

## **Eignet sich der Leap Motion Controller als Mausersatz? Evaluation eines neuen kontaktfreien Interaktionssystems**

Gerhard RINKENAUER<sup>1</sup>, Daniel BACHMANN<sup>2</sup>, Frank WEICHERT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund*

*Ardeystr. 67, D-44139 Dortmund*

<sup>2</sup> *Informatik VII, TU Dortmund*

*Otto-Hahn-Str. 16, D-44227 Dortmund*

**Kurzfassung:** Der Leap Motion Controller (LMC) ist ein neues kontaktfreies Eingabesystem für die gestenbasierte Interaktion. Die 3D-Positionen der Handflächen und Fingerspitzen beider Hände können mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung erfasst werden. Diese Studie überprüft inwieweit Zeige- und Klickbewegungen mit dem LMC durchgeführt werden können. Mithilfe des Fitts'schen Paradigmas wurde die Leistungsfähigkeit der Nutzer bei der Interaktion mit LMC und Computermouse verglichen. Es zeigt sich, dass Fehlerrate und Bewegungsdauer mit dem LMC höher sind als bei der Maus, dementsprechend werden auch niedrigere Informationsdurchsätze für den LMC gefunden. Die Evaluierungen legen nahe, dass die Maus für die Ausführung alltäglicher Interaktionsaufgaben nicht durch den LMC ersetzt werden kann. Der LMC bietet jedoch in Ergänzung zur Maus die Möglichkeit der dreidimensionalen Interaktion und erweitert somit das Interaktionsspektrum bedeutend.

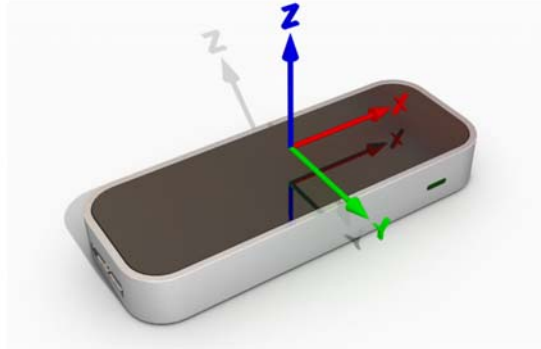
**Schlüsselwörter:** Gestenbasierte Interaktion, Mensch-Computer-Interaktion, Leap Motion Controller, Fitts'sches Paradigma

### **1. Einleitung**

Die Qualität der Mensch-Computer-Interaktion (MCI) wird sehr stark durch die verwendeten Interaktionssysteme determiniert. Neben den klassischen Interaktionssystemen wie beispielsweise Maus, Trackball und Joystick etablieren sich zunehmend kontaktfreie Systeme, welche auch die Detektion von dreidimensionalen (3D) Bewegungsmustern und Gesten erlauben. Diese erweiterten Eigenschaften stellen allerdings auch zusätzliche Anforderungen an die sensomotorischen Fähigkeiten des Nutzers.

In der vorliegenden Studie wird der Least Motion Controller (LMC) als neues kontaktfreies Interaktionssystem untersucht. Der LMC (Abb. 1) verwendet ein neuartiges Gesten- und 3D-Positionsverfolgungssystem, das erlaubt, die Finger und Handflächen beider Hände zu erkennen und mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu verfolgen. Der LMC wurde primär für interaktive Softwareapplikationen entworfen und erlaubt, im Unterschied zu Multitouchlösungen, beispielsweise die direkte Interaktion mit 3D-Objekten von stereoskopischen Darstellungen. Durchgeführte Untersuchungen in realistischen Szenarien zeigen, dass die räumliche Genauigkeit für statische Szenarien unter 0.2 mm und für dynamische Szenarien unter 0.4 mm liegt (Weichert et al., 2013). Unklar ist bisher allerdings, inwieweit der Nutzer von dieser hohen räumlichen Genauigkeit bei der Ausführung alltäglicher

Zielbewegungen und Selektionsaufgaben profitieren kann. Untersuchungen mit früheren 3D-Interaktionssystemen zeigen, dass die Nutzer bei solchen Aufgaben mit der Standardmaus üblicherweise leistungsfähiger sind als mit den 3D-Zeigegeräten (für eine Übersicht siehe z. B. Bachmann et al., 2015). Es bedarf jedoch noch weiterer empirischer Untersuchungen, um zu klären, in welchem Ausmaß sich die Leistungsfähigkeit des Nutzers in Bezug auf LMC und Maus unterscheidet.



**Abbildung 1:** 3D-Modell eines Leap Motion Controllers mit räumlichen Achsen (Bachmann, 2015).

## 2. Methode

Zur Identifikation der MCI-assozierten Leistungsunterschiede zwischen Maus und LMC erfolgte eine Untersuchung auf Basis des Fitts'schen Paradigmas.

### 2.1 Fitts'sches Gesetz

Zur Charakterisierung der Leistungsfähigkeit wird sehr häufig das Fitts'sche Gesetz verwendet. Dieses beschreibt den Zusammenhang zwischen Bewegungszeit, Weite und Genauigkeit einfacher Zielbewegungen. Danach ist die Bewegungszeit (*MT*: Movement Time) eine lineare Funktion des logarithmierten Verhältnisses von Distanz (*D*) und Weite (*W*) des Ziels. Dieses Verhältnis wird auch als Schwierigkeitsindex (*ID*: Index of Difficulty) bezeichnet. Für die vorliegenden Analysen wurde zur Vorhersage der Bewegungszeit die etablierte Definition des *ID* von Shannon (MacKenzie, 1992) genutzt - die Bewegungszeit *MT* ergibt sich daher gemäß:

$$MT = a + b \times ID = a + b \times \log_2 \left( \frac{D}{W} + 1 \right). \quad (1)$$

Zentral für die aktuelle Studie ist Fitts Vorschlag zur Quantifizierung der Informationsrate von menschlichen Zielbewegungen. Der Informationsdurchsatz (*TP*: ThroughPut) kann als Leistungsindex für Zielbewegungen verwendet werden. Er bietet dadurch die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit von Nutzern beim Umgang mit verschiedenen Interaktionssystemen zu beurteilen. *TP* (Einheit Bits / s bzw. bps) ist durch das Verhältnis von effektivem Schwierigkeitsindex  $ID_e$  und der Bewegungszeit *MT* definiert:

$$TP = \frac{ID_e}{MT}. \quad (2)$$

Bei der Verwendung von  $ID_e$  wird nicht die vorgegebene fixe Zielweite, sondern die Variabilität um den Bewegungsendpunkt (effektive Zielweite  $W_e$ ) berücksichtigt:

$$ID_e = \log_2 \left( \frac{D}{W_e} + 1 \right). \quad (3)$$

Die effektive Zielweite  $W_e$  wird aus der Standardabweichung  $SD_x$  der Zielkoordinaten berechnet (vergl. Soukoreff & MacKenzie, 2004):

$$W_e = 4.133 \times SD_x. \quad (4)$$

Die Analyse des  $TP$  in Abhängigkeit der im Experiment vorgegebenen Schwierigkeitsgrade ( $ID_s$ ) wird in dieser Studie verwendet, um den maximal möglichen Durchsatz eines Interaktionssystems zu ermitteln.

## 2.2 Versuchsteilnehmer

An einer ca. 1.5 stündigen Untersuchung nahmen 10 rechtshändige Probanden (6 weiblich) in einem mittleren Alter von 25.3 Jahren ( $SD = 4.2$  Jahre) teil, die mit 15 € vergütet wurde. Für die Untersuchungen wurde die sogenannte reziproke Tapping-Aufgabe verwendet, wie sie auch ursprünglich von Fitts eingesetzt wurde. Die Probanden wurden hierzu instruiert sowohl mit dem LMC als auch mit der Maus den Cursor möglichst schnell zwischen zwei Zielfeldern hin und her zu bewegen (vgl. Abb. 2). Distanz und Weite der Zielfelder wurden entsprechend der verwendeten Schwierigkeitsindizes angepasst.

## 2.3 Versuchsaufbau

Der Versuch fand in einem normal beleuchteten Raum statt. Die Distanz zwischen Proband und Monitor (22“, Auflösung 1680x1280 Pixel) betrug ca. 70 cm. Die verwendeten Interaktionssysteme waren eine Computermouse (Logitech, Model RX 250) und ein LMC (Fa. Leap Motion, <http://www.leapmotion.com>). Beide Systeme wurden so adjustiert, dass der Weg des Cursors auf dem Monitor der zurückgelegten Distanz der Hand entsprach. Die Maus- und LMC-Interaktionen wurden mit aufgelegtem Unterarm bzw. aufgestütztem Ellbogen auf der rechten Seite des Monitors ausgeführt (Abb. 2). Da keine der Versuchspersonen mit dem LMC vertraut war, wurde vor dem eigentlichen Experiment ein kurzes Training angeboten. Hierzu sollten die Probanden zufällig auf dem Bildschirm dargebotene Scheiben anklicken. Klickbewegungen mit der LMC wurden ähnlich wie die der Maus durchgeführt, indem der Zeigefinger kurz nach unten beschleunigt wurde. Nach diesem Training begann die eigentliche Experimentalsitzung, in der auch für beide Interaktionssysteme ein kurzes Training im Hinblick auf die reziproken Tappingaufgaben angeboten wurde.

## 2.4 Design und Analyse

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Nutzern mit dem LMC wurden die Faktoren zum Eingabegerät (Maus, LMC) und Schwierigkeit ( $ID \in \{1.0, 2.3, 4.1\}$ ) systematisch variiert. Die Schwierigkeitsindizes ergaben sich aus drei unterschiedlichen Kombinationen von Zieldistanz und -weite (40 vs. 40 mm, 80 vs. 20 mm und 160 vs. 10 mm). Die Experimentalsitzung bestand aus drei Blöcken.

Innerhalb eines Blocks wurden die sechs Faktorenkombinationen dreimal wiederholt. Beide Faktoren wurden geblockt dargeboten und die Abfolge der Faktorenkombinationen mithilfe eines Lateinischen Quadrats über die Versuchspersonen hinweg balanciert. Die abhängigen Variablen Fehlerrate, Bewegungszeit und Informationsdurchsatz wurden mithilfe von Varianzanalysen analysiert. Für post-hoc-Vergleiche wurden Fishers LSD-Test (Least Significant Differences) eingesetzt.

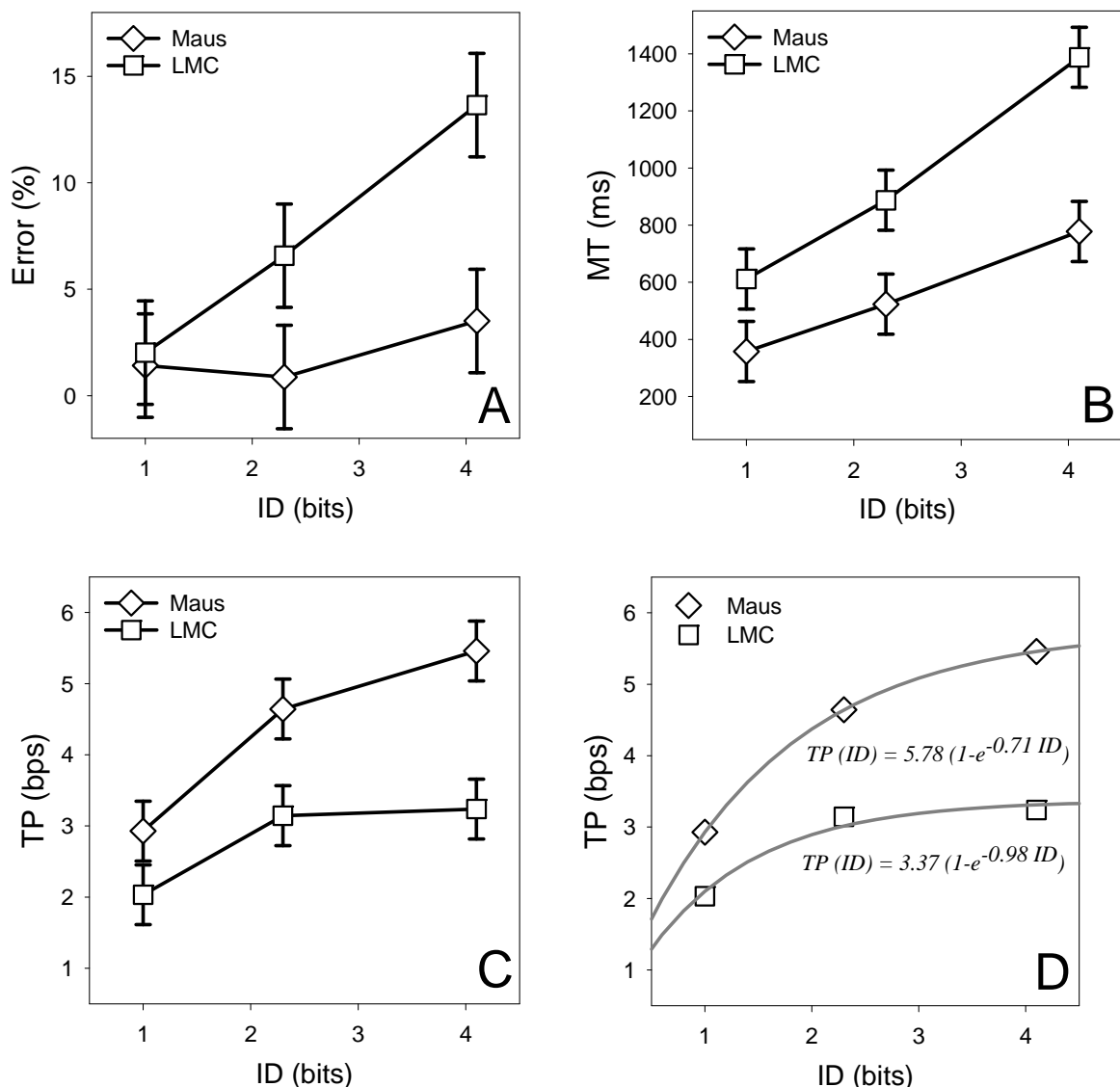


**Abbildung 2:** Versuchsaufbau für Interaktion mit der Maus (A) und Interaktion mit dem LMC (B).

### 3. Ergebnisse

Wie erwartet zeigen sich bei der Interaktion mit dem LMC höhere Fehlerraten als mit der Maus (7.4% vs. 1.9%,  $F(1,9) = 39.7$ ,  $p < .001$ ). Dies bedeutet, dass mit dem LMC über dreimal so viele Zielbewegungen fehlerhaft ausgeführt wurden als mit der Maus. Abbildung 3A) demonstriert, dass sich die Fehlerraten beider Interaktionssysteme in der einfachsten Schwierigkeitsbedingung nicht unterscheiden ( $p > .06$ ), jedoch die Fehlerrate beim LMC mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad wesentlich stärker ansteigt als bei der Maus,  $F(2,18) = 10.0$ ,  $p < .01$ . Für die Mausinteraktion zeigt sich nur bei dem höchsten Schwierigkeitsgrad ein signifikanter Anstieg in der Fehlerrate (2.2%) im Vergleich zu den niedrigen Schwierigkeitsbedingungen ( $p < .01$ ). Analog zu den Fehlerraten zeigen sich im Mittel längere Bewegungszeiten bei dem LMC als bei der Maus (962 ms vs. 553 ms,  $F(1,9) = 48.5$ ,  $p < .001$ ), und die Bewegungszeiten steigen mit zunehmendem ID für den LMC stärker an als für die Maus,  $F(2,18) = 7.5$ ,  $p < .01$  (Abb. 3B). Als wichtigster ergonomischer Indikator ist in Abbildung 3C) der Durchsatz (TP) für beide Interaktionssysteme in Abhängigkeit von ID dargestellt. Hier ist ein generell höherer Durchsatz für die Interaktion mit der Maus im Vergleich zum LMC,  $F(1,9) = 70.3$ ,  $p < .001$  sichtbar. Darüber hinaus zeigt sich für die Maus ein stärkerer Anstieg in Abhängigkeit von ID als beim LMC,  $F(2,18) = 11.0$ ,  $p < .01$ . Während sich bei der Maus der Durchsatz zwischen allen Schwierigkeitsgraden unterscheidet ( $p < .001$ ) findet sich beim LMC nur ein signifikanter Unterschied zwischen der ersten und zweiten Schwierigkeitsstufe (2.0 vs. 3.1 bps,  $p < .001$ ) aber kein Unterschied zwischen der zweiten und dritten Stufe (3.1 vs. 3.2 bps,  $p > .6$ ). Dieser Sättigungseffekt spricht dafür, dass in der gegebenen Untersuchungsumgebung mit

dem LMC keine höheren Schwierigkeitsgrade als  $ID = 2.3$  Bits bewältigt werden können. Allerdings vermittelt sich auch bei der Maus eine Tendenz zur Sättigung. Um den maximalen Durchsatz beider Interaktionssysteme abschätzen zu können, wurden an die Gesamtmittelwerte beider Systeme  $e$ -Funktionen angepasst (siehe Abb. 3D)). Die Asymptoten der Modellanpassungen weisen darauf hin, dass der theoretisch maximale Durchsatz der Maus bei 5.78 bps, der maximale Durchsatz des LMC jedoch nur bei 3.37 bps liegt. Die in der aktuellen Studie gefundenen Informationsdurchsätze für die Maus entsprechen den in der Literatur berichteten Werten zu früheren Untersuchungen mit dem Fitts'schen Paradigma (z. B. MacKenzie & Jusoh, 2001; MacKenzie et al., 2001; Isokoski et al., 2002).



**Abbildung 3:** (A): Fehlerrate (Error) in Abhängigkeit von Schwierigkeitsindex (ID) und Interaktionssystem (Maus vs. LMC). (B): Bewegungszeit (MT) in Abhängigkeit von ID und Interaktionssystem. (C): Durchsatz (TP) in Abhängigkeit von ID und Interaktionssystem. (D): Modellanpassung für beide Interaktionssysteme. Als Fehlerbalken werden Fisher's Least Significant Differences verwendet.

## 4. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde ein neues kontaktfreies Eingabesystem für die gestenbasierte Interaktion mithilfe des Fitts'schen Paradigmas untersucht. Zielsetzung war eine differenzierte Untersuchung von Leistungsunterschieden im Vergleich zum Standardinteraktionssystem Computermaus, um beurteilen zu können, inwieweit die Maus durch den LMC ersetzt werden kann. Wie erwartet zeigt sich, dass die unter kontrollierten Bedingungen getestete Leistungsfähigkeit der Nutzer mit dem LMC niedriger ist als mit der Maus. Insbesondere werden beim LMC niedrigere Informationsdurchsätze gefunden und die experimentell vorgegebenen Schwierigkeitsgrade können mit dem LMC nicht vollständig abgedeckt werden, da der Informationsdurchsatz bei der LMC-Interaktion bereits bei einer mittleren Schwierigkeitsstufe in die Sättigung geht. Die durchgeführten Modellanpassungen legen nahe, dass mit dem LMC nur ca. der halbe maximale Informationsdurchsatz der Maus in der verwendeten Testumgebung möglich ist. Eine kritische Einschränkung bei der Interaktion mit dem LMC scheint die Klickgeste zu sein (vergleiche auch Bachmann et al., 2015). Generell müssen mit dem LMC eine höhere Anzahl von Bewegungsfreiheitsgraden koordiniert werden und insbesondere die Koordination der Zielbewegung sowie der Fingerbewegung im Zielbereich scheint eine hohe Beanspruchung des motorischen Systems hervorzurufen. Die Auswertungen legen generell nahe, dass die Maus für die Ausführung alltäglicher Interaktionsaufgaben nicht durch den LMC ersetzt werden kann. Der LMC bietet jedoch in Ergänzung zur Maus die Möglichkeit der dreidimensionalen Interaktion und erweitert somit das Interaktionsspektrum für die MCI bedeutend. Unsere aktuellen und zukünftigen weiteren Untersuchungen fokussieren unter anderem auf die Koordination von Hand und Fingerbewegungen im Zielbereich, um beurteilen zu können, inwieweit ungünstig gestaltete Klickgesten die Gesamtleistungsfähigkeit des Nutzers mit dem LMC einschränken.

## 5. Literatur

- Bachmann D, Weichert F, Rinkenauer G. (2015) Evaluation of the Leap Motion Controller as a New Contact-Free Pointing Device. *Sensors*, 15:214-233.
- Isokoski P, Raisamo R (2002). Speed-accuracy measures in a population of six mice. In Proceedings of APCHI2002: 5th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction). Beijing, China, 1–4 November 2002, pp. 765–777.
- MacKenzie, IS (1992) Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction. *Human-Computer Interaction*, 7:91–139.
- MacKenzie IS, Jusoh S (2001) An Evaluation of Two Input Devices for Remote Pointing. Proceedings of the Eighth IFIP Working Conference on Engineering for Human-Computer Interaction—EHCI 2000. Springer, Heidelberg, Germany, 235–249.
- MacKenzie IS, Kauppinen, T, Silfverberg M (2001) Accuracy Measures for Evaluating Computer Pointing Devices. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY, USA, 9–16.
- Soukoreff RW, MacKenzie IS (2004) Towards a Standard for Pointing Device Evaluation, Perspectives on 27 Years of Fitts' Law Research in HCI. *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 61:751–789.
- Weichert F, Bachmann D, Rudak B, Fisseler D (2013) Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap Motion Controller. *Sensors* 13:6380–6393.

**Danksagung:** Wir danken Frau Johanna Renker für die Assistenz bei der Datenerhebung und dem BMBF für die finanzielle Förderung (GripAssist, 16SV5820).