

Automatische Tremorererkennung mittels Smartphones und intelligenter Uhren

René Romann¹, Gerald Bieber² und Ralf Salomon³

^{1,2} Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik
Fakultät für Informatik und Elektrotechnik
Universität Rostock
18051 Rostock

³ Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD
Joachim-Jungius-Straße 11
18059 Rostock

¹ rene.romann@uni-rostock.de

² gerald.bieber@igd-r.fraunhofer.de

³ ralf.salomon@uni-rostock.de

Abstract: Der Begriff Tremor beschreibt das Zittern der Extremitäten. Dieser Tremor ist an und für sich nichts Schlimmes und ist bei allen Menschen vorhanden und beobachtbar. Doch kann ein verstärkter Tremor als Folge anderer Krankheitsbilder wie beispielsweise Parkinson oder in Folge körperlicher Extremzustände wie Unterzuckerung, Unterkühlung oder Stress auftreten und somit als Indikator für selbige dienen.

Gegenwärtig wird die Tremorbestimmung ambulant im Krankenhaus durchgeführt, was für Patienten und Ärzte mit signifikantem Aufwand und somit hohen Kosten für das Gesundheitswesen verbunden ist. In diesem Beitrag wird untersucht, inwiefern sich der Tremor auch mit handelsüblichen Geräten wie Smartphones und Smartwatches vom Patienten selbstständig bestimmen lässt.

Die durchgeführten Experimente weisen darauf hin, dass dies mit den Geräten der neusten Generation in vielen Fällen einfach und zuverlässig möglich ist.

1. Einleitung

Der Begriff Tremor beschreibt die rhythmische Kontraktion entgegengesetzt wirkender Muskelgruppen. Dabei wird zwischen physiologischen und pathologischen Tremores unterschieden. Während physiologische Tremores den Normalzustand darstellen und bei jedem Menschen anzutreffen sind, stellen pathologische Tremores eine krankhafte Veränderung dar. Diese Veränderungen können sowohl durch Krankheiten (wie Parkinson) als auch durch besondere körperliche Zustände (wie Unterkühlung, Unterzuckerung) ausgelöst werden. Hierbei wird das Zittern so stark, dass der Patient in seinem Alltag durch die unwillkürlichen Bewegungen eingeschränkt wird.

Gegenwärtig ist die Bestimmung der Tremorstärke mit einem Klinikaufenthalt verbunden, bei der der Patient mittels Elektromyographie untersucht wird. Alternative Ansätze, die ebenfalls eine Bestimmung der Tremorstärke ermöglichen, werden ebenfalls in Kapitel 2 kurz erläutert.

Ausgehend von einer grundsätzlichen Studie [1] wird in dem Beitrag untersucht, inwiefern eine Erfassung von Tremores mittels Smartphones und Smartwatches möglich ist. Die dazu verwendete Hardware wird in Kapitel 3 vorgestellt. Hierzu gehört ein handelsübliches Smartphone und ein Gerät zur Laufstreckenerfassung von Leistungssportlern.

Für die Aufzeichnung und Untersuchung der Sensordaten wird eine Software benötigt, die auf den verwendeten Geräten die Messwerte in einer geeigneten Form aufnimmt und später verarbeitet. Insbesondere für die Messwertverarbeitung sind dafür mehrere Algorithmen getestet worden, welche in Kapitel 4 kurz erläutert werden.

Im darauf folgenden Kapitel werden die Resultate der Untersuchung vorgestellt, wobei hierfür die gemessenen Daten von sieben Patienten mit einer ärztlichen Diagnose verglichen werden. Dies umfasst ebenfalls Abschätzungen zum Aufwand der Datenverarbeitung in Bezug auf Rechenzeit und Speicherbedarf. Es zeigte sich, dass ein Algorithmus scheinbar vorteilhaft ist und bei allen sieben Patienten ein Ergebnis liefert, das mit der ärztlichen Diagnose übereinstimmt.

Abschließend wird auf Ansatzpunkte eingegangen, die eine weitere Forschung auf Grundlage dieser Untersuchung ermöglichen.

2. Hintergrund

Dieser Abschnitt beschreibt kurz die gängigen (klinischen) Verfahren zur Messung eines Tremors. Die wohl verbreitetste Methode wird Elektromyographie (EMG) genannt. Hierbei werden die Aktionspotentiale

der Muskeln über auf der Haut angebrachte Elektroden erfasst. Die Höhe der Aktionspotentiale ist dabei mit der Kontraktionsstärke des Muskels korreliert. Aus Frequenz und Höhe der Aktionspotentiale kann somit auf einen Tremor geschlossen werden. Eine genauere Beschreibung des Verfahrens ist unter anderem in [2] und [3] zu finden.

Ein weiteres Verfahren zur Messung von Tremores besteht darin, den Patienten Figuren mit einem Stift nachzeichnen oder mit einem Laserpointer verfolgen zu lassen. Insbesondere Spiralen oder Kreise haben sich hierbei als geeignet erwiesen. Hierbei stellt die Abweichung von der Ausgangsfigur ein Anzeichen für einen Tremor dar.

Aus Studien, die die bekannten Verfahren einsetzen, ist bekannt, dass Tremores, welche am Handgelenk erfasst werden, typischerweise Frequenzen von 3 bis 10 Hz besitzen (vgl. [4], [5] und [6]). Jedoch sind all diese Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass ein Klinikaufenthalt notwendig ist, der für den Patienten und den Arzt mit einem hohen Zeitaufwand verbunden ist.

3. Hardware

Für die in dieser Untersuchung durchgeführten Experimenten kamen zwei Hardwareplattformen zum Einsatz. Einerseits ein Smartphone vom Typ „T-Mobile MDA Vario V“ und andererseits ein Gerät zur Erfassung von Laufstrecken von Leistungssportlern (IMPIRE „GPS Pod“, vgl [7]). Beide Geräte erfüllen hierbei die Anforderungen aus Kapitel 2 in Bezug auf die minimal mögliche Aufzeichnungsfrequenz von 20 Hz¹ und ermöglichen aufgrund ihres Speichers eine Aufzeichnungsdauer von mehreren Stunden. Eine kurze Zusammenstellung der für diesen Beitrag wichtigen Hardwaredaten ist in Tabelle 1 enthalten.

	T-Mobile MDA Vario V	IMPIRE GPS-Pod
3D-Sensor	mindestens $\pm 4g^2$	12bit, $\pm 16g$
max. Abtastrate	33 Hz	100 Hz
Aufzeichnungsdauer	2 h	2 - 4 h
Betriebssystem /Firmware	Windows Mobile 6.5	proprietär

Tabelle 1 - Hardwareeigenschaften

¹ doppelte maximale Tremorfrequenz von 10 Hz nach Nyquist, vgl. [8]

² experimentell ermittelt, da keine Herstellerangabe verfügbar

4. Software

Der Systemaufbau, der für die Untersuchung verwendet wird, ist in Abbildung 1 dargestellt. Hierbei werden Aufzeichnung und Verarbeitung für die Tests zur Durchführbarkeit getrennt, um verschiedene Auswertelgorithmen mit den selben Messwerten testen zu können. In den Unterkapiteln sind die beiden Teilsysteme Aufzeichnung und Auswertung beschrieben.

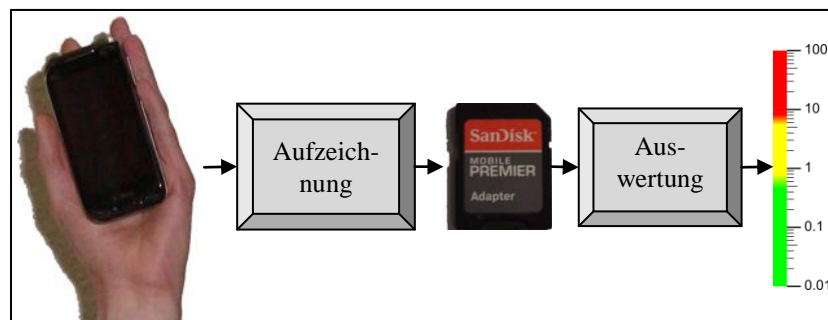


Abbildung 1 - Systemaufbau

4.1. Datenaufzeichnung

Für die Datenaufzeichnung wird beim Smartphone eine entsprechende Software verwendet, welche den Beschleunigungssensor mit 30 Hz abfragt. Auf dem GPS-Pod übernimmt diese Aufgabe eine vom Hersteller bereitgestellte Firmware, welche eine Aufzeichnungsfrequenz von 100 Hz benutzt. Die Speicherung der Daten erfolgt jeweils auf dem geräteinternen Speicher, welcher mittels entsprechender Zusatzprogramme der Hersteller ausgelesen werden kann. Für die spätere Verarbeitung werden die Daten in einem systemunabhängigen Textformat abgespeichert.

4.2. Datenauswertung

Zur Verarbeitung der Daten werden im Zuge des Papers insgesamt 4 verschiedene Algorithmen eingesetzt. Hierbei wurde jede mögliche Kombination getestet, wobei in Abbildung 2 die möglichen Pfade dargestellt sind.

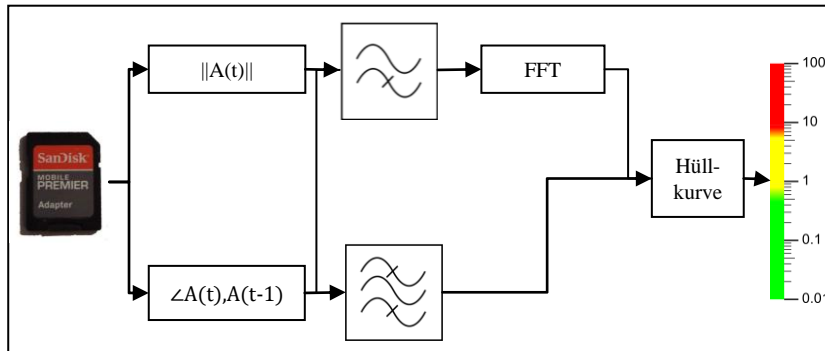


Abbildung 2 – Datenverlaufsgraph bei der Auswertung

Eine Gegenüberstellung zweier Datensätze von jeweils einem Patienten mit Tremor und ohne Tremor nach dem Durchlaufen von Betragsbildung und Tiefpassfilterung ist Abbildung 3 zu entnehmen. In der Abbildung wird die unterschiedliche Höhe der Beschleunigungen im Ruhezustand bei ausgestrecktem Arm sehr deutlich. Während beim Patienten ohne Tremor (rote Linie) eine Beschleunigung von rund $\pm 0,2 \text{ m/s}^2$ erfolgt, erfasst der Sensor beim Tremorpatienten bis zu $\pm 7 \text{ m/s}^2$, d.h. mehr als das 30-fache.

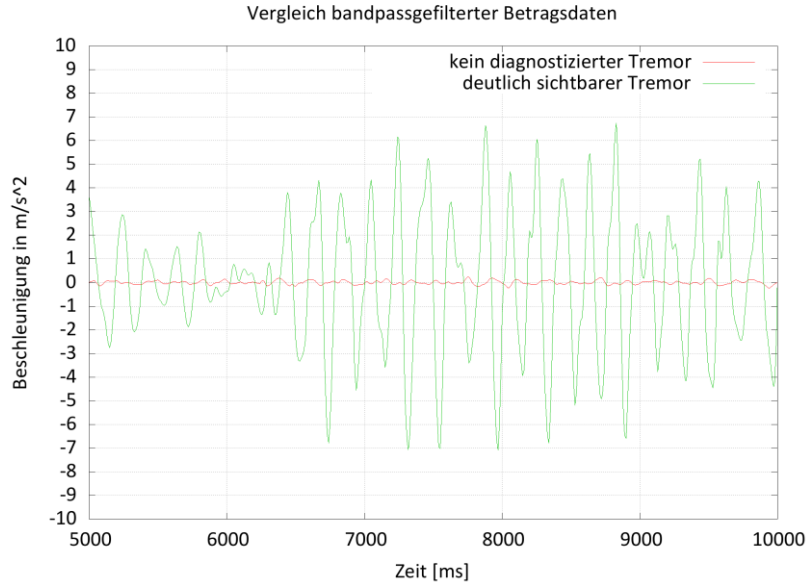


Abbildung 3 – Gefilterte Beschleunigungsdaten zweier Patienten

4.2.1. Umwandlung Vektor zu Skalar

Für die Umwandlung von vektoriellen Größen in skalare Größen gibt es verschiedene Ansätze. Ein Ansatz ist die Betragsbildung, welche die Länge des Vektors bestimmt; alternativ dazu kann auch der Winkel zwischen zwei aufeinanderfolgenden Vektoren, welcher im weiteren Verlauf als Rotation bezeichnet wird, berechnet werden.

4.2.2. Filterung

Aus bestehenden medizinischen Studien (vgl. Kapitel 2, [4], [5] und [6]) ist bekannt, Tremores, welche an der Hand gemessen werden, typischerweise mit Frequenzen von 3 bis 10 Hz auftreten. Daher müssen die Messwerte in Bezug auf die Stärke der Beschleunigung in dem genannten Frequenzbereich untersucht werden.

Ein gängiger Ansatz zur Untersuchung der Frequenzanteile eines Signals ist die Anwendung einer Fast-Fourier-Transformation (FFT, vgl. [8]) auf eben jenes Signal. Um den Gleichanteil, welcher aus der Messung der Erdbeschleunigung resultiert, zu unterdrücken, wird vor der Fast-Fourier-Transformation ein Hochpass 3. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 1 Hz verwendet. Sofern die Fast-Fourier-Transformation zusammen mit den Vektorbeträgen verwendet wird, wird der resultierende Algorithmus als Betrags-FFT bezeichnet. Kommt stattdessen die Rotation zum Einsatz, wird der Algorithmus im weiteren Verlauf Rotations-FFT genannt.

Ebenfalls möglich ist die Untersuchung des Signals mittels eines Bandpasses 6. Ordnung mit einer oberen Grenzfrequenz von 10 Hz und einer unteren Grenzfrequenz von 3 Hz. Hierbei werden die Werte außerhalb des interessanten Frequenzbereiches deutlich gedämpft, so dass der zeitliche Verlauf dieses gefilterten Signals ebenfalls als Indiz für den Tremor. Je nach verwendeter Vektor-zu-Skalar-Umwandlung werden diese Algorithmen im Folgenden entweder als Betrags-Bandpass oder als Rotations-Bandpass bezeichnet.

4.2.3. Aufbereitung

Um aus den gefilterten Werten ein Indiz für die Tremorstärke zu gewinnen, wird die Hüllkurve berechnet. Dazu wird der Absolutbetrag der gefilterten Werte durch einen Tiefpass 3. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 1 Hz geleitet. Weiterhin wird ein Normalisierungsfaktor eingesetzt, damit die Resultate der verschiedenen Algorithmen verglichen werden können.

5. Resultate

Ausgehend von den vier möglichen Algorithmen, welche kurz im vorherigen Kapitel erläutert wurden, werden nur die drei besten Algorithmen in Bezug auf Speicherkapazität, Rechenzeit und vor allem Genauigkeit vorgestellt. Dabei ist anzumerken, dass jeder dieser drei Algorithmen in der Lage ist, die 21 Datensätze korrekt in die Regionen „kein Tremor“, „geringer Tremor“ oder „starker Tremor“ einzuordnen. Hierzu wurden die Resultate mit der Diagnose eines Facharztes verglichen; ebenfalls sind unter den Datensätzen auch Vergleichsmessungen bei ruhendem Gerät.

Eine Zusammenfassung dieser Algorithmen mit deren Metrik [Genauigkeit, Rechenzeit, Speicherbedarf] ist Tabelle 2 zu entnehmen. Hierbei zeigt sich deutlich, dass die beiden Bandpass-Methoden in Bezug auf Rechenzeit und Speicherbedarf einer Fast-Fourier-Transformation deutlich überlegen sind.

Das Fazit dieser Untersuchung ist, dass es möglich ist, Tremores mittels Beschleunigungssensoren von Smartphones und Smartwatches zu erkennen.

Algorithmus	Betrags-Bandpass	Rotations-Bandpass	Rotations-FFT
Rechenzeit ³	76	83	3257
Speicherbedarf ⁴	44	48	1374
Genauigkeit	21/21	21/21	21/21

Tabelle 2 – Algorithmenvergleich

6. Diskussion

Dieser Beitrag untersucht, inwiefern Tremores mittels handelsüblicher Smartphones und Smartwatches in Kombination mit geeigneten Filterkombinationen gemessen werden kann.

Für die praktischen Untersuchungen standen 7 Patienten zur Verfügung. Die Resultate zeigen, dass bei der Kombination aus Betragsbildung und Bandpassfilterung der Messwerte alle Patienten richtig zugeordnet werden konnten.

³ Anzahl der Fließkommaoperationen

⁴ Anzahl der benötigten temporären und dauerhaften Gleitkomma-Speicherplätze

Eine Limitierung des vorgestellten Systems besteht in der Festlegung auf die verwendete Hardware. Eine Portierung auf andere (nicht baugleiche) Geräte ist somit nicht ohne weiteren Aufwand möglich. Ebenfalls zeigt sich, dass die vorgestellten Grenzen zwischen den Gruppen „kein Tremor“, „schwacher T.“ und „starker T.“ aufgrund der geringen Anzahl an Patienten nur sehr grob umrissen werden können.

Weitere Forschungsarbeiten umfassen in Zukunft eine automatische Kalibrierung neuer Geräte, so dass eine geräteunabhängige Skaleneinteilung für die Tremorstärke erzielt wird. Dies umfasst auch die Anpassung der vorhandenen Software an weitere Geräte. Ebenfalls sollte für die Festlegung der Grenzen „kein Tremor“ / „schwacher T.“ / „starker T.“ ein größerer Patientenkreis untersucht werden.

Danksagung

Großer Dank geht an die Patienten der neurologischen Klinik der Universität Rostock in Gehlsdorf, die für die Tests zur Verfügung standen. Besonderer Dank geht an Herrn Dr. Wittstock, der die Autoren bei der Durchführung der Experimente tatkräftig unterstützt hat.

Referenzen

- [1] A. Salarian, H. Russmann, C. Wider, P. R. Burkhard, F. J. G. Vingerhoets und K. Aminian, „Quantification of Tremor and Bradykinesia in Parkinson's Disease Using a Novel Ambulatory Monitoring System,“ *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Bd. 2, Nr. 54, pp. 313-322, 02 2007.
- [2] Wikipedia, „Elektromyographie,“ 28 Januar 2014. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektromyografie&oldid=126972992>. [Zugriff am 20 Februar 2014].
- [3] R. Dengler, „Stand und Entwicklungen der modernen klinischen Elektromyographie,“ in *s Klinische Neurophysiologie : Zeitschrift für Funktionsdiagnostik des Nervensystems ; EEG, EMG, MEP, Motorik, Elektronystagmographie, Kognitive Prozesse, Schlafstörungen*, Bd. 28(2), Stuttgart, New York, Georg-Thieme-Verlag, 1997, pp. 61-63.
- [4] R. J. Elble, „Characteristics of physiologic tremor in young and elderly adults,“ *Clinical Neurophysiology*, Bd. 114, Nr. 4, pp. 624-635, April 2003.
- [5] G. Deuschl, J. Raethjen, M. Lindemann und P. Krack, „The pathophysiology of tremor,“ *Muscle and Nerve*, Bd. 24, Nr. 6, pp. 716-735, Juni 2001.
- [6] R. M. P. Elble und G. M. P. Deuschl, „Milestones in Tremor Research,“ *Movement Disorders*, Bd. 26, Nr. 6, 2011.
- [7] IMPIRE AG, „VIS.TRACK GPS - Produktinformationen,“ IMPIRE AG, 2 Januar 2013. [Online]. Available: http://www.bundesliga-datenbank.de/fileadmin/impire/products/Produktinformationen/VT.GPS_-_Produktinformation.pdf. [Zugriff am 26 Februar 2014].
- [8] J. Cooley und J. Tucky, „An algorithm for the machine calculations of complex fourier series,“ *Math Computation*, Nr. 19, pp. 297-301, April 1965.
- [9] C. E. Shannon, „Communication In The Presence Of Noise - Proceedings of the IEEE,“ *IEEE*, 2 1998. [Online]. Available: <http://www.stanford.edu/class/ee104/shannonpaper.pdf>. [Zugriff am 18 6 2012].