

Zweistufiges Klassifikationsverfahren für die Aktivierung von FES zur Unterstützung von Schlucken

Benjamin Riebold¹, Holger Nahrstaedt¹, Corinna Schultheiss,² Rainer O. Seidl² and Thomas Schauer¹

¹Fachgebiet Regelungssysteme, TU-Berlin, Deutschland

²Unfallkrankenhaus Berlin, Deutschland

Kontakt: riebold@control.tu-berlin.de

Einleitung

Signalverläufe von EMG und Bioimpedanz (BI) die am Kehlkopf während des Schluckens gemessen werden, zeigen charakteristische Muster die von Schultheiss et al. in [1] beschrieben wurden. Zu Beginn des Schluckens ist eine erhöhte EMG-Aktivität messbar, woraufhin ein Abfall der Bioimpedanz zu beobachten ist. Diese Eigenschaften können benutzt werden, um Funktionale Elektrische Stimulation (FES) zeitgleich zu einer willentlichen Schluckintention zu starten, wie von Nahrstaedt et al. [2] gezeigt wurde. Die FES wird über Klebelektroden am Mundboden auf die suprahyale Muskulatur angewendet, um die Hebung des Kehlkopfes und damit den Verschluss der Atemwege zu unterstützen. Die Stimulation wird beendet, sobald die Bioimpedanz wieder ansteigt oder eine maximale Zeitspanne überschritten wurde.

Ähnliche Muster, wie sie beim Schlucken in den EMG und BI Signalen auftreten, können auch durch Kopfbewegungen, Kauen oder Reden entstehen. Dadurch kann es zu Aktivierung der FES kommen, obwohl der Patient nicht schlucken wollte. Aus diesem Grund wird bisher ein Schalter verwendet, um die Stimulation erst dann zu ermöglichen, wenn der Patient bereit ist, zu schlucken.

Um Stimulationen zu unterdrücken, die nicht mit einer Schluckintention zusammenfallen, wurde das System um eine Tiefenbildkamera erweitert. Mit Hilfe der Kamera sollen Bewegungen des Kopfes und des Kiefers erkannt und dadurch falsche Stimulationen unterdrückt werden. Die Tiefenbildkamera „RealSense“ von Intel liefert die Positionen von festgelegten Punkten auf dem Mund und dem Gesicht, wie in Abbildung 1 gezeigt. Diese können benutzt werden, um zusätzliche Informationen über Bewegungen von Kiefer und Mund zu gewinnen. Um eine zuverlässigere Aktivierung der FES zu ermöglichen, haben wir das in Abbildung 2 gezeigte Klassifikationsverfahren entworfen. Ein erster Klassifikator der sich auf EMG und BI Signale stützt, erkennt mögliche Schluckanfänge, welche von einem zweiten Klassifikator in Schlücke oder Kiefer-, Mund- und Kopfbewegungen unterschieden werden.

Methoden

Für das Training der Klassifikatoren haben wir Daten von fünf gesunden Testpersonen aufgenommen. Alle Testpersonen mussten Boli mit vier verschiedenen Konsistenzen

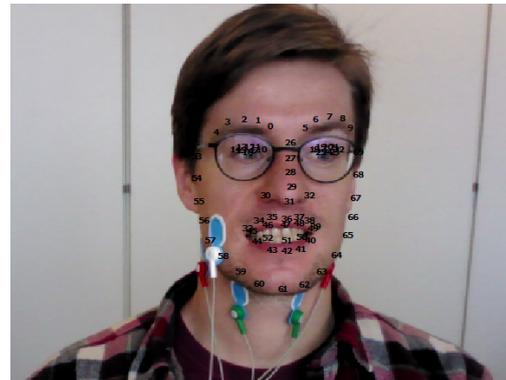


Abb. 1: Positionen der Gesichtspunkte

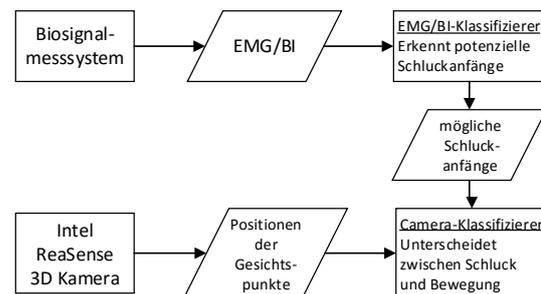


Abb. 2: Zweistufiger Klassifikationsprozess

in fünf verschiedenen Kopfpositionen drei mal schlucken. Daraus resultiert ein Datensatz mit 300 Schlucken, der auch Artefakte von Kauen, Sprechen und Bolusaufnahme enthält.

EMG/BI-Klassifikator

Das BI Signal wird zunächst entrauscht und auf eine kleinere Abtastrate von 40 Hz gebracht. Im Anschluss wird der Signalverlauf wie in Nahrstaedt et al. [2] beschrieben unter Verwendung eines „Sliding Window And Bottom-Up“ (SWAB) Algorithmus [3] mit Geraden approximiert. Sobald ein neues Geradenstück gefunden wird, werden die Features berechnet und der „Random Forest“-Klassifikator angewandt. Für den EMG/BI Klassifikator werden folgende Features benutzt:

- SNR der EMG Aktivität während des neusten Geradenstücks
- Anstieg der letzten vier Geradenstücke
- SAX-Wort [4] des BI und EMG Signals der letzten 0.5 Sekunden wie in [5] beschrieben.

Kamera-Klassifikator

Für die Klassifikation der Kameradaten wird eine „Vector Support Machine“ (SVM) verwendet. Als Features dienen die Bewegungsgeschwindigkeiten von Oberlippe, Unterlippe, Kiefer und der Mundwinkel, sowie die Weite der Mundöffnung und die Größe der Kieferausslenkung. Die Features werden auf einem Zeitintervall vor den potenziellen Schluckanfängen berechnet und mit einem halben Hanningfenster gewichtet. Um das beste Parameterpaar von C und γ für die SVM zu finden, wurden beide Parameter im Raster variiert und die resultierenden Klassifikatoren validiert.

Ergebnisse

Alle Klassifikationsergebnisse wurden mit dem „Leave One Subject Out“-Ansatz bestimmt. Der Klassifikator wird dabei mit Daten trainiert, in denen eine Testperson entfernt wurde. Die entfernten Daten werden dann zum Testen verwendet. Dieses Vorgehen wird für alle Testpersonen wiederholt. Die Ergebnisse des EMG/BI-Klassifikators sind in Tabelle 1 dargestellt. Demnach werden fast genauso viel falsche Stimulationen aktiviert wie Richtige.

Tab. 1: Wahrheitsmatrix: EMG/BI Klassifikator

Schluckanfänge	pos. klassifiziert	neg. klassifiziert
richtig	335	28
falsch	273	16038

Im Anschluss werden die 608 potenziellen Schluckanfänge mit dem Kamera-Klassifikator bewertet. Aus den Variationen des Parameterpaares C und γ wurde das Paar gewählt, das eine Sensitivität von 90 % liefert und dabei die größte Spezifität aufweist. Die Klassifikationsergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Es konnten 47 % der falschen Schluckanfänge entfernt werden, wobei nur 11 % der richtigen Schluckanfänge als falsche Schluckanfänge klassifiziert wurden.

Tab. 2: Wahrheitsmatrix: Kamera Klassifikator

Schluckanfänge	pos. klassifiziert	neg. klassifiziert
richtig	301	34
falsch	144	129

Diskussion

Wir haben gezeigt, dass durch den Einsatz des Kamerasystems die Anzahl falscher Stimulationen deutlich gesenkt werden kann. Für eine hohe Patientensicherheit sollte bei möglichst jedem Schluckversuch stimuliert werden, um die

Wahrscheinlichkeit des Verschluckens zu minimieren. Daher wurde ein Klassifikator mit möglichst hoher Sensitivität ausgewählt. Die Ergebnisse sind ein vielversprechender Ausgangspunkt und können hoffentlich noch weiter verbessert werden. Wir haben Daten von weiteren Testpersonen aufgenommen, um das Training und die Auswertung auf eine breitere Datenbasis zu stellen und eine bessere Optimierung zu erreichen. Weiterhin können zusätzliche Features getestet werden, um die Klassifikationsgüte zu verbessern.

Literatur

- [1] SCHULTHEISS, Corinna ; SCHAUER, Thomas ; NAHRSTAEDT, Holger ; SEIDL, Rainer O.: Automated Detection and Evaluation of Swallowing Using a Combined EMG/Bioimpedance Measurement System. In: *The Scientific World Journal* 2014 (2014), S. 405471. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/405471>. – DOI 10.1155/2014/405471
- [2] NAHRSTAEDT, H. ; SCHULTHEISS, C. ; SCHAUER, T. ; SEIDL, R. O.: Bioimpedance- and EMG-Triggered FES for Improved Protection of the Airway During Swallowing. In: *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik* (2013). <http://dx.doi.org/10.1515/bmt-2013-4025>. – DOI 10.1515/bmt-2013-4025. – ISSN 1862-278X, 0013-5585
- [3] KEOGH, E. ; CHU, S. ; HART, D. ; PAZZANI, M.: An online algorithm for segmenting time series. In: *Proceedings 2001 IEEE International Conference on Data Mining*, IEEE, 2001. – ISBN 0-7695-1119-8, S. 289-296
- [4] LIN, Jessica ; KEOGH, Eamonn ; LONARDI, Stefano ; CHIU, Bill: A symbolic representation of time series, with implications for streaming algorithms. In: *Proceedings of the 8th ACM SIGMOD workshop on Research issues in data mining and knowledge discovery*, ACM, 2003, S. 2
- [5] NAHRSTAEDT, Holger ; SCHULTHEISS, Corinna ; SEIDL, Rainer O. ; SCHAUER, Thomas: Swallow Detection Algorithm Based on Bioimpedance and EMG Measurements. In: *8th IFAC Symposium on Biological and Medical Systems*. Budapest, Hungary, 2012, S. 91-96

Danksagung

Dies Arbeit wurde finanziert vom Ministerium für Wirtschaft und Energie (BMW) im Rahmen des Projektes MultiEMBI (KF 23923114CS4).