

**6. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
24.-25. März 2006 in Rostock-  
Warnemünde**



**„Lokalisierung von mechanischen Stimuli anhand von  
afferenten Nervensignalen“**

Markus Reischl, Ole Burmeister, Ralf Mikut  
Forschungszentrum Karlsruhe, Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland  
E-Mail: markus.reischl@iai.fzk.de

Thilo Krüger, Thomas Stieglitz  
Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland

Band: Abstracts der Vorträge des 6. Workshops der Automed 2006  
Editors: T. Ellerbrock  
ISBN: 3-86009-296-0  
Pages: 11-12

## Lokalisierung von mechanischen Stimuli anhand von afferenten Nervensignalen

Markus Reischl<sup>1</sup>, Thilo Krüger<sup>2</sup>, Ole Burmeister<sup>1</sup>, Ralf Mikut<sup>1</sup>, Thomas Stieglitz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forschungszentrum Karlsruhe  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen  
<sup>2</sup>Universität Freiburg  
79110 Freiburg

markus.reischl@iai.fzk.de

### EINLEITUNG

Eine Neuroprothese benötigt eine Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Interpretation von afferenten und efferenten Signalen des peripheren Nervensystems [Navarro05, Mikut06]. Diese Schnittstelle enthält geeignete Sensoren zur Erfassung von neuroelektrischen Signalen und Signalverarbeitungsroutinen zu deren Interpretation. Aufgrund der individuellen Unterschiede ist die Codierung von Informationen im gemessenen Signal im Voraus aber nicht bekannt.

Beispielsweise gibt es zur Signalauswertung von Cuff-Elektroden beim Menschen bislang nur wenige Versuche (z.B. Ableitung aus körpereigenen Mechano-rezeptoren im Zeigefinger [Inmann01] oder im Fuß zur Realisierung eines Fallfuß-Stimulators [Upshaw98]). Bislang sind solche Sensoren auf günstige Elektrodenpositionen angewiesen (z.B. nahe an einem Finger), um Mischsignale im peripheren Nerv zu vermeiden. Die Implantation einer Vielzahl solcher Sensoren (z.B. in jedem Finger) erscheint jedoch kaum möglich, günstiger ist eine zentrale Platzierung an einem peripheren Nerv (z.B. im Arm bei Handprothesen). Eine solche Platzierung erfordert allerdings eine Separierung der auftretenden Mischsignale.

Diese Arbeit beschreibt eine Vorstudie, in der der Ort von drei mechanischen Stimuli anhand von neuroelektrischen Signalen im Tierversuch zu bestimmen ist. Mittels flexibler Nervenplatten werden die Signale erfasst und anschließend Signalverarbeitungsroutinen entworfen, die der Extraktion der gewünschten Information aus dem Signal dienen.

### MATERIALIEN UND METHODEN

Im Tierversuch (Sprague-Dawley-Ratte, weiblich, Alter: 2.5 Monate) werden drei verschiedene Zehen der unteren Extremität durch ein Semmes-Weinstein-Filament (Stärke 610) mechanisch stimuliert. Am Ischiasnerven werden die zugehörigen Nervensignale durch flexible Nervenplatten zweikanalig abgegriffen (Abb. 1).

Das Signal wird vorverstärkt ( $K=10000$ ), durch einen Bandpass gefiltert ( $f_b=0.1\text{kHz} - 3\text{kHz}$ ) und mit  $f=20\text{kHz}$  aufgezeichnet [Krüger2005].

Zur Unterscheidung der stimulierten Zehen (Klassifikation) anhand der aufgezeichneten Nervensignale sind diese vorab um Artefakte zu bereinigen. Anschließend müssen Merkmale extrahiert und bewertet werden, um die besten schließlich einem geeigneten Klassifikator zuzuführen.

Die Bereinigung um Artefakte basiert auf der Erstellung von Kurzzeitspektrogrammen, die Störgrößen identifizieren. Die entsprechenden Zeitpunkte werden entfernt, und Störfrequenzen werden durch Bandsperrern unterdrückt.

Das entstehende Signal dient zur Erstellung von Merkmalen. Für jeden Kanal werden 6 Butterworth-Bandpässe 5. Ordnung (300-500Hz, 500-1000Hz, 1000-2000Hz, 2000-3000Hz, 3000-4000Hz und 4000-5000Hz) erstellt. Zur Darstellung der Aktivität im jeweiligen Frequenzband werden die Bandpässe gleichgerichtet und mit einem Tiefpass gefiltert. Die Extraktion der Merkmale geschieht durch das Bilden der Verhältnisse gleicher Frequenzbänder der zwei Kanäle oder unterschiedlicher Frequenzbänder innerhalb eines Kanals.

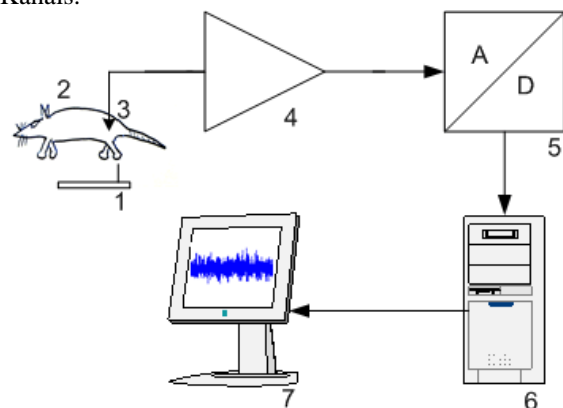


Abb. 1: Versuchsaufbau: Monofilament (1) zur afferenten Stimulation der Ratte (2), Elektrode (3), Verstärker (4), A/D-Wandler (5), Verarbeitungseinheit (6), erhaltenes Signal (7)

Um die Güte der Merkmale zu bewerten und die besten Merkmale auszuwählen, kommt das MANOVA-Verfahren zum Einsatz [Tatsuoka1988].

Zur Klassifikation werden die gewählten Merkmale schließlich einer Support-Vektor-Maschine zugeführt [Vapnik1995]. Diese verwendet einen Polynomkern 2. Ordnung und betrachtet Klassenpaarungen. Die Implementierung geschieht gemäß [Canu2003].

Um Rechenzeit zu sparen, werden Merkmalsauswahl und Klassifikation auf einem Datensatz angelernt und evaluiert, der nur jeden 100. Abtastpunkt enthält.

## ERGEBNISSE

Das MANOVA-Verfahren wählt fünf Merkmale, die Verwendung weiterer Merkmale verbessert das Ergebnis nicht. Als interessant betrachtet das Verfahren die Verhältnisse der beiden Kanäle bei besonders niedrigen und besonders hohen Frequenzbändern.

Über einer Crossvalidierung liefert die Support-Vektor-Maschine Erkennungsraten von 81%. Eine exemplarische Visualisierung in einem durch lineare Diskriminanzanalyse aggregierten, zweidimensionalen Raum zeigt Abb. 2. Demnach lassen sich die Zehen 1 und 2 gut voneinander unterscheiden, das eindeutige Erkennen von Zehe 3 ist hingegen schwierig.

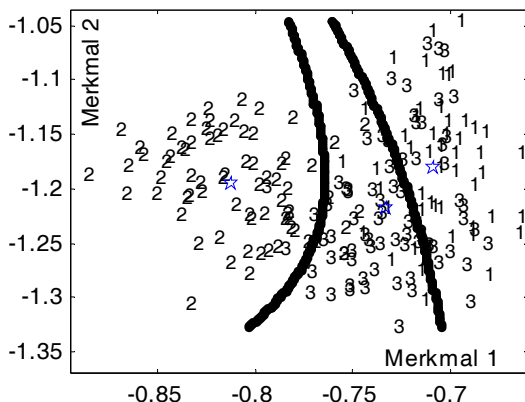


Abb. 2: Aggregierter Merkmalsraum mit Klassengrenzen für die Klassen Zehe 1, Zehe 2 und Zehe 3

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Anhand der oberflächlich von einem Nerven erfassten Signale lassen sich Rückschlüsse auf deren Ursprung ziehen. Als Merkmale eignen sich Aktivitäten in Frequenzbändern, wobei sich die Zehen anhand der aktivierten Frequenzbänder spezifizieren lassen.

## DISKUSSION

Der Zusammenhang zwischen Aktivität in einem Frequenzband und Ort des Stimulus lässt sich evtl. auf die Filterfunktion des biologischen Gewebes zurückführen. Liegt zwischen einer aktivierten Nervenfasern und der Elektrode viel Gewebe, so erscheint das Signal tiefpassgefiltert, und Aktivität in hohen Frequenz-

bändern tritt nicht auf. Um diese These zu belegen, sind weitere Experimente notwendig. Eine Verbesserung der Signalverarbeitung kann durch die Untersuchung schmalere Frequenzbänder (z. B. durch Wavelets) erreicht werden, allerdings ist hierbei zu prüfen, inwiefern Artefakte die Klassifikation beeinflussen.

## DANKSAGUNG

Die Autoren danken Frau Natalia Lago und Herrn Xavier Navarro des Department of Cell Biology, Physiology and Immunology und des Institute of Neurosciences der Universität Autonoma de Barcelona (UAB), Bellaterra (Spanien), für die Unterstützung bei der Durchführung der Tierversuche.

## LITERATURHINWEISE

[Navarro05]

X. Navarro, T. Krüger, N. Lago, S. Micera, T. Stieglitz, P. Dario, "A Critical Review of Interfaces with the Peripheral Nervous System for the Control of Neuroprostheses and Hybrid Bionic Systems", *Journal of the Peripheral Nervous System*, 10(3), S. 229–258, 2005

[Mikut2006]

R. Mikut, T. Krüger, M. Reischl, O. Burmeister, R. Rupp, T. Stieglitz, „Regelungs- und Steuerungskonzepte für Neuroprothesen am Beispiel der oberen Extremitäten“, eingereichter Beitrag, *Automatisierungstechnik (at)*, 2006.

[Inmann01]

A. Inmann, M. Haugland, J. Haase, F. Biering-Sorensen, T. Sinkjaer, "Signals from Skin Mechanoreceptors used in Control of a Hand Grasp Neuroprosthesis", *Neuroreport*, 12, S. 2817–2820, 2001

[Upshaw98]

B. Upshaw, T. Sinkjaer, "Signal Processing Algorithms for the Detection of Afferent Nerve Activity Recorded from Cuff Electrodes", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 6, S. 172–181, 1998

[Canu2003]

S. Canu, Y. Grandvalet, A. Rakotomamonjy, "SVM and kernel methods MATLAB toolbox", *Perception Systèmes et Information*, INSA de Rouen, France, 2003.

[Krüger2005]

T. Krüger, M. Reischl, N. Lago, O. Burmeister, R. Mikut, R. Ruff, K.-P. Hoffmann, X. Navarro, T. Stieglitz, „Analysis of microelectrode-signals in the peripheral nervous system, in-vivo and post-processing“ in *Proc. Mikrosystemtechnik Kongress Deutschland*, Freiburg, S. 69-72, 2005.

[Tatsuoka1988]

M. Tatsuoka, *Multivariate analysis*, Macmillan, New York 1988.

[Vapnik1995]

V. Vapnik, *The nature of statistical learning theory*, Springer, Heidelberg, Berlin 1995.