

Allgegenwärtige Mensch-Computer-Interaktion

Michael Koch, Florian Alt
michael.koch@unibw.de, florian.alt@ifi.lmu.de

Zusammenfassung

Computer durchdringen unseren Alltag. Dabei sind diese derart in unsere Umgebung eingebettet, dass diese von uns nicht mehr als solche wahrgenommen werden. Hierdurch entsteht die Notwendigkeit zur Schaffung unmittelbar verständlicher Benutzerschnittstellen - sowohl für Individuen als auch für Gruppen von Benutzern. Mit diesem Teilbereich der Informatik beschäftigt sich die Mensch-Maschine-Interaktion. Dieser Artikel gibt einen Einblick in die Forschungsaktivitäten zu diesem Thema an den Münchner Universitäten. Im Fokus stehen hierbei Arbeiten zu öffentlichen Bildschirmen, Blickinteraktion im öffentlichen Raum, sowie die Entwicklung sicherer und gleichzeitig benutzbarer Authentifizierungsverfahren.

Abstract

Computers have become an integral part of our everyday life. Being interwoven with our environment, they are in many cases not recognized as computers anymore. This creates an inherent need to build immediately usable interfaces - both for individuals as well as for groups. The subfield of computer science concerned with designing interaction with computers is called Human-Computer Interaction. In this article, we provide a brief overview of research conducted in this area at the Munich universities. In particular, we focus on research on public displays, gaze interaction in public space, as well as on the development on usable and secure authentication mechanisms.

Motivation

Die erfolgreiche und wirkungsvolle Nutzung von technikgestützten Kommunikations- und Informationsangeboten wird zunehmend für Menschen aller gesellschaftlicher Schichten und Funktionen relevant. Gleichzeitig werden technische Systeme, ihre Struktur, Funktionalitäten und Interaktionsformen komplexer, obwohl oder gerade weil die Systeme durch Miniaturisierung, Vernetzung und Einbettung immer weniger sichtbar und damit auch immer weniger (be)greifbar werden [1–3]. Die zukünftige Nutzung von Kommunikations- und Informationsangeboten wird dabei insbesondere von unterschiedlichen Interaktionsgeräten geprägt sein - von persönlichen Mobilgeräten über öffentliche oder halböffentliche interaktive Tische und Wände hin zu digital vernetzten Alltagsgeräten und erhält somit Einzug in alle Bereiche des täglichen Lebens.

Diese steigende Komplexität und Allgegenwärtigkeit bei gleichzeitig abnehmender Sichtbarkeit erzeugt zunehmende Herausforderungen an die Gestaltung von Technologien [4]. Die Gerätevielfalt muss dabei durch Einzelpersonen, aber auch durch Gruppen möglichst intuitiv, d.h. vor allem unmittelbar verständlich und im Verhalten erwartungskonform, nutzbar sein.

Der Teilbereich der Informatik, der sich mit allen Fragen rund um die benutzer- und kontextgerechte Gestaltung von IT-Systemen beschäftigt, wird als „Mensch-Computer-Interaktion (MCI)“ bezeichnet.

Die zunehmende Bedeutung von MCI in den letzten Jahrzehnten geht einher mit einem perspektivischen Wandel in der Informatik. Statt auf Insellösungen, die Experten unterstützen, liegt der Fokus auf Allerwelts-Technologie, die zur Gestaltung neuer Lebensformen beiträgt. Dabei ist insbesondere die Einbeziehung des Nutzungskontextes zentral.

Bedeutsam ist MCI vor Allem, weil

- Systeme, die nicht benutzbar sind, aus Sicht des Kunden nicht funktionieren – für den Nutzer/Kunden wertlos sind,
- nicht benutzbare Systeme für den Nutzer/Kunden nicht nur wertlos, sondern sogar gefährlich sein können – beispielsweise wenn die Sicherheit persönlicher Daten gefährdet wird oder eine Fehlbedienung zu materiellen oder auch körperlichen Schäden führt.

Aus all diesen Gründen wurde „Allgegenwärtige Mensch-Computer-Interaktion“ von der Gesellschaft für Informatik auch 2014 als eine der ersten fünf Grand Challenges der Informatik ausgewählt [5].

An allen drei Münchner Universitäten ist MCI als Forschungsgebiet präsent – mit entsprechend ausgerichteten Professuren oder Forschungsclustern in den Informatik-Fakultäten aber auch in anderen Fakultäten. Im Folgenden gehen wir auf ein paar ausgewählte Beispiele der aktuellen Arbeit an allgegenwärtiger Mensch-Computer-Interaktion an den Münchner Universitäten näher ein – insbesondere im Bereich von öffentlichen (z.B. Bahnhöfe oder Fußgängerzonen) sowie halb-öffentlichen Räumen (z.B. Bürogebäude oder Museen).

Öffentliche Bildschirme und smarte urbane Objekte

Charakteristisch für heutige IT-Systeme sind Anwendungen, bei denen Inhalte an privaten Endgeräten (z.B. Smartphones, Tablets oder Desktoprechnern) eingegeben und (semi-)strukturiert inkl. der zugehörigen Metainformation auf für den Nutzer „verborgenen“ Serversystemen abgelegt werden. Typischerweise sind Informationen so in annähernd beliebigem Umfang digital vorhanden und theoretisch auch über Suchfunktionen auffindbar. Jedoch existiert ein deutliches Defizit im Hinblick auf die Sichtbarkeit der eingestellten Inhalte. D.h. die Inhalte sind meist nur noch über explizite Suchanfragen aufzufinden, bleiben aber ansonsten verborgen.

Eine Möglichkeit die Sichtbarkeit von Informationen zu erhöhen und die Kommunikation über und mit Hilfe von Informationspartikeln im soziokulturellen Kontext zu fördern ist die Nutzung von interaktiven Großbildschirmen im öffentlichen oder halb-öffentlichen Raum. Als interaktive Informationsstrahler können Bildschirme Informationen für einzelne Nutzer oder Gruppen anzeigen, nach denen nicht aktiv gesucht wird, und durch eine Interaktion mit ihnen ein weiteres Explorieren und Vertiefen erlauben.

CommunityMirrors

Im CommunityMirror-Projekt wird an der UniBwM diesem Ansatz nachgegangen [6, 7]. In Labor- und Feldtests wurden viele Herausforderungen dazu identifiziert und in Design-orientierter Forschung angegangen [8, 9]. Interessante Fragen sind z.B. nach der Nützlichkeit verschiedener Informationen sowie der nutzergerechten Darstellung dieser Information im Sinne der schnellen Wahrnehmung oder Aufnahme. Des Weiteren ist die Frage nach der Steuerung der Aufmerksamkeit von Passanten und der Kommunikation von möglichen Interaktionsräumen und Funktionalität (Walk-Up-And-Use) von zentraler Bedeutung.

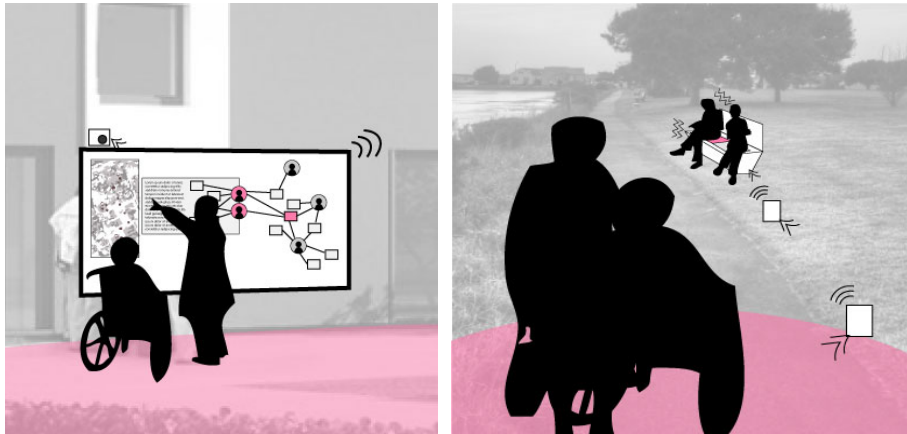


(Abbildung 1. Einsatz von CommunityMirrors als Informationsstrahler im halb-öffentlichen Raum – während der Tagung MuC 2014 an der LMU in München)

Um Erkenntnisse zu diesen Fragen zu erzielen, arbeiten wir schon seit über zehn Jahren explorativ mit verschiedenen Prototypen, die im Feld eingesetzt werden (vgl. Abbildung 1). Die Erfahrung hat gezeigt, dass Laborstudien zu diesem Typ von Anwendungen nur beschränkte Erkenntnisse in einzelnen Teilbereichen von möglichen Gestaltungsparametern bringen können [8]. Komplexere Fragen zur konkreten Erzeugung von Nutzen durch (halb-)öffentliche Displays oder zum Nutzen von Interaktivität auf diesen Displays lassen sich nur über Deployment-basierte Forschung [10] erzielen. Hierzu wird auch intensiv mit Partnern aus der Wirtschaft zusammengearbeitet – z.B. beim Einsatz von Informationsstrahlern in wissensintensiven Unternehmen oder im Kontext der (agilen) Softwareentwicklung.

Smarte urbane Objekte

Betrachtet man vernetzte, interaktive Objekte im (halb-)öffentlichen Raum, dann bewegt man sich bereits in den Sphären des „Internet of Things“. Im Projekt UrbanLife+ wird dieser Gedanke weiterverfolgt und an smarten urbanen Objekten gearbeitet, die helfen sollen, das Sicherheitsgefühl von Senioren im öffentlichen Raum zu steigern. Neben Informationsstrahlern (sowohl in Form von kleinen und großen Bildschirmen als auch durch Audio- oder Lichtsignale) sollen hier auch andere städtische Objekte „smart“ gemacht werden – z.B. Sitzbänke, Ampeln oder Straßenbeleuchtung [11].



(Abbildung 2. Smarte Urbane Objekte als Informationsstrahler – in der Form von interaktiven Großbildschirmen (links) bzw. einfachen Indikatoren am Wegesrand oder als Teil einer smarten Sitzbank (rechts))

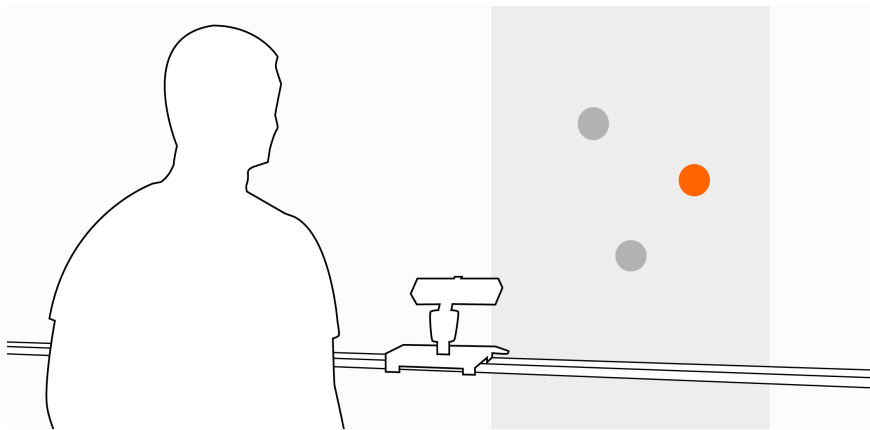
Bei der Gestaltung der Benutzerinteraktion zeigen sich hier für die involvierten Informatiker ähnliche Herausforderungen, wie bei den Informationsstrahlern im halb-öffentlichen Raum (vgl. Abbildung 2): Anpassungsfähigkeit, Mehrbenutzerfähigkeit, Walk-Up-And-Use (unmittelbar verständliche und erwartungskonforme Nutzung) und Joy-of-Use (Maß, in dem die Interaktion mit einem technischen System bei den Benutzern Gefühleindrücke wie Freude, Glück oder Spaß auslösen kann). Konkretes Forschungsziel im Projekt ist es deshalb auch herauszufinden, wie smarte urbane Objekte gestaltet sein sollten, um diese Herausforderungen zu erfüllen. So experimentieren wir im Bereich von Walk-Up-And-Use damit, dass Informationsstrahler nahende Personen erkennen und diese auf sich aufmerksam machen. Im Bereich von Joy-of-Use experimentieren wir mit verschiedenen Varianten von Aufgaben. Und im Bereich der Anpassungsfähigkeit versuchen wir das Konzept der Komfortzone als Kern von Benutzerprofilen und darauf basierenden Anpassungsverfahren zu nutzen und auszubauen. Methoden sind auch hier wieder die konstruktionsorientierte sowie die Deployment-basierte Forschung.

Blickinteraktion im öffentlichen Raum

Ein Forschungsschwerpunkt an der LMU München sind neuartige Interaktionstechniken für den öffentlichen Raum. Während die Interaktion mit Touch, Gesten und Mobiltelefonen bereits weit verbreitet ist [12–14], bieten Eyetracker – Geräte zur präzisen Verfolgung des Blicks eines Benutzers – eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten [15]. Blickdaten können einerseits implizit zur Messung von Aufmerksamkeit, Interesse, und kognitiver Belastung eines Benutzers genutzt werden. Dies führt sowohl zu einer neuen Qualität in der Reichweitenmessung, bietet gleichzeitig aber auch die Möglichkeit zur Adaption von Benutzerschnittstelle und Inhalten. Andererseits kann Blick zur expliziten Steuerung einer Benutzerschnittstelle verwendet werden, wobei Inhalte subtil und auf natürliche Art und Weise ausgewählt werden können. Ein Beispiel sind Umfragen auf großen Displays, wobei am Blickverhalten die ausgewählte Option erkannt werden kann [16].

Eyetracking ist eine in stationären Kontexten etablierte Technologie [17]. Der Einsatz im öffentlichen Raum bringt jedoch eine Reihe an praktischen Herausforderungen mit sich. Insbesondere haben Eyetracker einen eingeschränkten *Interaktionsbereich*. Einerseits kann der Benutzer aktiv in diesen Bereich geleitet werden – idealerweise ohne Ablenkung oder Verdeckung von Inhalten. Ein von uns untersuchter Ansatz ist die subtile Anpassung präattentiv wahrnehmbarer Eigenschaften von Inhalten (wie Helligkeit, Kontrast, Sättigung, Auflösung, Schärfe) an die aktuelle Position des Benutzers. Das bedeutet, dass die optimale Wahrnehmung vom Standort des Benutzers abhängt. Diese Anpassung führt dazu, dass der Benutzer zum sogenannten Sweetspot – der optimalen Interaktionsposition – hingezogen wird [18]. Ein alternativer Ansatz ist eine systemseitige Anpassung an Position und Bewegung des Benutzers. Mittels sogenannter aktiver Eyetracker kann sich das Gerät, beispielsweise über ein Schienensystem, derart platzieren (siehe Abbildung 3), dass Personen von einer beliebigen Stelle vor dem Bildschirm interagieren können – sogar während des Vorbeilaufens.

Die zweite Herausforderung besteht in der notwendigen *Kalibrierung*. Zwar existieren kalibrierungsfreie Techniken [19] zur expliziten Interaktion mit Inhalten – jedoch erlauben es diese nicht, die exakte Blickposition zu ermitteln. Insbesondere zum Messen von Aufmerksamkeit und Interesse ist dies jedoch von großer Bedeutung. Die herkömmliche Kalibrierung, bei der Benutzer eine Reihe von Punkten sequentiell betrachten müssen ist ungeeignet für den öffentlichen Raum, da dieser Mechanismus einer Erklärung bedarf sowie einen Zusatzaufwand für den Benutzer mit sich bringen. Aus diesem Grund erforschen wir Ansätze wie die Kalibrierung in die natürliche Interaktion des Benutzers integriert werden kann. Ein neuartiger Ansatz hierbei ist die Kalibrierung beim Lesen von Text. Die Idee ist durch entsprechende Visualisierung von Textinhalten Augenbewegungen hervorzurufen, welche die für eine Kalibrierung notwendigen Daten liefern [20].



(Abbildung 3. EyeScout: Aktive Eyetracker passen sich proaktiv an die Position des Benutzers an und ermöglichen somit ein freies Bewegen, beispielsweise vor einem großen öffentlichen Display.)

Benutzbare Sicherheit

Mobiltelefone ermöglichen uns auf immer mehr sensitive Information zuzugreifen (E-Mail, persönliche Fotos, Onlinebanking). Zusätzlich sammeln intelligente Uhren, Brillen und Armbänder eine Vielzahl an Daten, welche zur Analyse von Bewegungsmustern oder auch des Gesundheitszustandes verwendet werden können. Dies führt zu einer Notwendigkeit, solche Daten mittels geeigneter Authentifizierungsverfahren zu schützen. Eine zentrale Herausforderung ist hierbei der mit der Authentifizierung verbundene Aufwand, welcher immer noch viele Smartphone-Nutzer davon abhält, sichere Verfahren zu verwenden.

In unserer Forschung entwickeln wir robuste Verfahren gegen eine Vielzahl möglicher Angriffe mit dem Ziel, eine hohe Benutzbarkeit zu gewährleisten. Ein Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung *bildbasierter Passwortsysteme*. Solche Systeme nutzen unser visuelles Gedächtnis um Passwörter einprägsamer zu machen. Hierbei definiert der Benutzer ein Passwort als eine Reihe von Punkten in einem Bild (zum Beispiel die Fenster eines Gebäudes, vgl. Abbildung 4). Solche Verfahren gewinnen zunehmend an Bedeutung – eines der ersten kommerziellen Systeme, Picture Passwords, wurde mit Windows 8² eingeführt.

Eine Herausforderung liegt darin, dass prominente Punkte in Bildern von Benutzern häufig als Teil eines Passwortes gewählt werden und somit Angreifern wertvolle Hinweise bieten. Ein von uns vorgestellter Ansatz um dem entgegenzuwirken sind sogenannte Saliency Masks [21]. Basierend auf Modellen visueller Aufmerksamkeit [22] werden hierbei durch eine Analyse von Pixeleigenschaften wie Farbe, Intensität und Orientierung, gefährdete Bereiche in Bildern identifiziert und verhindert, dass Benutzer in diesen Bereichen Passwortpunkte selektieren. In unserer Forschung konnten wir zeigen, dass hierdurch die Sicherheit signifikant erhöht werden kann.

² Microsoft Windows 8 Picture Passwords: <https://blogs.msdn.microsoft.com/b8/2011/12/16/signing-in-with-a-picture-password/>



(Abbildung 4: Beispiel für ein grafisches Passwort, bestehend aus vier Passwortpunkten welche auf Objekten in Bildern definiert werden (hier: die Fenster eines Gebäudes))

Ein häufiger Angriff auf Passwörter auf Smartphones besteht darin, die Spuren, welche der Finger bei der Authentifizierung auf dem Bildschirm hinterlässt, zu analysieren. Grafische Passwörter bieten die Möglichkeit, solche Angriffe durch affine geometrische Transformationen signifikant zu erschweren [23]. Hierbei wird das Bild bei jeder Authentifizierung derart verändert (Translation, Rotation, Skalierung, Scherung), dass jeder Login zu einer unterschiedlichen Spur führt.

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Forschung im Bereich der benutzbaren Sicherheit liegt auf *verhaltensbiometrischen Verfahren*. Hierbei werden Verhaltensmuster des Benutzers, wie beispielsweise das Tipp- und Touchverhalten, Handposen und Nutzungsgewohnheiten analysiert [24]. Diese Informationen können für neuartige Authentifizierungsverfahren verwendet werden, welche im Hintergrund eine kontinuierliche Verifikation des Benutzers ermöglichen und zeitgleich für die Adaption der Benutzerschnittstelle, beispielsweise basierend darauf ob der Benutzer das Smartphone mit der rechten oder linken Hand bedient verwendet werden [25].

In unserer Forschung verwenden wir eine Vielzahl an Methoden. Insbesondere ist es im Bereich der benutzbaren Sicherheit wichtig, Studien in einem realen Nutzungskontext durchzuführen. Dies wird beispielsweise dadurch erreicht, dass neuartige Authentifizierungsverfahren für die Verwendung von Benutzern im Alltag auf ihrem Smartphone verwendet werden können. Hierfür stellen wir immer wieder Anwendungen in AppStores ein mit dem Ziel, eine möglichst breite Gruppe an Nutzern zu erreichen, welche Technologien ohne das Wissen, dass es sich um ein Forschungsprojekt handelt verwenden. Informationen über den Nutzungskontext bzw. Feedback wird mittels Experience Sampling und InApp Fragebögen erhoben.

Zusammenfassung und Ausblick

Anwender haben inzwischen eine Vielzahl unterschiedlicher Interaktionsgeräte zur Verfügung, deren Nutzung ohne das Studium von Handbüchern möglich sein muss: Private Smartphones, Tablets, interaktive Tische, öffentliche Interaktionswände und vieles mehr. Außerdem werden immer mehr Dienste über diese Geräte angesprochen. Ein wichtiger Aspekt dieser Dienste ist die Absehbarkeit der Folgen der Nutzung. Da Menschen bei der Interaktion mit Computern vielfach Aktionen, wie den Abschluss eines Kaufvertrages oder die Übermittlung persönlicher Daten auslösen, sollten sie bereits vor der Interaktion die Konsequenzen ihres Handelns abschätzen können.

In diesem Beitrag haben wir kurz exemplarisch einige Arbeiten vorgestellt, die zu einem Fortschritt in der MCI beigetragen haben bzw. beitragen wollen. Eine wichtige Erkenntnis ist dabei, dass bei der Forschung neben klassischen, auf Reproduzierbarkeit ausgelegten Laborstudien immer mehr komplexe Deployment-basierte Forschung eine Rolle spielt – bei der zuerst einmal Artefakte gebaut und dann in komplexen Szenarien evaluiert werden. Anstelle der unbedingten Reproduzierbarkeit tritt dabei die Transferierbarkeit als wichtiges Konzept der Erzielung und Aufbereitung des Erkenntnisgewinns.

Neben der weiteren Beschäftigung mit diesen methodischen Herausforderungen werden sich zukünftige Arbeiten in unseren Gruppen zuerst einmal weiter den bei den Beispielen angesprochenen Kern-Herausforderungen widmen. Insbesondere soll weiter daran gearbeitet werden, was für Mehrbenutzerfähigkeit und Walk-Up-And-Use-Fähigkeit notwendig ist – z.B. in Form von klaren Designempfehlungen dazu.

Danksagung

Das Projekt UrbanLife+ wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) vom 1.11.2015 bis zum 31.10.2020 unter dem Förderkennzeichen 16SV7443 gefördert.

Literaturverzeichnis

1. Weiser M (1991) The computer for the 21st century. *Sci Am* 265:94–104. doi: 10.1145/329124.329126
2. Ishii H, Ullmer B (1997) Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In: *Proc. Conf. Hum. Factors Comput. Syst.* ACM Press, Atlanta, GA, pp 234–241
3. Norman DA (1998) *The Invisible Computer.* Cambridge, MA
4. Cooper A (2004) *The Inmates are running the Asylum: Why High Tech Products Drive us Crazy and How to Restore the Sanity.* Sams - Pearson Education
5. Herczeg M, Koch M (2015) Allgegenwärtige Mensch-Computer-Interaktion. *Informatik-Spektrum* 38:290–295. doi: 10.1007/s00287-015-0901-1
6. Koch M, Ott F (2011) CommunityMirrors als Informationsstrahler in Unternehmen: Von abstraktem Kontext zu realen Arbeitsumgebungen. *Informatik-Spektrum* 34:153–164. doi: 10.1007/s00287-010-0517-4
7. Ott F, Koch M (2012) Social Software Beyond the Desktop — Ambient Awareness and Ubiquitous Activity Streaming. *it - Inf Technol* 54:243–252. doi: 10.1524/itit.2012.0687
8. Nutsi A, Koch M (2016) Readability in Multi-User Large-Screen Scenarios. *Proc 9th Nord Conf Human-Computer Interact.* doi: 10.1145/2971485.2971491
9. Lösch E, Nutsi A, Koch M (2015) Mediating Movement-based Interaction through Semiotically Enhanced Shadow Representations. In: *Proc. UbiComp 2015.* ACM Press, pp 783–786
10. Alt F, Vehns J (2016) Opportunistic Deployments: Challenges and Opportunities of Conducting Public Display Research at an Airport. *Proc Intl Symp on Pervasive Displays.* doi: 10.1145/2914920.2915020
11. Kötteritzsch A, Koch M, Wallrafen S (2016) Expand Your Comfort Zone! Smart Urban Objects to Promote Safety in Public Spaces for Older Adults. *Adjun Proc UbiComp 2016.* doi: 10.1145/2968219.2968418
12. Alt F, Shirazi AS, Kubitz T, Schmidt A (2013) Interaction techniques for creating and exchanging content with public displays. In: *Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.* ACM, New York, NY, USA, pp 1709–1718
13. Davies N, Clinch S, Alt F (2014) Pervasive Displays – Understanding the Future of Digital Signage. doi: 10.2200/S00558ED1V01Y201312MPC011
14. Müller J, Walter R, Bailly G, et al (2012) Looking Glass: A Field Study on Noticing Interactivity of a Shop Window. In: *Proc. 2012 ACM Conf. Hum. Factors Comput. Syst.* ACM, New York, NY, USA, pp 297–306
15. Khamis M, Alt F, Bulling A (2016) Challenges and Design Space of Gaze-enabled Public Displays. *Proc 2016 ACM Int Jt Conf Pervasive Ubiquitous Comput.* doi: 10.1145/2968219.2968342
16. Khamis M, Trotter L, Tessmann M, et al (2016) EyeVote in the Wild: Do Users bother Correcting System Errors on Public Displays? *Proc 15th Int Conf Mob Ubiquitous Multimed.* doi: 10.1145/3012709.3012743
17. Poole A, Ball LJ (2005) Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects. *Encycl Human-Computer Interact* 211–219. doi: 10.4018/978-1-59140-562-7
18. Alt F, Bulling A, Gravanis G, Buschek D (2015) GravitySpot: Guiding Users in Front of Public Displays Using On-Screen Visual Cues. *Proc. 28th ACM Symp. User Interface Softw. Technol.*
19. Vidal M, Bulling A, Gellersen H (2013) Pursuits: Spontaneous Interaction with Displays Based on Smooth Pursuit Eye Movement and Moving Targets. In: *Proc. 2013 ACM Int. Jt. Conf. Pervasive Ubiquitous Comput.* ACM, New York, NY, USA, pp 439–448
20. Khamis M, Saltuk O, Hang A, et al (2016) TextPursuits: Using Text for Pursuits-based Interaction and Calibration on Public Displays. In: *Proc. 2016 ACM Int. Jt. Conf. Pervasive Ubiquitous Comput.* ACM, New York, NY, USA, pp 274–285
21. Bulling A, Alt F, Schmidt A (2012) Increasing The Security Of Gaze-Based Cued-Recall Graphical Passwords Using Saliency Masks. In: *Proc. 2012 ACM Annu. Conf. Hum. Factors Comput. Syst.* ACM, New York, NY, USA, pp 3011–3020

22. Itti L, Koch C (2001) Computational modelling of visual attention. *Nat Rev Neurosci* 2:194–203.
23. Schneegass S, Steimle F, Bulling A, et al (2014) SmudgeSafe: Geometric Image Transformations for Smudge-resistant User Authentication. *Proc. 2014 ACM Int. Jt. Conf. Pervasive Ubiquitous Comput.*
24. Buschek D, De Luca A, Alt F (2016) Evaluating the Influence of Targets and Hand Postures on Touch-based Behavioural Biometrics. *Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.*
25. Buschek D, Alt F (2017) ProbUI: Generalising Touch Target Representations to Enable Declarative Gesture Definition for Probabilistic GUIs. *Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.*