

**3. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
17.-18. September 2001 in  
Bochum**



**„Echtzeitanalyse des Atemflußsignals zur Steuerung der  
thermischen Stimulation bei Schlafapnoe“**

A. Wenzel, R. Baumgart-Schmitt  
Fachbereich Elektrotechnik, Fachhochschule Schmalkalden, Schmalkalden, Deutschland  
E-Mail: a.wenzel@e-technik.fh-schmalkalden.de

A. Röthig  
AXON GmbH, Schmalkalden, Deutschland

E. Storch  
Johannes- Müller- Institut für Physiologie, Humboldt- Universität zu Berlin, Berlin,  
Deutschland

J. Wernstedt  
Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau,  
Deutschland

Band: Beiträge zum 3. Workshop Automatisierungstechnische Methoden und  
Verfahren für die Medizin  
Editors: Jürgen Werner, Martin Hexamer  
ISBN: 3-00-008240-9  
Pages: 8-9

## Echtzeitanalyse des Atemflußsignals zur Steuerung der thermischen Stimulation bei Schlafapnoe

A. Wenzel<sup>1</sup>, R. Baumgart-Schmitt<sup>1</sup>, A. Röthig<sup>2</sup>, E. Storch<sup>3</sup>, J. Wernstedt<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Fachbereich Elektrotechnik, Fachhochschule Schmalkalden

<sup>2</sup>AXON GmbH, Schmalkalden

<sup>3</sup>Johannes- Müller- Institut für Physiologie, Humboldt- Universität zu Berlin

<sup>4</sup>Institut für Automatisierungs- und Systemtechnik, Technische Universität Ilmenau

E-Mail: a.wenzel@e-technik.fh-schmalkalden.de

### EINLEITUNG

Eine der folgenschwersten Schlafkrankheiten ist die durch Atemstillstände gekennzeichnete Schlafapnoe. Betroffene weisen pro Nacht bis zu einigen hundert dieser Atemstillstände (Apnoen) auf, welche durch Herzfrequenzanstiege zu Kreislaufbelastungen, einer starken Schläffragmentierung und damit verbunden zu eingeschränkter Leistungsfähigkeit und Tagesmüdigkeit führen.

Die obstruktive Schlafapnoe, eine Unterform der Schlafapnoe, wird überwiegend mit der CPAP- Therapie (continuous positive airway pressure) behandelt. Eine Reihe von Nebenwirkungen und eine problematische Langzeitakzeptanz [3] motivieren die Suche nach alternativen Therapiemethoden bzw. einer Verbesserung der CPAP Therapie.

In [2] wird eine thermische Stimulation des Patienten vorgeschlagen, welche die Atemstillstände verkürzen und die Folgen der Schlafapnoe mildern soll. Eine Störung des Schlafs durch einen Übergang zum Wachstadium ist hierbei nicht erwünscht.

Eine automatische thermische Stimulation ist nur dann möglich, wenn es gelingt, Atemstillstände möglichst schnell automatisch zu erkennen bzw. sogar vorherzusagen. Daß schon die eindeutige Erkennung von Atemstillständen aus den Signalen der Atmungsanstrengung problematisch ist, zeigen z.B. Macey et. al. [5]. Einfache Schwellwert- und Peak- Erkennungsverfahren weisen hiernach eine hohe Zahl von falsch positiven Entscheidungen, besonders in Bereichen gestörter Atmung auf. Die dort behandelten Algorithmen sind außerdem nicht für eine Echtzeitauswertung geeignet.

In diesem Beitrag wird ein Verfahren zur automatischen Erkennung und Vorhersage von Atemstillständen auf der Basis des Atemflußsignals vorgestellt. Das entwickelte Prognosesystem ist so gestaltet, daß es in ein Echtzeitsystem einbezogen werden kann.

### MATERIALIEN UND METHODEN

Zur Entwicklung des Vorhersagesystems kamen insgesamt fünf klinische Aufzeichnungen des Atemflußsignals apnoekrankter Patienten zum Einsatz. Das Signal wurde durch eine Thermistoranordnung vor Mund und Nase aufgenommen und mit einer Abtastrate von 5 Hz

bei einer Quantisierungstiefe von 12 bit digitalisiert. Im Gegensatz zu Macey et. al. [5] werden die zur Erkennung und Prognose der Atemstillstände nötigen Merkmale nicht direkt aus dem Zeitsignal, sondern aus einer adaptiv rekursiven Schätzung der Autokorrelationsfunktion nach Griebbach et. al. [4] gewonnen. Die geschätzten Stützstellen der Autokorrelationsfunktion unter Einbeziehung des n-ten Meßwerts  $\underline{a}_n^T = [a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{ns}]$  mit s als letzter zu berechnender Stützstelle, ergeben sich nach dem Rekursionsschema

$$\underline{a}_n = \underline{a}_{n-1} - c \cdot (\underline{a}_{n-1} - \underline{y}_n). \quad (1)$$

Wobei  $\underline{y}_n^T = [x_n \cdot x_n, x_n \cdot x_{n-1}, \dots, x_n \cdot x_{n-s+1}]$  ist.

Der Wert  $x_n$  ist hierbei der n-te Abtastwert des Zeitsignals. Der Startvektor  $\underline{a}_0$  wird gleich  $\underline{y}_0$  gesetzt. Mit der Wahl des Faktors  $0 < c < 1$  vor dem Korrekturterm der Rekursion können die Eigenschaften der Schätzung festgelegt werden. Kleine Werte für c bewirken eine langsame Erkennung von Instationaritäten und ein gutes Konvergenzverhalten, wohingegen große Werte von c die umgekehrten Eigenschaften zur Folge haben. Für den vorliegenden Fall des verwendete Atemflußsignals hat sich eine Adaptionkonstante von  $c=0.05$  bewährt. Die Autokorrelationsfunktion wurde bis zu einer maximalen Verschiebung von 10 Sekunden berechnet.

Aus der für jeden Abtastwert zur Verfügung stehenden Schätzung der Autokorrelationsfunktion werden jeweils fünf Merkmale extrahiert. Diese Merkmale beschreiben die Atmungsamplitude, die Frequenz der Atmung, die Ähnlichkeit benachbarter Atemzüge und die Ähnlichkeit der benachbarten gegenphasiger Komponenten des Ein- und Ausatmens im Atemflußsignal. Die Merkmale werden zusammen mit den selben fünf Merkmalen vor einer Sekunde und vor acht Sekunden zu einem Merkmalsvektor kombiniert.

Manuell bewertete Abschnitte des Atemflußsignals von drei kompletten nächtlichen Aufzeichnungen verschiedener Personen dienen zum Belehren von insgesamt sechs Error- Back- Propagation Netzen mit dem Softwaresystem SASCIA [1]. Die neuronalen Netze unterscheiden zwischen den drei Klassen „Normale Atmung“, „destabilisierte Atmung“ und „Atemstillstand“. Die Entscheidungen der einzelnen neuronalen Netze werden in die Zahlen 1-3 umkodiert. Über eine Medianbildung wird die Gesamtentscheidung der Netzpopulati- on ermittelt.

Für jeden neuen Abtastwert des Signals steht fortlaufend eine dieser drei Klassenzuweisungen zur Verfügung. Der zeitliche Verlauf der Klassenzuweisungen wird von einem diskreten Zustandsautomaten mit sechs verschiedenen Zuständen (Z1-Z6) verarbeitet, um vorhandenes a priori Wissen über den Verlauf eines Atemstillstandes einzubeziehen. Erreicht dieser Automat den Zustand Z5 ist ein sich anbahnender Atemstillstand erkannt worden. Wird der Zustand Z5 verlassen, hat sich der Atemstillstand aufgelöst.

## ERGEBNISSE

Das Prognosesystem zur Erkennung und Vorhersage von Atemstillständen wurde an zwei nicht zum Belehren oder Testen der neuronalen Netze verwendeten nächtlichen Aufzeichnungen des Atemflußsignals erprobt. Die Aufzeichnungen stammten von Personen, welche nicht in der Lern- und Testmenge der neuronalen Netze enthalten waren. Hierbei konnten bei der ersten Aufzeichnung alle 242 respiratorischen Ereignisse erkannt und davon 109 vorhergesagt werden. Es wurden 47 falsch positive Entscheidungen getroffen, von denen 44 in Gebieten stark gestörter Atmung lagen, also nur leichte Fehler darstellen. Alle 131 respiratorischen Ereignisse der zweiten Aufzeichnung wurden ebenfalls automatisch erkannt, wobei 107 Ereignisse vorhergesagt werden konnten. Es traten 41 falsch positive Entscheidungen auf, wobei es sich bei 37 davon um leichte Fehler handelte.

## DISKUSSION

Die Hauptschwierigkeit der Echtzeiterkennung liegt in einer robusten verallgemeinerten Beschreibung des Verhaltens der Atemflußkurve. Hier hat sich die Auswertung von adaptiv rekursiv berechneten Autokorrelationsfunktionen als geeigneter Ansatz erwiesen. Die Ergebnisse des Tests der Vorhersagealgorithmen zeigen, daß bei Tolerierung einer gewissen Anzahl an falsch positiven Entscheidungen eine sehr schnelle Reaktion auf Atemstillstände bzw. sogar deren Vorhersage möglich ist. Wie viele der respiratorischen Ereignisse vorhergesagt werden können, hängt auch von den individuellen Merkmalen des Atemflußsignals ab. Die Auswertung der beiden nicht am Belehren der neuronalen Netze beteiligten Aufzeichnungen zeigt deutliche Unterschiede in der Anzahl der vorhergesagten Atemstillstände. Über die Struktur des diskreten Automaten kann ein beinahe beliebiger Kompromiß zwischen Vorhersageeigenschaften und Sicherheit der Entscheidung getroffen werden.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der vorgestellte Algorithmus zeigt eine Möglichkeit, Atemstillstände im Atemflußsignal zu detektieren bzw. sogar zu prognostizieren. Die Vorhersageleistung ist hierbei stark von individuellen Merkmalen der Atemstillstände abhängig. Es wurde ein Kompromiß zwischen Vorhersageleistung und falsch positiven Fehlentscheidungen gefunden, welcher für den vorliegenden Anwendungsfall der thermischen Stimulation geeignet ist. Die im System verwendeten neuronalen Netze, welche mit drei verschiedenen Aufzeichnungen belehrt wurden, sollten zur Verbesserung der Generalisierungsfähigkeit durch Netze anderer Aufzeichnungen ergänzt werden.

Über die Struktur des verwendeten diskreten Zustandsautomaten ist eine Anpassung des Systems an andere Aufgabenstellungen wie z.B. Druckadaption denkbar.

Zur Erprobung der Algorithmen im Anwendungsfall der Thermostimulation wurden umfangreiche technische Vorarbeiten geleistet, welche für medizinische Studien zur Wirksamkeit des Therapievorschlages genutzt werden können.

## LITERATURHINWEISE

- [1] R. Baumgart- Schmitt Mustererkennung durch parallele Simulation von neuronalen Netzen, evolutionäre und genetische Algorithmen in R. Baumgart-Schmitt (Hrsg.): Praktische Anwendungen neuronaler Netze, LIT- Verlag, Hamburg 1996
- [2] R. Baumgart- Schmitt, H. Jeschke, T. Böhm, A. Röthig A.; Wenzel, A. Patentanmeldung: „Verfahren zur Verbesserung der Schlafqualität durch Thermostimulation“ eingereicht am 18.05.00 beim Deutschen Patent- und Markenamt München
- [3] O. Bernath, D. Claman „REM Density: A Predictor of CPAP Compliance“ in Abstracts APSS Annual Meeting Orlando Florida USA, Orlando Florida USA 1999.
- [4] G. Griebbach, U. Griebbach Adaptive Korrelationsverfahren in der Biosignalanalyse in: R. Muche, G. Büchele, H. Harder, W. Gaus (Hrsg.): Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, MMV Medizin Verlag, München 1997
- [5] P. M. Macey, J. S. Li, R. P. Ford Deterministic properties in an abdominal breathing signal, Medical & Biological Engineering & Computing Vol. 37, 1999