

Begreifen

Wie unabhängig arbeiten unsere Finger wirklich?

Anna Schwendicke*¹, Hans Winger*², Florian Wieczorek*², M. Ercan Altinsoy*¹

*Zentrum für taktiles Internet mit Mensch-Maschine-Interaktion (CeTI) und auch

¹Lehrstuhl für Akustik und Haptik, TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, Email: anna.schwendicke@tu-dresden.de

²Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM), TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland

Einleitung

Die menschliche Hand erlaubt Bewegungen mit vielen Freiheitsgraden. Je nach Detailtreue werden in Modellen für Avatare zwischen 21-27 Freiheitsgrade (DoF *degrees of freedom*) modelliert: vier in jedem Finger (drei für Streckung/Beugung und einer für Abspreizen/Heranführen), fünf DoF im Daumen, sechs DoF für die Rotation und Translation des Handgelenkes [1]. Dennoch bewegen sich die Finger im Allgemeinen nicht komplett unabhängig, sondern in vielen alltäglichen Situationen synchron. Diese Korrelation kann für haptische Codecs ausgenutzt werden.

Die Task Group IEEE P1918.1.1 [2] (auch bekannt als Haptic Codecs Task Group (HCTG)) arbeitet derzeit an der Standardisierung der ersten Generation von haptischen Codecs für das taktile Internet. Wie auch bei auditiven Codecs sollen die Grenzen der menschlichen Wahrnehmung für eine effiziente Wahrnehmungskodierung von kinästhetischen und taktilen Informationen ausgenutzt werden [3]. Während die ersten Version des Codecs sich hauptsächlich auf einen *single point of contact* konzentriert, wird die zukünftige Erweiterung auf mehrere Kontaktpunkte angestrebt. In diesem Zusammenhang können auch Gemeinsamkeiten zwischen den Fingern ausgenutzt werden. Anstatt die taktilen Daten für jeden Finger getrennt zu kodieren und die Daten zu übermitteln, können Korrelationseffekte zwischen den Fingern genutzt werden um die Gesamtdatenmenge zu reduzieren.

In diesem Paper soll die Korrelation für verschiedene Bewegungsmuster über größere Bewegungsabläufe verglichen werden.

Datenhandschuhe

In dieser Studie werden zwei verschiedene, an der Technischen Universität Dresden (TUD) entwickelte Datenhandschuhprototypen eingesetzt. Abbildung zeigt beide Handschuhe nebeneinander. Der prinzipielle Aufbau beider Handschuhe sowie ihrer Auswertungs elektronik ist gleich. Sie unterscheiden sich in der Ausführung der resistiven Sensoren und der entsprechenden elektrischen Widerstände zum Auslesen der analogen Werte. Bei beiden Handschuhe befinden sich die Sensoren an der Oberseite der Finger. Mit veränderter Beugung, ändert sich entsprechend der elektrische Widerstand des Sensors und kann mit Hilfe eines Mikrocontrollers ausgelesen werden.

Vor der Durchführung der Versuche wird der Handschuh für jede Versuchsperson individuell kalibriert. Die Ver-



Abbildung 1: Beide getesteten Handschuhe im Vergleich. Links Handschuh 1 mit handelsüblichen Flexsensoren, rechts Handschuh 2 mit direkt eingestrickten Sensorgarnen.

suchsperson wird gebeten den Handschuh fest anzuziehen, einmal eine geschlossene Faust zu machen, sowie einmal die Finger komplett zu strecken. Mit Hilfe dieser Werte kann die Biegung prozentual zwischen 0 (Hand offen) und 100 Hand komplett geschlossen, ermittelt werden.

Handschuh 1 verwendet konventionelle 4,5 Zoll SparkFun Flex-Sensoren, im Gegensatz dazu sind im CeTI-Handschuh keine diskreten Sensoren an einem Handschuh angebracht. Stattdessen wurden bei der Herstellung des Handschuhs textile Sensoren direkt in die Finger des Handschuhs stricktechnisch integriert, was eine gute Präzision, eine optimale Passform und einen hohen Tragekomfort ermöglicht.

Die gesamte Sensorhandschuhtechnologie ist prinzipiell auf völlig andere Layouts übertragbar und soll in modifizierter Form auch in anderen CeTI-Teilprojekten eingesetzt werden.

Diese Studie verfolgt zwei Ziele. Zum einen soll für verschiedene Alltagssituationen die Korrelation der Bewegungen aller Finger der Hand miteinander evaluiert werden. Zum anderen soll die Leistung direkt eingestrickter Sensoren mit der konventioneller verglichen werden.

Bewegungsmuster

Mit beiden Handschuhe wurden wurden Bewegungsabläufe verschiedener Alltagssituationen aufgenommen und ausgewertet:

- (a) mehrfaches Greifen eines großen Bechers ohne Henkel
 (b) mehrfaches Greifen eines Bechers am Henkel
 (c) Tastaturschreiben:
 "Hannover klingt - 50 Jahre DAGA."
 (d) Tonleiter: Auf einer ausgedruckten Tastatur wird eine C-Dur Tonleiter zweimal auf und ab mit dem Fingersatz 1-2-3-1-2-3-4-5 „gespielt“.

Ergebnisse und Diskussion

Die einzelnen Stimuli wurden bewusst so gewählt, dass sowohl hohe Korrelationen zwischen den einzelnen Fingern (a,b), als auch eher niedrige (c,d) zu erwarten waren.

Handschuh 1 - diskrete Flexsensoren

Tabelle 1 stellt die Korrelation für verschiedene Bewegungsabläufe dar, die entsprechenden Plots über die Zeit, sind in Abbildung 2 zu sehen. Beide Greifbewegungen wurden mehrfach hintereinander ausgeführt. In den linken beiden Panels sind diese fünf Wiederholungen für beide Greifbewegungen deutlich zu erkennen. Die Beugung von Zeigefinger bis zum kleinen Finger sind für das Greifen der Tasse größer, da die Finger direkt in den Henkel greifen und sich entsprechend enger schließen, als bei dem Umfassen einer Flasche. Dafür ist die Bewe-

gung des Daumens im zweiten Panel deutlich geringer als die der restlichen Finger, da dieser die Tasse auf dem Henkel stabilisiert bzw. ausbalanciert. Diese Differenz ist auch in den Korrelationskoeffizienten ablesbar. Während in Tabelle 2a alle Korrelationskoeffizienten größer als 0,8 sind, sieht man eine deutlich geringere Korrelation zwischen dem Daumen und den restlichen Fingern in Tabelle 2b. Der Korrelationskoeffizient zwischen Daumen und den restlichen Fingern schwankt zwischen 0,26 und 0,39, während die restlichen Finger untereinander Korrelationskoeffizienten über 0,8 aufweisen.

Das dritte Panel der Abbildung 2 zeigt das Schreiben des Textes „50 Jahre DAGA - Hannover klingt.“ im 10-Finger-System. Die einzelnen Finger bewegen sie weitgehend unabhängig von einander. Dies ist auch in den Korrelationskoeffizienten zwischen den Fingern zu erkennen. Mit Ausnahme des Korrelationskoeffizienten zwischen Mittel- und Ringfinger sind alle Koeffizienten nahe null. Die größere Unabhängigkeit des kleinen Fingers vom Ringfinger ist auch durch die Auswahl des Textes begründet, der kleine Finger bedient die Umschalttaste über längere Zeit beim Schreiben des Akronymes "DAGA". Betrachtet man die Aufnahme der Tonleiter in Panel 4 der Abbildung 2 an, erkennt man die einzelnen Tastenanschläge und kann auch den Fingersatz identifizie-

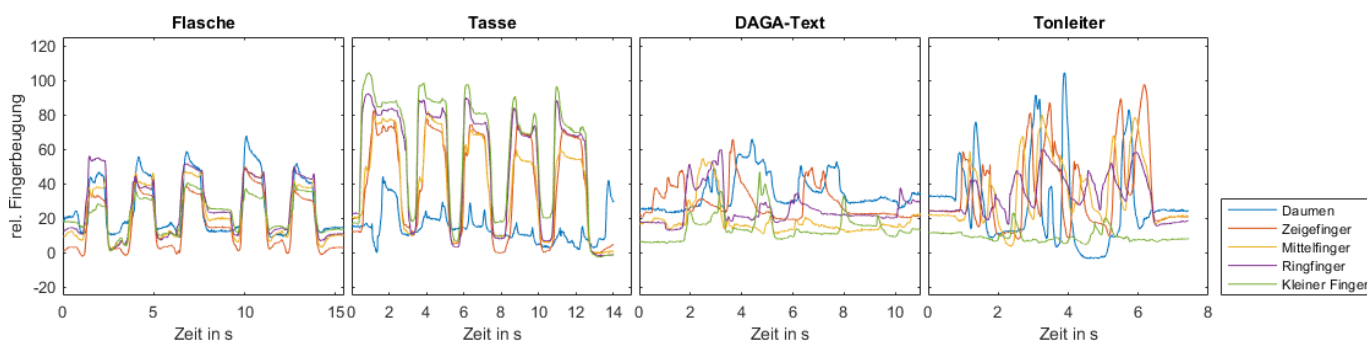


Abbildung 2: Zeitliche Aufnahme aller Finger für verschiedene Bewegungen mit Handschuh 1

Tabelle 1: Exemplarische Korrelationskoeffizienten für verschiedene Szenarien, aufgenommen mit Handschuh 1; D: Daumen, Z: Zeigefinger, M: Mittelfinger, R: Ringfinger, K: kleiner Finger

	D	Z	M	R	K
D	1,00	0,89	0,87	0,83	0,77
Z	0,89	1,00	0,96	0,92	0,87
M	0,87	0,96	1,00	0,95	0,91
R	0,83	0,92	0,95	1,00	0,88
K	0,77	0,87	0,91	0,88	1,00

(a) Flasche greifen

	D	Z	M	R	K
D	1,00	0,32	0,39	0,28	0,26
Z	0,32	1,00	0,97	0,87	0,84
M	0,39	0,97	1,00	0,91	0,89
R	0,28	0,87	0,91	1,00	0,99
K	0,26	0,84	0,89	0,99	1,00

(b) Tasse am Henkel greifen

	D	Z	M	R	K
D	1,00	0,18	0,00	0,07	0,35
Z	0,18	1,00	0,03	-0,20	-0,24
M	0,00	0,03	1,00	0,74	0,18
R	0,07	-0,20	0,74	1,00	0,51
K	0,35	-0,24	0,18	0,51	1,00

(c) Tastaturschreiben

	D	Z	M	R	K
D	1,00	-0,01	0,08	-0,02	-0,24
Z	-0,01	1,00	0,47	0,38	-0,35
M	0,08	0,47	1,00	0,83	-0,32
R	-0,02	0,38	0,83	1,00	0,05
K	-0,24	-0,35	-0,32	0,05	1,00

(d) Tonleiter spielen

ren. Wie auch beim Tastaturschreiben gibt es eine relativ hohe Korrelation zwischen der Bewegung des Mittel- und Ringfingers, während die sich anderen Finger annähernd unabhängig voneinander bewegen.

Handschuh 2 - integrierte Sensoren

Abbildung 3 zeigt die Aufnahmen von verschiedenen Bewegungsabläufen für den Handschuh mit eingearbeiteten textilen Sensorgarnen, Tabelle 2 die dazugehörigen Korrelationskoeffizienten. Der Ringfinger ist auf Grund eines Kontaktierungsproblems des getesteten Prototypen aus der Auswertung ausgenommen.

Generell können die einzelnen Bewegungen auch mit den gestrickten Sensoren gut identifiziert werden. Die kleineren absoluten Widerstandsänderungen aufgrund der Sensortechnologie führen zu einer etwas geringeren Auflösung der Fingerkrümmung, sowie zu leichtem Rauschen. Dies wird durch einen gleitenden Mittelwert über mehrere Messwerte bereinigt.

Für eine gute Erkennung der Fingerkrümmung ist der feste Sitz des Handschuhs nötig. Während die kalibrierten Werte in Abbildung 3 über alle vier Szenarien konsistent sind, sind sie teilweise deutlich außerhalb des Zahlenraums von 0 bis 100. Der Sitz des Handschuhes hat sich nach der Kalibrierung noch einmal leicht verändert und bevor die ausgelesenen Werte stabil geblieben sind.

Vor allem für das Greifen einer Tasse am Henkel stimmen die Korrelationskoeffizienten mit denen des Handschuhes 1 gut überein. Für das Greifen der Flasche sind die Korrelationskoeffizienten nicht ganz so groß wie die Vergleichswerte. Das liegt zum Teil daran, dass der Handschuh sich nach dem festen Anziehen vor Beginn der Messungen, während der Greifbewegungen, noch einmal leicht bewegt hat und erst danach gleichbleibende Werte liefert. Wie auch der Handschuh mit diskreten Flexsensoren sind die Bewegungen der einzelnen Finger für das Tastaturschreiben und Tonleiterspielen kaum korreliert.

Zusammenfassung

Gerade für einfache Greifbewegungen, wie das Fassen einer Flasche oder Tasse am Henkel, besteht eine hohe Korrelation zwischen den einzelnen Fingern über den gesamten Bewegungsablauf hinweg, welche für zukünftige Codecs genutzt werden kann. Für komplexere Bewegungsmuster, wie das Tastatur Schreiben von ganzen Sätzen oder das Klavier Spielen, lassen sich trotz der großen Unabhängigkeit der Finger auch über den gesamten Bewegungsablauf relative hohe Korrelationen einzelner Finger, insbesondere in Kombination mit dem Ringfinger nachweisen. Für die Nutzung von gleichartigen, komplexeren Bewegungen für Codecs ist in diesem Fall jedoch die Betrachtung kleinerer Zeiteinheiten statt größerer Bewegungseinheiten notwendig.

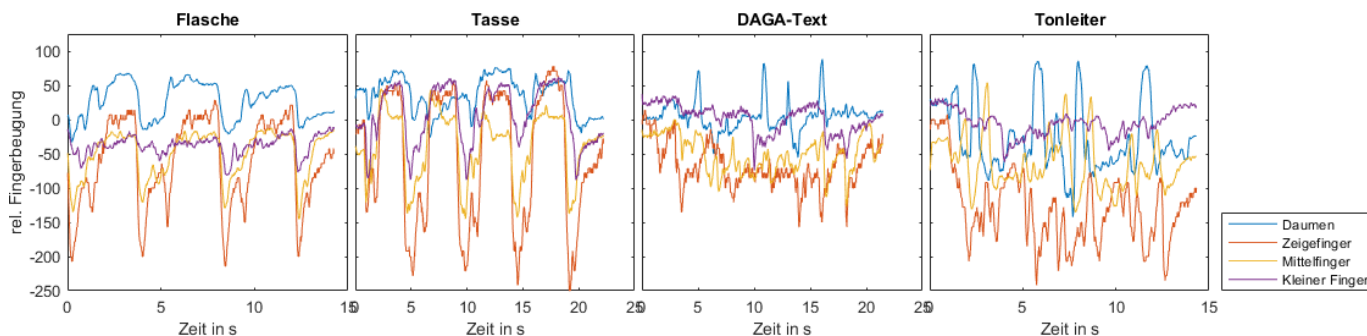


Abbildung 3: Zeitliche Aufnahme für verschiedene Bewegungen mit Handschuh 2

Tabelle 2: Exemplarische Korrelationskoeffizienten für verschiedene Szenarien, aufgenommen mit Handschuh 2; D: Daumen, Z: Zeigefinger, M: Mittelfinger, K: kleiner Finger

	D	Z	M	K
D	1,00	0,80	0,79	0,50
Z	0,80	1,00	0,90	0,62
M	0,79	0,90	1,00	0,74
K	0,50	0,62	0,74	1,00

(a) Flasche greifen

	D	Z	M	K
D	1,00	0,35	0,13	0,51
Z	0,35	1,00	0,90	0,82
M	0,13	0,90	1,00	0,75
K	0,51	0,82	0,75	1,00

(b) Tasse am Henkel greifen

	D	Z	M	K
D	1,00	-0,06	0,37	-0,07
Z	-0,06	1,00	0,40	0,31
M	0,37	0,40	1,00	0,55
K	-0,07	0,31	0,55	1,00

(c) Tastaturschreiben

	D	Z	M	K
D	1,00	0,12	-0,19	0,14
Z	0,12	1,00	0,26	0,18
M	-0,19	0,26	1,00	0,31
K	0,14	0,18	0,31	1,00

(d) Tonleiter spielen

Integrierte, gestrickte Flexsensoren bieten eine gute Möglichkeit die Beugung einzelnen Finger detektieren zu können, ohne zusätzliche Sensoren außen auf einem Handschuh anbringen zu müssen. Die Kalibrierung und absolute Bestimmung der Beugung kann in der Zukunft mit Hilfe intelligenter Algorithmen, auch unter Verwendung von künstlicher Intelligenz, noch präziser werden. Dann bieten sie eine sehr gute Möglichkeit bei audio-taktilen Experimenten Daten zu erheben, ohne die Versuchspersonen durch externe Sensoren in der Bewegungsfreiheit einzuschränken.

Danksagung

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC 2050/1 – Projektnummer 390696704 – als Exzellenzcluster „Centre for Tactile Internet with Human-in-the-Loop“ (CeTI) der Technischen

Universität Dresden.

Literatur

- [1] ELKOURA, G. ; SINGH, K. : Handrix: animating the human hand. In: *Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation* Eurographics Association, 2003, S. 110–119
- [2] IEEE: *The IEEE Haptic Codecs for the Tactile Internet Standards Task Group (IEEE 1918.1.1)*. Dec. 2017
- [3] STEINBACH, E. ; STRESE, M. ; EID, M. ; LIU, X. ; BHARDWAJ, A. ; LIU, Q. ; AL-JA'AFREH, M. ; MAHMOODI, T. ; HASSEN, R. ; EL SADDIK, A. u. a.: Haptic codecs for the tactile internet. In: *Proceedings of the IEEE* 107 (2018), Nr. 2, S. 447–470