

# Merkmale aus zweidimensionalen Orientierungshistogrammen zur Beurteilung von Tremorspiralen

Johannes-Martin Dolnitzki, Susanne Winter

Institut für Neuroinformatik, Ruhr-Universität Bochum  
Susanne.Winter@ini.ruhr-uni-bochum.de

**Kurzfassung.** Das Ausmaß von krankhaftem Tremor kann anhand einfacher Zeichentests, bei denen der Patient eine Spirale auf einem Blatt Papier zeichnet, beurteilt werden. In dieser Arbeit wurden zweidimensionale Orientierungshistogramme für solche Tremorzeichnungen erstellt. Die Untersuchung von Merkmalen, welche aus diesen Histogrammen berechnet wurden ergab, dass einige der Merkmale mit dem Schweregrad des Tremors korrelieren und somit eine Beurteilung des Tremors anhand dieser Merkmale möglich ist. Um das Verhalten der Merkmale systematisch untersuchen zu können, wurden zusätzlich künstliche Spiralbilder erzeugt, die Zeichnungen mit Tremor unterschiedlicher Amplitude und Frequenz simulieren.

## 1 Einleitung

Als Tremor wird das rhythmische Zittern von Muskelgruppen bezeichnet. Neben dem physiologischen Tremor gibt es auch krankhaftes Zittern, welches zum Beispiel bei der Parkinsonerkrankung auftritt. Die Diagnostik und Einteilung von Tremortypen und Schweregraden erfolgt klinisch anhand unterschiedlicher Methoden [1,2]. Dabei erfordern z. B. die Nutzung eines Digitizing Tablets [3] oder die Elektromyographie [4] das entsprechende Instrumentarium.

Eine wesentlich einfachere und kostengünstigere Methode ist ein Zeichentest, bei dem der Patient eine Spirale auf ein Blatt Papier zeichnet. Nach der Methode von Bain und Findley [1] wird die Stärke des Tremors anhand der Zeichnungen visuell beurteilt und in eine von 10 Stufen eingeteilt. Um eine automatische Auswertung zu ermöglichen wurden Methoden entwickelt, die auf digitalisierten Spiralzeichnungen eine automatische Analyse der Tremoramplitude vornehmen [5]. Dieses Verfahren erfordert allerdings eine automatische Verfolgung des Zeichengangs entlang der Spiralwindungen. Probleme ergeben sich bei dieser Methode, wenn der Tremor so stark ist, dass sich Überkreuzungen in den Linien ergeben, oder aber Lücken in der Zeichnung entstehen. In dieser Arbeit wurde daher einen Ansatz verfolgt, der unabhängig von diesen Störungen in der Lage ist, eine Beurteilung der Tremorstärke vorzunehmen. Dabei wird das Bild als Gesamtes verarbeitet ohne die Spiralwindungen berücksichtigen zu müssen.

## 2 Material und Methoden

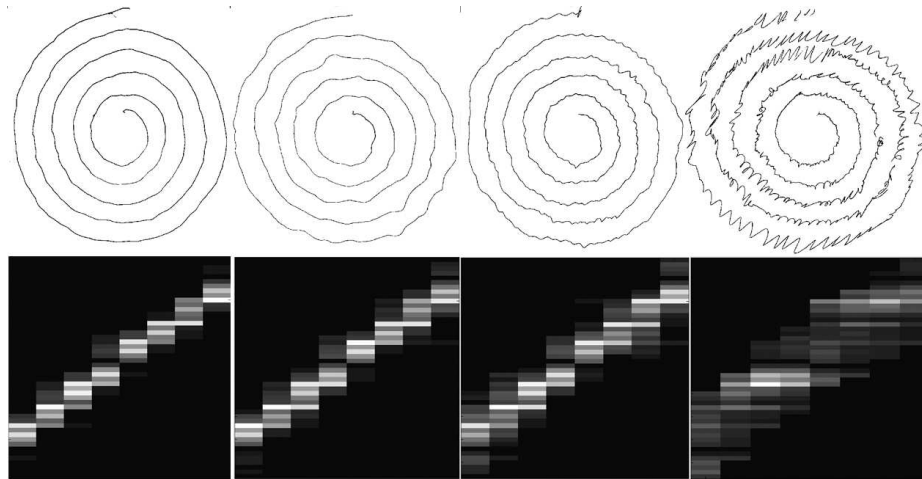
### Daten

Als Bilddaten lagen eine Reihe eingescannter Spiralzeichnungen von Patienten mit unterschiedlich ausgeprägtem Tremor vor. Die Verteilung der Daten bezüglich des Schweregrades des Tremors war sehr inhomogen, so dass eine Abbildung auf die von Bain und Findley [1] eingeführte Skala von 1 bis 10 nicht vorgenommen werden konnte. Die Zeichnungen wurden daher vier Gruppen verschiedener Schweregrade, mit einer Gruppengröße von jeweils 10, zugeordnet. Dabei entsprach die Gruppe 1 in etwa den Schweregraden 0 bis 2 der Skala von Bain und Findley, die Gruppe 2 den Schweregraden 3 bis 4, die Gruppe 3 den Schweregraden 5 bis 6 und die Gruppe 4 den Schweregraden 7 bis 9 (siehe Abb. 1, oben). Die Zeichnungen wurden nach einem Einscannvorgang in Form von Bitmap-Dateien in Schwarz/Weiß mit einer Auflösung von  $1664 \times 2338$  Pixeln gespeichert.

Zusätzlich wurden künstliche Spiralzeichnungen erstellt, indem eine archimedische Spirale mit einer Sinusschwingung überlagert wurde. Dies geschah unter der Annahme, dass die Winkelgeschwindigkeit der Spirale beim Zeichnen konstant ist und das resultierende Spiralbild von derselben Größe ist, wie eine Originalzeichnung.

### Zweidimensionales Orientierungshistogramm und Merkmale

Auf den Bildern wurde mit einer Sobelfilterung der Gradient und nachfolgend die Orientierung des Gradienten bestimmt. Es erfolgte eine Einteilung in 8 verschiedene Sektoren, in denen jeweils ein Histogramm über die verschiedenen Orientierung berechnet wurde (siehe Abb. 2). In jedem Sektor wurde die Orientierung



**Abb. 1.** Spiralzeichnungen und die dazugehörigen zweidimensionalen Orientierungshistogramme; Beispiele von links nach rechts für die Gruppen 1 bis 4

auf einen Bereich der Größe  $180^\circ$  abgebildet. Das Zentrum dieses Bereichs entsprach der mittleren Orientierung einer Spirale ohne Tremor, in dem jeweiligen Sektor. Die 8 Histogramme wurden zu einem 2D-Orientierungshistogramm zusammengefasst, auf dem nachfolgend Merkmale berechnet wurden.

Da unterschiedliche Ausprägungen der Abweichung der Werte von der Diagonalen im 2D-Orientierungshistogramm, abhängig vom Grad des Tremors, zu erwarten sind, wurden Merkmale erzeugt, die diese Verteilungen beschreiben. In Anlehnung an die Texturmerkmale Entropie, Energie, Kontrast und Homogenität, wie sie auf Cooccurrence Matrizen berechnet werden [6], wurden die im Folgenden dargestellten Merkmale gewählt. Dabei beschreibt  $H_{i,j}$  den normierten Histogrammeintrag.

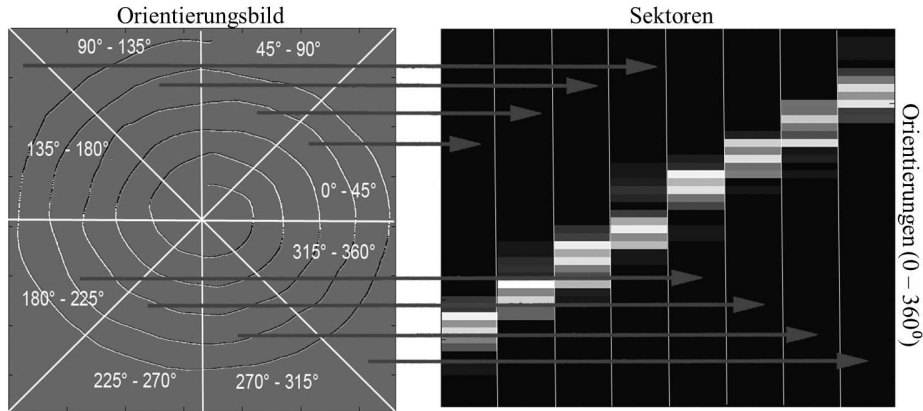
$$M_{\text{ERG}} = \sum_i \sum_j H_{i,j}^2$$

Die Energie  $M_{\text{ERG}}$  ist ein Maß, welches die Stärke der Konzentration auf wenige Werte beschreibt.

$$M_{\text{ENT}} = - \sum_i \sum_j H_{i,j} \cdot \log(H_{i,j})$$

Die Entropie  $M_{\text{ENT}}$  beschreibt den Informationsgehalt in einem Bild.

$$M_{\text{KON}} = \sum_i \sum_j |i - j| \cdot H_{i,j}^2$$



**Abb. 2.** Orientierungsbild einer Spiralzeichnung mit Aufteilung in 8 Sektoren (links) und der jeweiligen Zuordnung (Pfeile) zu den Spalten im 2D-Orientierungshistogramm (rechts); die Grauwerte im Orientierungshistogramm codieren die Häufigkeit der Orientierungen

Der Kontrast  $M_{\text{KON}}$  beschreibt, wie stark die Werte von der Hauptdiagonalen abweichen.

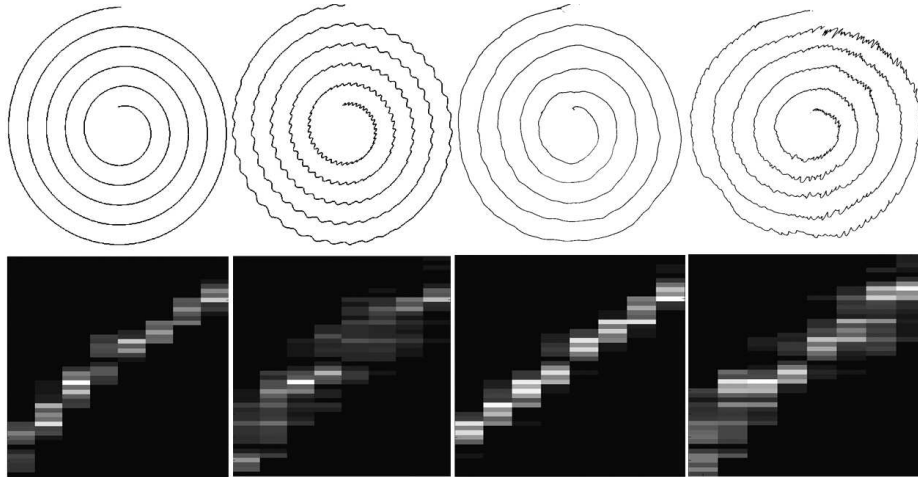
$$M_{\text{HOM}} = \sum_i \sum_j \frac{H_{i,j}}{1 + |i - j|}$$

Die Homogenität  $M_{\text{HOM}}$  ist am größten bei geringen Abweichungen der Werte von der Diagonalen.

### 3 Ergebnisse

Die Untersuchungen wurden einerseits auf den künstlichen Spiralen und andererseits auf den realen Zeichnungen von Patienten durchgeführt. In Abb. 1 sind vier Beispiele der verschiedenen Gruppen mit unterschiedlicher Tremorstärke und jeweils das dazugehörige zweidimensionale Orientierungshistogramm abgebildet. Abb. 3 zeigt im Vergleich zwei künstliche und zwei reale Spiralen mit unterschiedlicher Tremorstärke. Es ist zu erkennen, dass sich bei vorhandenem Tremor die Einträge im Histogramm stärker um die Hauptdiagonale streuen, je stärker der Tremor in den Zeichnungen ausgeprägt ist.

Anhand der Bilder mit den künstlichen Spiralen wurde untersucht, wie sich die einzelnen Merkmale bei Veränderung der Parameter Frequenz und Amplitude des Tremors darstellen. Bei gleichbleibender Amplitude von 4 mm wurde die Frequenz des Tremors von 0 Hz bis 80 Hz in Schritten von 20 Hz variiert. Die Amplitude wurde, bei einer Frequenz von 30 Hz, mit Schrittweiten von je 2 mm von 0 mm bis 8 mm verändert. Es zeigte sich, dass  $M_{\text{KON}}$  und  $M_{\text{ENT}}$  sowohl bei Erhöhung der Amplitude, als auch bei Erhöhung der Frequenz anstiegen. Im Gegenzug dazu nahmen  $M_{\text{ERG}}$  und  $M_{\text{HOM}}$  ab (siehe Tab. 1).



**Abb. 3.** Spiralzeichnungen und die dazugehörigen zweidimensionalen Orientierungshistogramme; links zwei künstlich erstellte Spiralen; rechts zwei reale Spiralen

**Tabelle 1.** Merkmale berechnet auf künstlichen Spiralen. Es wurde einmal die Frequenz des Tremors in 20 Hz Schritten erhöht (oben) mit einer festen Amplitude von 4 mm und einmal wurde die Amplitude des Tremors in 2 mm Schritten erhöht (unten) bei einer festen Frequenz von 30 Hz.

Merkmals \ Frequenz	0 Hz	20 Hz	40 Hz	60 Hz	80 Hz
$M_{\text{ERG}}$	0,026	0,022	0,019	0,018	0,017
$M_{\text{ENT}}$	1,69	1,80	1,88	1,92	1,94
$M_{\text{KON}}$	33,18	35,96	39,48	42,72	45,10
$M_{\text{HOM}}$	0,179	0,179	0,175	0,170	0,166

Merkmals \ Amplitude	0 mm	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm
$M_{\text{ERG}}$	0,026	0,024	0,021	0,020	0,019
$M_{\text{ENT}}$	1,69	1,75	1,84	1,88	1,90
$M_{\text{KON}}$	33,18	34,50	37,58	39,95	42,51
$M_{\text{HOM}}$	0,179	0,180	0,177	0,173	0,170

**Tabelle 2.** Mittelwerte und Standardabweichungen der Merkmale, berechnet auf verschiedenen Gruppen von Tremorspiralen mit unterschiedlicher Tremorstärke; Gruppe 1: kein bis wenig Tremor; Gruppe 4: starker Tremor

Merkmals \ Gruppe	1	2	3	4
$M_{\text{ERG}}$	0,025 ± 0,005	0,020 ± 0,001	0,015 ± 0,002	0,014 ± 0,003
$M_{\text{ENT}}$	1,69 ± 0,01	1,81 ± 0,03	1,94 ± 0,04	1,99 ± 0,06
$M_{\text{KON}}$	32,71 ± 0,41	35,28 ± 0,99	43,29 ± 3,95	52,31 ± 9,17
$M_{\text{HOM}}$	0,198 ± 0,003	0,205 ± 0,006	0,215 ± 0,018	0,206 ± 0,022

In Tab. 2 sind die Merkmale auf realen Spiralzeichnungen bezüglich der Gruppen verschiedener Tremorstärken dargestellt. Die Merkmale  $M_{\text{ERG}}$ ,  $M_{\text{ENT}}$  und  $M_{\text{KON}}$  zeigten ein ähnliches Verhalten wie bei den künstlichen Spiralen. Alle Unterschiede dieser drei Merkmale zwischen den Gruppen, mit Ausnahme des Merkmals  $M_{\text{KON}}$  zwischen den Gruppen 3 und 4, waren signifikant (Welch-Test,  $p \leq 0,05$ ).  $M_{\text{HOM}}$  zeigte in der Tendenz, im Gegensatz zu den Ergebnissen bezüglich der künstlichen Spiralen, einen Anstieg für höhere Kategorien. Diese Unterschiede waren allerdings nicht signifikant.

## 4 Diskussion und Ausblick

Die erstellten künstlichen Spiralen eigneten sich sehr gut dazu, echte Spiralen mit Tremor unterschiedlicher Stärke nachzubilden, um darauf die Güte von Merkmalen auf ihre Eignung bezüglich der Beurteilung des Tremors zu evaluieren. Die auf den künstlichen und den realen Bildern berechneten zweidimensionalen Histogramme zeigen große Ähnlichkeiten.

Bei den Merkmalen, die auf den 2D-Orientierungshistogrammen von künstlichen Spiralen gerechnet wurden, fiel  $M_{\text{ERG}}$  mit wachsendem Tremor (wachsender Frequenz oder Amplitude) wie erwartet ab, da sich die Werte weniger stark auf die Diagonale konzentrierten. Die Entropie  $M_{\text{ERG}}$  stieg bei stärkerem Tremor an, da durch die stärker werdende Unordnung im Bild der Informationsgehalt geringer wurde. Ebenfalls stieg  $M_{\text{KON}}$  an, da sich der Kontrast bezüglich der Orientierungen der Kanten in den Bildern erhöhte. Aus demselben Grund nahm die Homogenität  $M_{\text{HOM}}$  ab.

Die Ergebnisse auf den realen Spiralbildern zeigten einen ähnlichen Verlauf wie die der künstlichen Spiralen. Das Merkmal der Homogenität  $M_{\text{HOM}}$  lieferte hier keine zur Unterscheidung des Tremorgrades geeigneten Ergebnisse, aber die drei anderen Merkmale zeigten zwischen allen Gruppen signifikante Unterschiede. Auch wenn diese Merkmale alleine noch keine lineare Klassifikation zulassen, so erscheinen sie doch geeignet die Ausprägung eines Tremors abzubilden.

Die Berechnung der hier vorgestellten Merkmale war störungsfrei auf allen Spiralbildern möglich. Die Ergebnisse erscheinen bezüglich der Beurteilung der Tremorstärke nutzbringend, unabhängig davon, ob die Bilder Störungen, wie Unterbrechungen in den Zeichnungen oder Überschneidungen benachbarter Spiralgänge, aufwiesen.

Abschließend lässt sich sagen, dass mit der Methode der Merkmalsberechnung auf 2D-Orientierungshistogrammen eine Möglichkeit gefunden wurde, automatisch das Ausmaß eines Tremors in Spiralzeichnungen zu beurteilen, ohne zuvor ein störungsanfälliges Abwickeln der Spirale durchführen zu müssen. Gegenstand weiterer Forschung wird es sein, eine automatische Klassifikation anhand von Merkmalskombinationen zu untersuchen.

*Danksagung* Wir bedanken uns bei PH Kraus, Abteilung Neurologie des St. Josef-Hospitals in Bochum, für die freundliche Überlassung der Bilder.

## Literaturverzeichnis

1. Bain PG, Findley LJ. Assessing Tremor Severity: A Clinical Handbook. Smith-Gordon, London; 1993.
2. Bain PG, Findley LJ, Atchison P, Behari M, Vidailhet M, Gresty M, et al. Assessing Tremor Severity. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 1993;56:868–73.
3. Pullman SL. Spiral Analysis: A New Technique for Measuring Tremor With a Digitizing Tablet. *Movement Disorders*. 1998;13(Supplement 3):85–89.
4. Milanov I. Electromyographic differentiation of tremors. *Clinical Neurophysiology*. 2001;112(9):1626–1632.
5. Kraus PH, Hoffmann A. Spiralometry: Computerized Assessment of Tremor Amplitude on the Basis of Spiral Drawing. *Movement Disorders*. 2010;25(13):2164–2170.
6. Haralick RM, Shapiro LG. *Computer and Robot Vision*. Addison Wesley Verlag; 1993.