

Untersuchung virtueller Stellgrößen einer kontinuierlichen Blicksteuerung zur Mensch-Maschine-Interaktion unter Berücksichtigung der kognitiven Belastung

Marcus JENKE, Christian WEIHSBACH, Thomas MAIER

*Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design,
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design
Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 9, D-70569 Stuttgart*

Kurzfassung: Die vorgestellte Untersuchung befasst sich mit der nutzergerechten Auslegung kontinuierlicher Blicksteuerungsinterfaces hinsichtlich der kognitiven Belastung. Die untersuchten Parameter für eine rein gradientenbasierte visuelle Stellgröße sind Verlaufsart und Skalierung. Dazu wurde an einem adaptiven Blicksteuerungsprüfstand eine Probandenstudie mit 3 Verlaufsarten (linear, progressiv, degressiv) und 3 Skalierungen (niedrig, mittel, groß) durchgeführt. Die Versuchsteilnehmer balancieren dabei einen Ball (Anzeiger) auf einer Wippe (Skala). Zusätzlich wurde die subjektive Belastung mittels Befragung erfasst. Die Versuchsergebnisse zeigen auf, dass ein progressiver Verlauf mit niedriger Skalierung die besten Ergebnisse erzielt.

Schlüsselwörter: gaze interaction, user interaction studies, gaze control, virtual environments, interaction path, continuous interaction

1. Relevanz in der Forschung

Die gestiegene Leistung technischer Produkte ermöglicht mittlerweile eine aktive Blicksteuerung in zahlreichen Bereichen der Mensch-Maschine-Interaktion. Gerade in der Unterhaltungselektronik existieren neben diskreten (zeitpunktspezifisch) auch kontinuierliche (zeitintervallbezogen) Anwendungen (vgl. Vickers et al. 2008). Es wurde bereits in diversen Studien untersucht (vgl. Majaranta et al. 2012), dass gerade schwellenzeitbasierte Blickgesten sich für diskrete Interaktionen eignen (Hyrskykari et al. 2012, S. 230). Kontinuierliche Interaktionen bieten allerdings größere Vorteile hinsichtlich einer intuitiven Manipulation von Objekten. Doch gerade die Überbelastung der Informationswahrnehmung des Bedieners ist in restriktiveren Bereichen wie z. B. der Medizintechnik besonders kritisch zu sehen. Aus diesem Grund sind Untersuchungen hinsichtlich der physiologischen und kognitiven Belastung über die Bediendauer hinweg notwendig. Die permanente Überlagerung des visuellen Wahrnehmungskanal mit dem korrespondierenden Interaktionskanal kann bei ungeeigneter Auslegung zu Bedienfehlern führen (Midas-Touch-Problematik) (vgl. Jacob 1991, S. 156). Zur deren Vermeidung wird eine kontinuierliche Blicksteuerung auch oft multimodal realisiert (vgl. Zühlke 2012, S. 227). Jedoch können rein blickgesteuerte Interfaces, welche die Kognition der Bediener berücksichtigen und dabei nicht im Konflikt mit der eigentlichen Bedienungsaufgabe stehen, eine natürliche und anstrengungsarme Interaktion (self-agency) gewährleisten (vgl. Slobodenyuk 2016, S. 1046). Die hier gewonnenen Erkenntnisse sollen dazu dienen, Forschungsfragen hinsichtlich dieser Problematik zu lösen.

2. Stand der Technik

Bei blickgesteuerten Interfaces erweist sich die Darstellung eines Eye-Cursors als ungeeignet und irritierend (Slobodenyuk 2016, S. 1042). Dies erschwert die schwellenzeitbasierte (450-1000 ms (vgl. Mollenbach 2010, S. 43)) Interaktionen (vgl. Zhang et al. 2008, S. 525), da durch solche Ablenkungen die Fixation (Leigh & Zee 2015, S. 3) ungewollt kurzzeitig unterbrochen werden kann. Dennoch ist ein permanentes Feedback bei der Blickinteraktion hinsichtlich Aufgabe und Ziel sinnvoll (vgl. Zühlke 2012, S. 26). Bei kontinuierlicher Steuerung spielt die Blickerfassungsgenauigkeit (Präzision und Exaktheit) eine entscheidende Rolle. Allerdings begrenzt, selbst bei idealer Kalibrierung, der Bereich des scharfen Sehens ($1-2^\circ$) die Blickpositionserfassung (beidseitige Augenwinkelmessung) auf minimal $0,5^\circ$. (Holmqvist 2011, S. 42f.) Nur bestimmte Blickgesten (smooth pursuit) können bei ungenauer Kalibrierung noch sicher verwendet werden (Esteves et al. 2015, S. 457). Die kontinuierliche Blicksteuerung erweist sich gerade für eine laterale Navigation als effektiv (Adams et al. 2008, S. 116) und vorteilhafter als diskrete Interaktionen (vgl. Istance et al. 2008, S. 224). Des Weiteren bietet eine dynamische (gradientenbasierte) visuelle Stellgröße intuitive Ansätze für die Steuerung dynamischer Bewegungen (Stellmach & Raimund 2012) bzw. Zoomfunktionen (vgl. Tuisku et al. 2008). Diese Überlegungen führen zu einer joystickähnlichen Interpretation der Blickbewegung bei welcher Richtung und Größe der Steuerung in direkten Zusammenhang mit der Blickrichtung und Sakkadenweite (Holmqvist 2011, S. 179; Leigh & Zee 2015, S. 170f.) steht (Istance et al. 2008, S. 226). Dieser Ansatz stellt die Grundlage für die nachfolgend beschriebene Untersuchung dar.

3. Methode

Bei der Untersuchung sitzen die Versuchsteilnehmer in Anwesenheit des Versuchsleiters vor dem Blicksteuerungsprüfstand. Der Abstand zum Interface (Display: 22"; 1920x1080) beträgt 60 cm. Der Prüfstand wird mit der grafischen Entwicklungsumgebung LabVIEW gesteuert. Die Blickerfassung (ermittelte Latenzzeit beträgt 33,3 ms (vgl. Holmqvist 2011, S. 31)) stellt die einzige Interaktionsmöglichkeit dar und ist mittels monitorbasiertem Eye-Tracker (Tobii X2-30; Messmethode: *pupil and corneal reflection eye tracking* (vgl. Holmqvist 2011, S. 24); SDK-Parameter: *lightlyfiltered*; Algorithmus: *identification by velocity threshold* (vgl. Holmqvist 2011, S. 171)) gewährleistet. Die Versuchsteilnehmer haben dabei die Aufgabe einen Ball (Anzeiger) auf einer, über ihren Mittelpunkt, drehbaren Wippe (Skalenlänge: 750 Pixel \pm 9,46 cm) möglichst mittig zu balancieren. Der Blick aktiviert dabei ein Moment auf die Wippe. Für die Interaktionsumgebung wird die Elementbibliothek "matter.js" verwendet und über eine Webbrowserapplikation in LabVIEW integriert (vgl. Liam 2016). Zur Untersuchung der Bedienbarkeit des Interfaces sind 2 Parameter zur Gestaltung der visuellen Stellgröße notwendig (**V**erlaufsart und **S**kalierungsfaktor) (Abbildung 1). Für eine erste Einteilung der Parameter werden 3 Verlaufsarten (**L**inear, **P**rogressiv, **D**egressiv) mit 3 Skalierungsfaktoren (klein (**S**₁), mittel (**S**₂), groß (**S**₃)) durch äquidistante logarithmische Verteilung (Auslegung von minimal möglicher Bedienbarkeit) verwendet. Die visuelle Stellgröße steht in direktem Zusammenhang mit der X-Koordinate des Blickes. Zur Implementierung in das Studiendesign ist die Hilfsgröße

(h) notwendig. Das Studiendesign referenziert dabei die Stellgröße konstant auf den Rotationspunkt der Wippenskala.

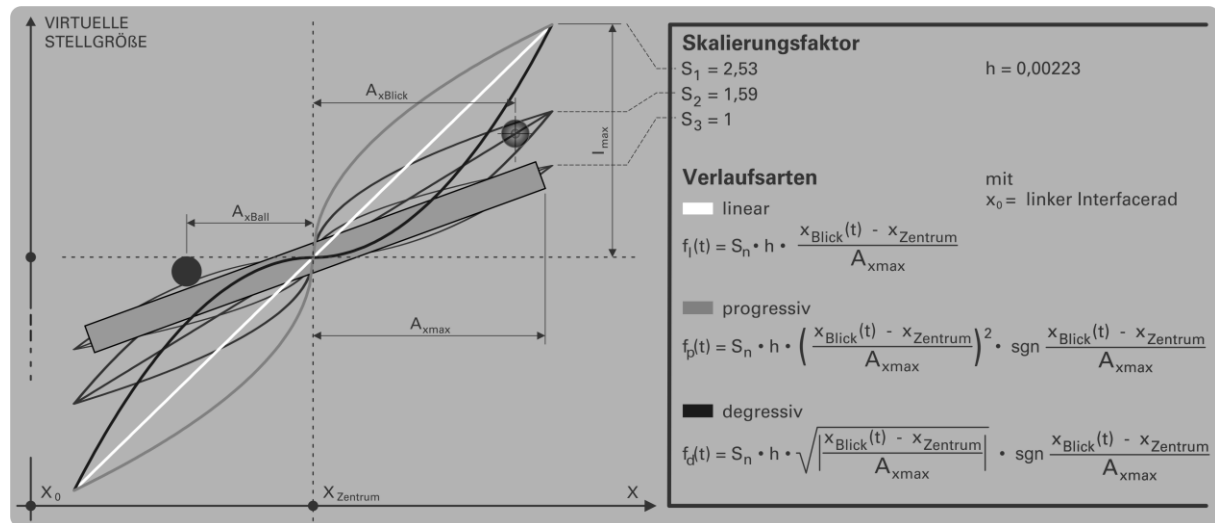


Abbildung 1: Schematische Zusammensetzung der visuellen Stellgröße im Interface

Kombinatorisch sind aus den Parameterpaarungen 9 Versuchsteile aufgebaut, bei denen das Interface jeweils 90 s gesteuert wird (randomisierte Versuchsteilreihenfolge). Nach jeder Variation von **S** findet eine Befragung zur empfundenen Belastung (NASA-TLX) statt (NASA 1986). Abbildung 2 zeigt die verschiedenen Phasen innerhalb eines Teilversuchs.

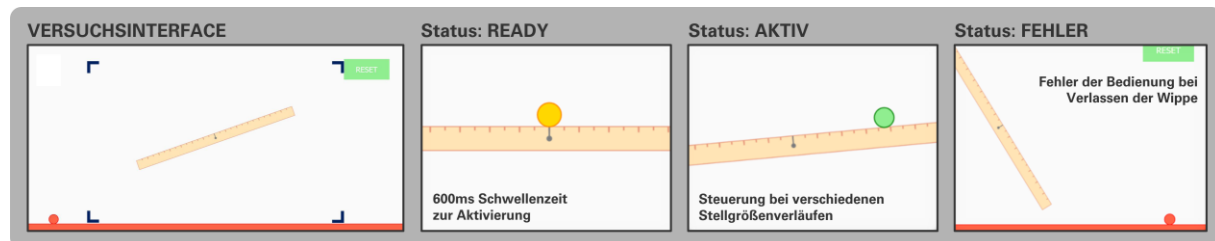


Abbildung 2: Untersuchtetes Interface (links); verschiedene Stati der Bedienung (rechts)

Die betrachteten Messgrößen (ca. 13 Messungen/s von Blick- und Ballposition mit Zeitstempel) sind die aufgebrachte **Blickgeschwindigkeit** (Blickstrecke pro Sekunde [m/s]), die **Genauigkeit** des Balancierens (Differenz zwischen Ist- und Soll-Wert [cm]) und die **Fehlerhäufigkeit** (Ball fällt runter [$Fehler/s$]). An der Untersuchung nahmen insgesamt 20 Versuchspersonen (15 männliche und 5 weibliche der Ingenieurwissenschaften) mit homogenem Altersgefüge ($24 \pm 2,54$ Jahren) teil. Darunter befanden sich 4 brillentragende und 3 kontaktlinsentragende Personen.

4. Ergebnisse

Die Auswertung der Messgrößen (B, G, F) bezgl. der Versuchsparameter (V, S) ist in Abbildung 3 dargestellt. Die niedrigste Blickgeschwindigkeit wurde bei LS₃ (3,2 cm/s) und die höchste bei DS₁ (5.02 cm/s) ermittelt. Die erreichte Genauigkeit der Interaktion lag bei allen Kombinationen relativ eng beieinander (74-78,5 %).

Lediglich eine geringe Reduzierung konnte bei DS₂ und DS₃ festgestellt werden. Die Fehler streuten bei L (1,85-3,09 Fehler/min) und D (2,01-4,01 Fehler/min) wesentlich stärker als bei P (1,69-2,05 Fehler/min). Die wenigsten Fehler traten hierbei bei S₁ (LF₁: 1,83; PF₁: 1,69; DF₁: 2 Fehler/min) auf.

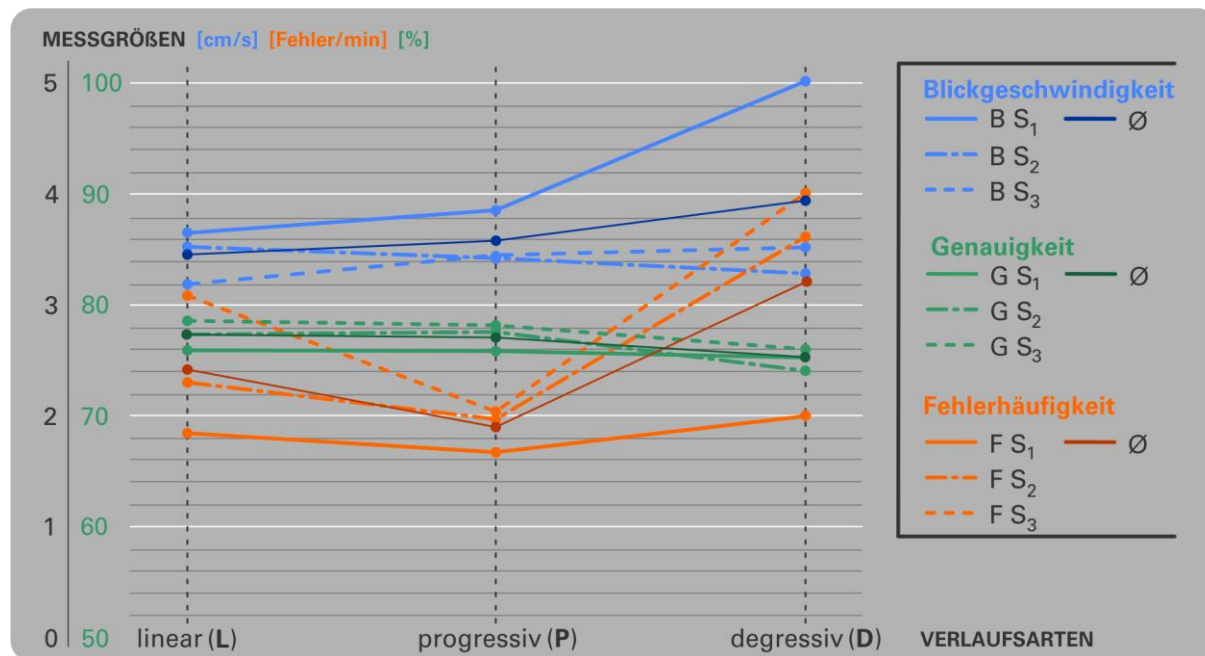


Abbildung 3: Auswertung der Messgrößen in Abhängigkeit von Verlaufsart und Skalierungsfaktor

Bei ganzheitlicher Betrachtung zeigen sich die Verlaufsarten (P) fehlerrobuster bei gleichzeitiger Erhöhung der Blickgeschwindigkeit als L und D. Der degressive Verlauf weist bei den Messgrößen F und B verschiedener S eine hohe Streuung auf. Diese Messgrößen liegen teils deutlich über denen anderer Verlaufsarten. Hinsichtlich der Skalierung (über alle V hinweg) entsteht die geringste Fehlerhäufigkeit bei S₁, welche nur durch eine höhere Blickgeschwindigkeit (vergleichen zu S₂, S₃ (keine Signifikanz)) realisiert werden kann. S₃ weist sowohl die häufigsten Fehler als auch höchste Genauigkeit bei der Steuerung aus. Der Vergleich zwischen Versuchspersonen mit und ohne Sehhilfe erbrachte keine Unterschiede hinsichtlich der Messgrößen. Die Auswertung des NASA-TLX (Abbildung 4) zeigte eine konstante Steigerung der empfundenen Belastung von S₁ zu S₃ hin (vgl. Belastungs-Index bei gleicher Kriteriengewichtung). Die empfundene Leistungsminderung zwischen S₁ und S₃ unterstützt diese Beobachtung. Ein Vergleich zwischen Messdaten und Befragung deutet auf einen Zusammenhang zwischen steigendem Skalierungsfaktor (einhergehend mit steigender Fehlerhäufigkeit (vgl. S₁, S₂, S₃) und Blickgeschwindigkeit (vgl. S₁, S₃)) und dem Belastungs-Index hin.

Abbildung 5 zeigt ausgewählte Ballpositionsverläufe (17 Versuche aus Versuchsteil PS₁) und deutet qualitativ auf Besonderheiten der Blicksteuerung hin. Die blau gekennzeichneten Verläufe zeigen eine kleine Gegensteuerung kurz vor der Fehlerentstehung auf. Die orange dargestellten Verläufe visualisieren, wie nach einem deutlichen Ausschlag des Balls in eine Richtung eine fatale Bedienung in die entgegengesetzte Richtung stattfand.

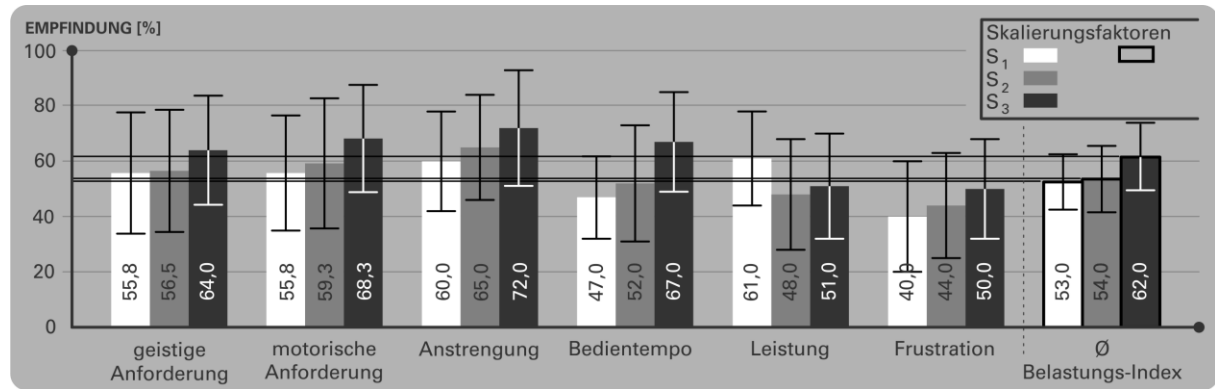


Abbildung 4: Auswertung der Befragung durch NASA-TLX bzgl. der verschiedenen Skalierungen

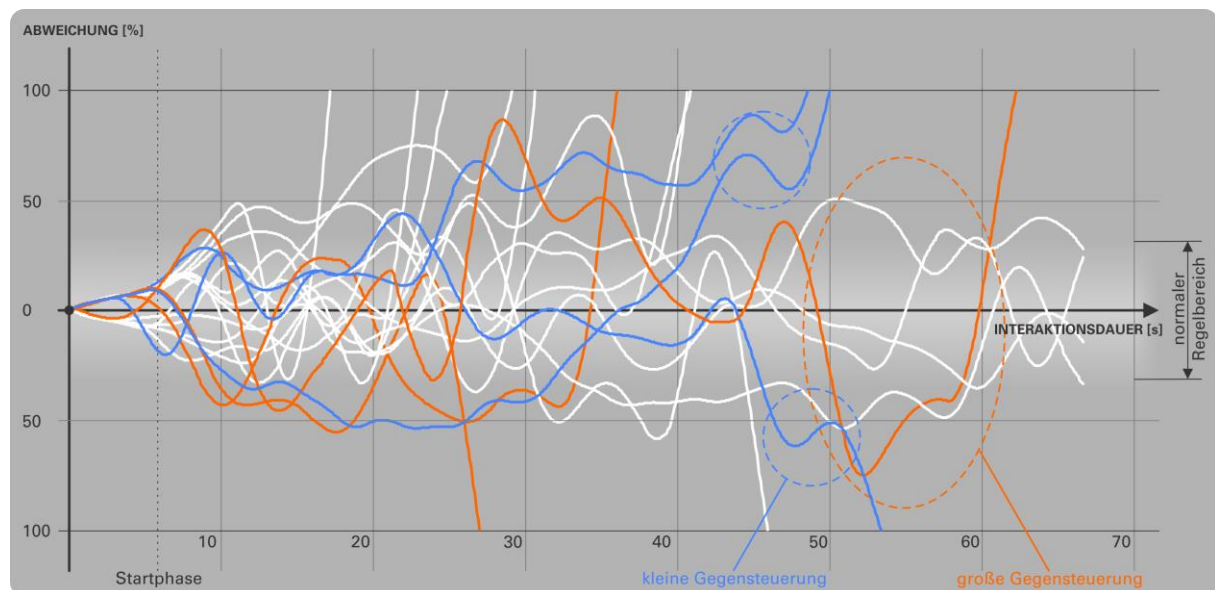


Abbildung 5: Auswahl von Ballpositionsverläufen während des Teilversuchs PS₁

5. Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse scheinen zu bestätigen, dass ein Einfluss zwischen den untersuchten Parametern (Verlaufsart und Skalierungsfaktor) und der Bedienbarkeit bzw. und Belastung bei einer kontinuierlichen Blicksteuerung existiert. Der progressive Verlauf für die visuelle Regelgröße hat sich in dieser als Untersuchung am fehlertolerantesten erwiesen. Eine mögliche Korrelation zwischen aufzubringender Blickgeschwindigkeit und empfundener Belastung wird weiter verifiziert. Das Versuchsdesign wird für weitere Untersuchungen angepasst, um festgestellte auftretende Verzerrungen der Messgrößen durch Startphasen (0 % Abweichung) wie in Abbildung 5 zu vermeiden. Das Referenzieren der visuellen Stellgröße auf die Wippenskalenmitte (Abbildung 1) erweist sich für das Erhalten des Statusfeedbacks durch den Anzeiger als problematisch (Ballposition wird nach eingeleiteter Korrektur durch Bediener überprüft) mit dem Blick. Beim erhalten des Feedbacks tritt eine ungewollte Interaktion auf (vgl. blauen Verlauf in Abbildung 5). Eine Verbesserung hinsichtlich des erwarteten Systemverhaltens (mentales Model der Bediener) durch ein Referenzieren auf die momentane Blickposition ist in weiteren

Untersuchungen zu untersuchen. Die orangenen Verläufe (Abbildung 5) weisen auf ein temporär träges Bedienverhalten des Studiendesigns hin, welches auch durch die Kommentare der Versuchsteilnehmer bestätigt wurde. Dadurch können Bedieneingaben durch das Aufbringen der maximalen visuellen Stellgröße unter Umständen nicht mehr rechtzeitig korrigiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse tragen maßgeblich zu einer Optimierung des Studiendesigns bei, welche in bereits geplanten Studien zur kontinuierlichen Blicksteuerungen einbezogen werden.

6. Literatur

- Adams, NI, Witkowski MA, Spence RO (2008) The Inspection of Very Large Images by Eye-gaze Control. In: AVI'08 Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces. Napoli: Leviardi & Stefano (Hrsg). New York: ACM, 2008, pp. 111-118.
- Esteves AU, Velloso, ED, Bulling AN, Gellersen HA. (2015) Orbits: Gaze Interaction for Smart Watches using Smooth Pursuit Eye Movements. In: UIST'15 Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Osaka: Latulipe & Celine (Hrsg). New York: ACM, 2015, pp. 419-422.
- Holmqvist KE, Nystrom MA, Andersson RI, Dewhurst RI, Jarodzka HA, Van de Weijer JO (2011) Eye tracking – A comprehensive guide to methods and measures. Oxford: Oxford University Press, 2011.
- Hyrskykari AU, Istance HO, Vickers ST (2012) Gaze gestures or dwell-based interaction?. In: ETRA '12: Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications. Barbara: Spencer & Stephen (Hrsg.). New York: ACM, 2012, pp. 229-232.
- Istance HO, Bates RI, Hyrskykari AU, Vickers ST (2008) Snap Clutch, a Moded Approach to Solving the Midas Touch Problem. In: ETRA '08: Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications. Savannah: Rähä & Duchowski (Hrsg). New York: ACM, 2008, pp. 221-228.
- Jacob RO (1991) The Use of Eye Movements in Human-Computer Interaction Techniques. In: CHI '90: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Volume 9 Issue 2. Chew (Hrsg). New York: ACM, 1991, pp. 152-169.
- Leigh JO, Zee DA (2015) The neurology of eye movements. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- Liam BR (2016), matter.js - library for 2D physics engine for the web. Internet 2016-01-16, <http://brm.io/matter-js/>.
- Majaranta PÄ, Aoki HI, Donegan MI, Witzner DA, John HA, Hansen PA, Hyrskykari AU, Rähä KA (2012) Gaze interaction and applications of eye tracking – Advances in assistive technologies. Hershey: IGI Global.
- Mollenbach EM (2010) Selection strategies in gaze interaction. Loughborough University.
- NASA (1986) Human Performance Research Group: NASA Task Load Index (TLX) – Paper and Pencil Package. Moffett Field.
- Stellmach SO, Raimund DA (2012) Designing Gaze-based User Interfaces for Steering in Virtual Environments. In: ETRA '12 Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications. Santa Barbara. New York: ACM, 2008, pp. 131-138.
- Slobodenyuk NA (2016) Towards cognitively grounded gaze-controlled interfaces. Personal and Ubiquitous Computing, Issue 6. London: Springer-Verlag, S. 1035-1047.
- Tuisku OU, Majaranta PÄ, Isokoski PO, Rähä KA, (2008) Now Dasher! Dash Away! Longitudinal Study of Fast Text Entry by Eye Gaze. ETRA '08 Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications. Savannah, Georgia. New York: ACM, 2008, pp. 19-26.
- Vickers ST, Istance HO, Hyrskykari AU, ALI, NA, Bates RI (2008) Keeping an eye on the game: eye gaze interaction with massively multiplayer online games and virtual communities for motor impaired users. In Proc. ICDVRAT'08, Maia: pp. 159-166.
- Zhang XI, Ren Xi, Zha HO (2008) Improving Eye Cursor's Stability for Eye Pointing Tasks. In: CHI '08: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Florence. New York: ACM, 2008, pp. 525-534.
- Zühlke DE (2012) Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen – Useware-Engineering für technische Systeme. 2. Aufl. Heidelberg: Springer, 2012.