

Konzept und Exploration kopfgebundener Navigationsunterstützung mit vibrotaktilen Reizen und Lichtreizen im peripheren Sichtbereich

Daniela ALTUN, Jessica CONRADI

*Fraunhofer FKIE, Mensch-Maschine-Systeme
Zanderstraße 5, D-53177 Bonn*

Kurzfassung: Die Erweiterung von kopfgebundenen visuellen Ausgabegeräten (Head Mounted Displays, HMDs) mit Warnfunktionalitäten kann eine lebensrettende Unterstützung für Einsatzkräfte sein. Zusätzlich zu einer allgemeinen Warnung können auch Richtungsinformationen angezeigt werden. In einer vorangegangenen Studie konnte bereits eine grundsätzliche Eignung des Systems mit peripher-visuellen Lichtreizen und vibrotaktilen Stimuli zur allgemeinen Gefahrenwarnung festgestellt werden. In der vorliegenden Studie wird unter Verwendung von drei Toleranzstufen der Ortungsgenauigkeit untersucht, ob ein solches System für die Richtungsanzeige und damit für Navigationsaufgaben eingesetzt werden kann. Das System präsentiert sich als grundlegend geeignet für die Anwendung. Die Leistungsdaten zeigen, dass der gewählte Toleranzbereich an die jeweiligen Anforderungen der Einsatzkräfte angepasst werden muss.

Schlüsselwörter: Navigation, Warnung, visuell, taktil, Reiz, HMDs

1. Einleitung

Ein umfassendes Verständnis einer komplexen Umgebung setzt Wissen über die aktuelle Situation sowie deren korrekte Einschätzung voraus. Eine Übermittlung von relevanten Informationen kann dies erheblich verbessern. Insbesondere für Einsatzkräfte wie Feuerwehrleute oder Rettungsteams, die in gefährlichen Umgebungen arbeiten, kann eine solche Unterstützung hilfreich sein.

Eine Ablenkung von der eigentlichen Aufgabe durch die Übermittlung der Informationen muss jedoch vermieden werden. Zusätzlich sollte eine solche Informationsübermittlung für den Nutzer komfortabel, wenig einschränkend oder störend, in bestehende Ausrüstung integrierbar, zuverlässig, ressourcenschonend und auch unter Stress verständlich sein. Für solche Anwendungen wurden in einer vorangegangenen Studie die Möglichkeiten der allgemeinen Warnung vor Gefahren exploriert. Guddorp & Conradi (2019) untersuchten, ob sich ein HMD, das mit kleinen LEDs im peripheren Sichtbereich und Vibrationsmotoren hinter den Ohren ausgestattet wurde, grundsätzlich für Gefahrenwarnungen eignet. Die Eignung konnte bestätigt werden. In der vorliegenden Studie wird nun untersucht, ob sich das System auch zur Richtungsanzeige eignet. Obgleich ein Teil der Anforderungen an das Gefahrenwarnungssystem für eine Gefahrenwarnung mit Richtungsanzeige bestehen bleiben, können sie nicht vollständig übernommen werden. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass ein Reiz länger präsentiert werden muss, um Einsatzkräfte in die gewünschte Richtung zu lenken als bei einer einfachen Gefahrenwarnung. Dies bedeutet, dass der Reiz auch dann nicht unangenehm werden darf, wenn er über mehrere Sekunden hinweg präsentiert wird. In der vorliegenden Studie wird daher auf den Er-

kenntnissen der vorangegangenen Arbeit aufgebaut und unter Verwendung von drei Toleranzstufen der Ortungsgenauigkeit untersucht, welche Reize in welcher Darbietungsform für ein solches System zur Richtungsanzeige eingesetzt werden können. Zusätzlich soll eine erste Empfehlung zu einem Genauigkeitsgrad, mit welchem navigiert werden kann, ausgesprochen werden.

1.1 Vibrotaktile Reize

Taktile Reize eignen sich besonders für die Ausgabe von Informationen, da andere Sinne ungestört bleiben und Haptik resistent gegenüber Störreizen anderer Sinneswahrnehmungen ist (Kniewel & Hipp, 2008). Taktile Reize sprechen eine andere Sinndesmodalität an als visuelle Reize, was zu einer schnelleren Reizverarbeitung beiträgt (Wickens, 2002). Daher werden taktile Reize vor allem in komplexen Umgebungen eingesetzt, in denen andere menschliche Sinne abgelenkt sind (Dim & Ren, 2017). Insbesondere in Situationen, in denen Einsatzkräfte mit der visuellen Suche beauftragt sind, kann der Einsatz von taktilen Reizen deshalb vorteilhaft sein.

1.2 Periphere visuelle Reize

Die Wahrnehmung eines visuellen Stimulus wird maßgeblich bestimmt von der Position, an der er auf der Retina eintrifft. In der Peripherie der Retina kann Bewegung besonders gut wahrgenommen werden (Perz, 2010). Um das visuelle Feld der Einsatzkräfte möglichst wenig einzuschränken, sollen die Lichtreize im peripheren Sichtbereich platziert sein.

1.3 Navigation

Ein Navigationssystem für Einsatzkräfte sollte von einer auditiven Informationsübermittlung absehen, um die mündliche Kommunikation nicht zu stören. Ebenso soll auf das Anzeigen einer Karte verzichtet werden, damit das Sichtfeld nicht unnötig eingeschränkt wird. Eine mögliche Umsetzung stellt somit Vibration dar. Zahlreiche Studien konnten unter Verwendung prototypisch umgesetzter vibrotaktile Navigationssysteme bereits erfolgversprechende Ergebnisse erzielen (vgl. Jones & Starter, 2008; Dim & Ren, 2017; Oviatt et al., 2017; Duistermaat et al., 2007; Pielot, Poppinga und Boll, 2010). In einer Literaturrecherche wurden keine Studien über den Einsatz von Lichtreizen in der Peripherie zur Navigation gefunden.

1.4 Ziel und Hypothesenformung

Ziel des Versuches ist es, Lichtreize in der Peripherie in den direkten Vergleich zu taktilen Reizen am Kopf zu setzen. Beide Reize sollen in kontinuierlicher und wechselnder Darbietungsform auf die Eignung zur Navigation getestet werden. Lylykangas et al. (2016) bestätigen in ihrer Studie eine kürzere Navigationszeit auf taktile Reize als auf visuelle Reize. Dabei ist die Navigationszeit das Zeitintervall das benötigt wird, um nach dem Auftreten des Navigationsreizes die Zielposition einzunehmen. Daraus leitet sich die folgende Hypothese ab:

H1: Taktile Reize führen zu einer kürzeren Navigationszeit als visuelle Reize.

Kontinuierliche taktile Reize können als dringlicher wahrgenommen werden als wechselnde taktile Reize. Daher kann es sein, dass Versuchspersonen sich bei ei-

nem kontinuierlichen taktilen Reiz schneller drehen. Peripheres Sehen ist besonders empfindlich für die Wahrnehmung von Bewegung (Perz, 2010), weshalb blinkendes Licht schneller wahrgenommen werden könnte als kontinuierliches. Es leitet sich Hypothese 2 ab:

H2: Kontinuierliche Reize und wechselnde Reize führen zu unterschiedlichen Navigationszeiten.

In der vorliegenden Studie soll ebenfalls eine erste Empfehlung zu einem Genauigkeitsgrad, mit welchem navigiert werden kann, ausgesprochen werden. Hierfür wurden 3 Toleranzbereiche (in den Stufen $\pm 2,5^\circ$, $\pm 7,5^\circ$ und $\pm 15^\circ$) festgelegt. Es ist davon auszugehen, dass ein geringerer Toleranzbereich schwerer zu navigieren ist als ein größerer. Hieraus leitet sich die Hypothese 3 ab:

H3: Ein geringerer Toleranzbereich führt zu einer längeren Navigationszeit als ein größerer Toleranzbereich.

2. Methode

Die Umsetzung des Versuchsdesigns wurde in einer Vorstudie mit 3 Versuchsteilnehmern überprüft. Der eigentliche Versuch wurde mit $n=12$ freiwilligen Teilnehmern (weiblich:6, männlich:6) im Alter von 23 bis 38 Jahren ($M= 28,9$; $SD= 3,7$) durchgeführt. Es wurde ein Versuchsdesign mit Messwiederholung gewählt, so dass jeder Teilnehmer alle Versuchsbedingungen durchläuft.

Es wurden drei unabhängige Variablen verwendet. Es wurden der Reiz (taktil und peripher-visuell) sowie die Darbietungsform des Reizes (kontinuierlich und wechselnd) manipuliert. Die dritte unabhängige Variable war der Toleranzbereich (in den Stufen $\pm 2,5^\circ$, $\pm 7,5^\circ$ und $\pm 15^\circ$), mit dem ein zu navigierender Zielbereich erreicht werden sollte. Ausgegeben wurden die Reize über eine Microsoft HoloLens, die mit 2 Vibrationsmotoren an den Seitenbügeln sowieso mit LEDs ausgestattet wird (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Versuchsteilnehmer mit HoloLens mit peripher visuellen und taktilen Interaktionselementen

Der taktiler Reiz wurde in der wechselnden Darbietungsform mit einer Wiederholungsfrequenz von 50 Hz betrieben. Die visuellen Reize wurden mit 8x2 LED-

Paneelen realisiert, mit einer Leuchtstärke von 100 mcd in der Farbe Blau und in der wechselnden Darbietungsform mit einer Frequenz von 20 Hz betrieben.

Jeder Toleranzbereich wurde mit einem einzelnen Versuchsblock getestet, wobei vor jedem Versuchsblock ein kurzer Übungsblock mit entsprechendem Toleranzbereich durchgeführt wurde. So hatten die Versuchspersonen die Gelegenheit, sich auf den geforderten Toleranzbereich einzustellen. Je Versuchsblock navigierte die Versuchsperson 64 Mal in 8 festgelegten Winkeln (29°, 55°, 82°, 97°, 105°, 112°, 146° und 171°), die randomisiert dargeboten wurden. Dies resultiert in insgesamt 192 Navigationen je Versuchsteilnehmer. Die Versuchsperson stand auf einer festen Position und richtete sich dann jeweils zum übermittelten Winkel aus, d.h. die Person dreht sich bspw. um 55 Grad nach rechts. Jeder Block kombinierte die Reize so, dass sowohl taktile als auch visuelle Reize präsentiert wurden, wobei beide Reize sowohl kontinuierlich als auch wechselnd präsentiert wurden. Es erschien jeweils ein Reiz auf einer Seite des Kopfes. Dies war das Signal, dass die Versuchsperson sich in die Richtung drehen soll, aus der sie den Reiz wahrnimmt. War die zu navigierende Ausrichtung erreicht, erschien der Reiz kurz 3-fach beidseitig. Drehte sich die Versuchsperson zu weit, wechselte der Reiz auf die andere Seite und gab so an, dass sich in die andere Richtung gedreht werden soll. Nachdem eine zu navigierende Position erreicht und vom System als solche bestätigt wurde, folgte eine randomisierte Pause von mindestens einer und maximal vier Sekunden.

Parallel wurde eine Memorierungsaufgabe bzw. eine Updating-Task ausgeführt, bei der der Versuchsteilnehmer fortlaufend Informationen im Arbeitsgedächtnis halten und aktualisieren muss. Es wurden eine Reihe Konsonanten präsentiert, wobei jeder Konsonant einzeln akustisch vermittelt wurde. Vor jedem Versuchsdurchlauf wurden dem Versuchsteilnehmer zwei Buchstaben dargeboten. Die Aufgabe des Versuchsteilnehmers bestand darin, die Anzahl der jeweiligen festgelegten Buchstaben in einer Tonaufnahme von randomisierten Buchstaben zu zählen. Die Memorierungsaufgabe soll kognitiv fordern, um ein mögliches Konzentrieren auf die Reizwahrnehmung zu verringern.

3. Ergebnisse

Vor der inferenzstatistischen Auswertung wurden die Daten mit einem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Für die Mittelwerte der Navigationszeiten konnte die Normalverteilung nicht für alle Navigationszeitverteilungen bestätigt werden. Jedoch argumentieren Berkovits, Hancock und Nevitt (2000), dass die ANOVA mit Messwiederholung weitestgehend robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilungsannahme ist. Es wurde die jeweils passende inferenzstatistische Methode mit einem Signifikanzniveau von 5 % und ggfs. Posttests mit Bonferroni-Korrektur angewendet. Zeigte sich bei der ANOVA ein signifikanter Einfluss, so wurde bei Faktoren mit mehr als 2 Stufen ein paarweiser Vergleich mit Bonferroni-Korrektur als Post-Test durchgeführt.

Es wurde eine 3-faktorielle ANOVA mit Messwiederholungen für die Faktoren Toleranzbereich (3-fach gestuft), Reiz (2-fach gestuft) und Darbietungsform (2-fach gestuft) durchgeführt. Ein Mauchly-Test zur Varianzhomogenität zeigte keine Verletzung der Voraussetzung. Die Mittelwerte (in Sekunden) und Standardabweichungen der Navigationszeiten sind je Faktor (Toleranzbereich, Reiz, Darbietungsform) in der folgenden Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Die Mittelwerte (in Sekunden) und Standardabweichungen der Faktoren Toleranzbereich ($\pm 2,5^\circ$, $\pm 7,5^\circ$ und $\pm 15^\circ$), Reiz (visuell, taktil) und Darbietungsform (kontinuierlich, wechselnd).

[s]	visuell				taktil			
	kontinuierlich		wechselnd		kontinuierlich		wechselnd	
	M	S	M	S	M	S	M	S
$\pm 2,5^\circ$	6,54	1,14	6,59	1,13	6,16	0,95	7,16	1,30
$\pm 7,5^\circ$	5,33	0,97	5,47	0,95	5,61	1,47	6,47	1,60
$\pm 15^\circ$	4,58	0,62	4,73	0,81	4,39	0,54	4,83	0,51

Die Toleranzbereiche haben einen signifikanten Einfluss auf die Navigationszeit ($F(2,22) = 38,896$, $p < 0,001$, partielles $\eta^2 = 0,780$). Der Posttest für die Toleranzbereiche zeigt jeweils einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Toleranzbereichen (in den Stufen $\pm 2,5^\circ$, und $\pm 7,5^\circ$ ($p = 0,002$), $\pm 2,5^\circ$ und $\pm 15^\circ$ ($p < 0,001$) und $\pm 7,5^\circ$ und $\pm 15^\circ$ ($p = 0,003$)).

Für den Faktor Reiz (peripher-visuell vs. taktil) ergibt die ANOVA mit Messwiederholungen einen statistischen Trend, der mit dem gewählten Signifikanzniveau von 0,05 jedoch nicht signifikant ist ($F(1, 11) = 3,702$, $p = 0,081$, partielles $\eta^2 = 0,252$). Die Darbietungsform des Reizes (kontinuierlich vs. wechselnd) hat einen signifikanten Einfluss auf die Navigationszeit ($F(1, 11) = 38,896$, $p < 0,001$, partielles $\eta^2 = 0,598$). Es kann ein statistisch signifikanter Interaktionseffekt zwischen Toleranzbereich und Art des Reizes festgestellt werden ($F(2, 22) = 7,066$, $p = 0,004$, partielles $\eta^2 = 0,391$) sowie zwischen den Faktoren Reiz und Darbietungsform ($F(1, 11) = 10,487$, $p = 0,008$, partielles $\eta^2 = 0,488$). Ein Interaktionseffekt zwischen Toleranzbereich und Darbietungsform ist nicht signifikant ($F(2, 22) = 1,009$, $p = 0,381$, partielles $\eta^2 = 0,084$). Ein Interaktionseffekt zwischen den drei Faktoren (Toleranzbereich, Darbietungsform, Reiz) auf die Navigationszeit zeigt keine statistisch signifikanten Ergebnisse ($F(2, 22) = 1,756$, $p = 0,196$, partielles $\eta^2 = 0,138$).

4. Diskussion

Mittels des vorliegenden Experiments sollte die Verwendbarkeit von taktilen Reizen am Kopf sowie von peripher-visuellen Reizen als Navigationshilfe für Einsatzkräfte abgeschätzt werden. Die grundsätzliche Einsetzbarkeit der Reize in unterschiedlichen Darbietungsformen konnte gezeigt werden. Es war möglich, die zu navigierende Position mit den ausgewählten Toleranzbereichen zu erreichen. Hier zeigten sich jedoch Unterschiede.

Erwartungskonform benötigten Versuchspersonen länger, um eine zu navigierende Position zu erreichen, wenn ein geringerer Toleranzbereich gefordert war. Wurde der Reiz in wechselnder Darbietungsform präsentiert, brauchten Versuchsteilnehmer ebenfalls länger. Dies könnte zum einen darin begründet liegen, dass ein kontinuierlicher Reiz als dringlicher wahrgenommen wird, was zu einer schnelleren Umsetzung führt. Zum anderen könnte ein kurzzeitiges Unterbrechen des Reizes, wie es bei einem Frequenzmuster üblich ist, als Zeichen für eine erreichte Position interpretiert werden. Der Interaktionseffekt zwischen den Toleranzbereichen und den Reizen

spricht dafür, dass unterschiedliche Reize für unterschiedliche Toleranzbereiche geeignet sind. Während die Versuchsteilnehmer für die Toleranzbereiche von $\pm 2,5^\circ$, und $\pm 7,5^\circ$ mit einem visuellen Reiz schneller navigiert haben, waren die Versuchsteilnehmer in der Versuchsbedingung mit einem Toleranzbereich von $\pm 15^\circ$ mit einem taktilen Reiz schneller. Es sollte daher je Anwendungsfall eruiert werden, welcher Toleranzbereich gefordert ist, um entsprechend den geeigneten Reiz zu wählen.

Für eine Umsetzung des Navigationssystems sollten zusätzlich weitere Faktoren überprüft werden, wie eine möglicherweise eingeschränkte auditive Leistungsfähigkeit oder der Einfluss von wechselnden Lichtbedingungen.

5. Literatur

- Berkovits, I., Hancock, G. R. & Nevitt, J. (2000). Bootstrap resampling approaches for repeated measure designs. Relative robustness to sphericity and normality violations. *Educational and Psychological Measurement*, 60 (6), 877-892.
- Bortz, Jürgen (Hg.) (1993): Statistik. Für Sozialwissenschaftler. Vierte, vollständig überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
- Dim, Nem Khan; Ren, Xiangshi (2017): Investigation of suitable body parts for wearable vibration feedback in walking navigation. In: *International Journal of Human-Computer Studies* 97, S. 34–44.
- Duistermaat, M., Elliot, L. R., van Erp, J. B. F., Redden, E. S., Waard, D. de, Hockey, B. et al. (2007). Tactile land navigation for dismounted soldiers. *Human factor issues in complex system performance*, 43-53.
- Guddorp, D., Conradi, J. (2019). Konzept und Exploration eines kopfgebundenen Gefahrenwarnungssystems mit vibrotaktilen Reizen und Lichtreizen im peripheren Sichtbereich. In *Arbeit interdisziplinär analysieren-bewerten-gestalten-65*. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. GfA-Press, Dortmund.
- Jones, L. A. & Sarter, N. B. (2008). Tactile displays: Guidance for their design and application. *Human factors*, 50 (1), 90-111.
- Kniewel, R. & Hipp, C. (2008). Gestaltung einer haptischen Navigationshilfe für den mobilen Bereich. In Brau, H., Diefenbach, S., Hassenzahl, M., Koller, F., Peissner, M. & Röse, K (Hrsg.), Tagungsband UP08. Fraunhofer Verlag.
- Lylykangas, J., Surakka, V., Salminen, K., Farooq, A. & Raisamo, R. (2016). Responses to visual, tactile and visual-tactile forward collision warnings while gaze on and off the road. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 40, 68-77.
- Oviatt, S., Schuller, B., Cohen, P., Sonntag, D., & Potamianos, G. (2017). *The Handbook of Multimodal-Multisensor Interfaces, Volume 1: Foundations, User Modeling, and Common Modality Combinations*. Morgan & Claypool.
- Perz, M., Cuijpers, R. H., & de Kort (YAW). (2010). Flicker perception in the periphery. Technische Universiteit Eindhoven.
- Pielot, M., Poppinga, B. & Boll, S. (Hrsg.). (2010). *PocketNavigator. Vibro-tactile waypoint navigation for everyday mobile devices*: ACM.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3 (2), 159-177.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

GfA-Press

Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2020
ISBN 978-3-936804-27-0

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.
Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**
Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de