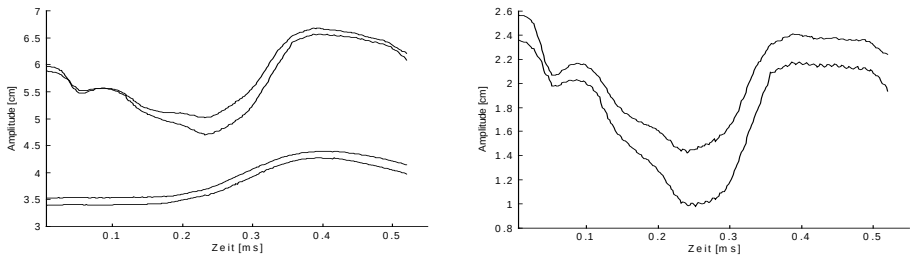

Abb. 3(a): Vertikale Trajektorien der Augenlider aus Abb. 1 (oben) sowie der Oberkanten der EMG-Meßpunkte (unten). Es sind zwei aufeinanderfolgende Augenlidbewegungen mit unvollständigen und vollständigem Verschluß zu beobachten. Anhand der beiden EMG-Trajektorien ist die affine Bewegung des Probanden als Reaktion auf die visuelle Stimulation ersichtlich. (b) Korrigierte Trajektorien durch Subtraktion der affinen vertikalen Anteile.

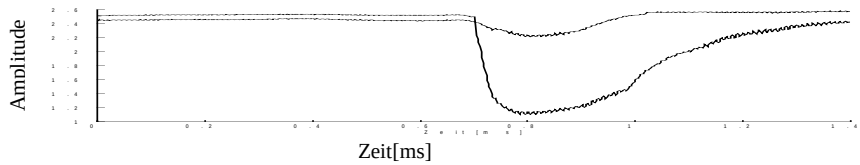

Abb. 4: Normierte vertikale Trajektorien-Anteile der Augenlider aus Abb. 2. Während sich das rechte Lid (gesunde Gesichtshälfte) aufgrund der Stimulation vollständig verschließt, bewegt sich das rechte Auggenlid (gelähmte Seite) lediglich um ca. 2 mm nach unten.Diskussion

4 Diskussion

Das vorgestellte Verfahren erlaubt es, die Bewegungen der Augenlider relativ gut zu approximieren. Für diese Studie wurde jedoch der Suchraum der Templates in der Horizontalen stark eingeschränkt, um einerseits die vertikalen Bewegungen stärker zu gewichten und um andererseits das Aperturproblem zu vermeiden. Zudem wurden die rotatorischen Bewegungskomponenten des Lidverschlusses in diesem ersten Ansatz vernachlässigt.
Zudem ist derzeit zu Beginn der Lidöffnungsphase meistens noch eine Interaktion des Benutzers nötig, da nach dem längeren Lidverschluß die Templates dazu tendieren, vom oberen zum unteren Augenlid zu springen.

5 Literatur

1. Wittenberg Th: Wissensbasierte Bewegungsanalyse von Stimmlippenschwingungen anhand digitaler Hochgeschwindigkeitsaufnahmen., Shaker Verlag Aachen 1998.
2. http://www.facs.org/clincon/presskit/somia.html
3. Frischholz R: Beiträge zur automatischen dreidimensionalen Bewegungsanalyse, Shaker Verlag, Aachen, 1998.
4. Frischholz RW, Spinnler KP: A Class of Algorithms for Real-Time Subpixel Registration. In: Europto Series, Proceedings, Vol. 1989, München, Juni 1993.

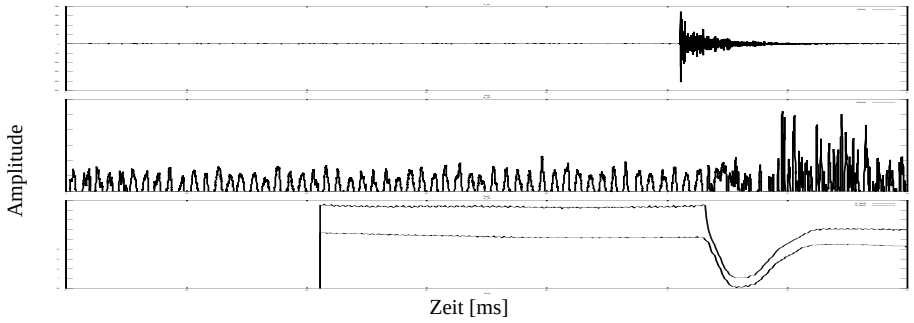

Abb 5. Gegenüberstellung von akustischem Reiz (oben), EMG-Daten (mitte) und Augenlidbewegung (unten). Nach dem akustischen Reiz wird eine erhöhte muskuläre Aktivität im Zusammenhang mit der Augenlidbewegung registriert.