

Andreas Kunz, Ali Alavi, Morten Fjeld

Multistatus Interaktionsgeräte für interaktive Tische

Multi State Devices for Interactive Tables

Tischbasierte Interaktion_Statusinformation der Interaktionsgeräte_Mehrbenutzersystem

Zusammenfassung. In diesem Beitrag werden ein Verfahren und ein Prototyp vorgestellt, die es ermöglichen, viele Interaktionsgeräte gleichzeitig auf einer interaktiven Tischfläche zu betreiben, ohne dass die Reaktionszeit des Systems hierdurch reduziert wird. Darüber hinaus können die Interaktionsgeräte aktiv ihren Zustand über ein mehrstelliges Bitwort an das System signalisieren. Dies erlaubt eine zusätzliche, hochauflösende Eingabe von Information.

Summary. This article introduces a procedure and a prototype that allow using multiple interactive devices on an interactive tabletop without reducing the system's overall responsiveness. Furthermore, the active interaction devices could transfer their individual state to the system using a multi-digit bit word. This allows entering additional information with a high resolution.

1. Einleitung

Die Zunahme der Datenkomplexität erfordert auch leistungsfähigere Interaktionsmöglichkeiten. Daher wurden bereits in den 1970er Jahren graphische Benutzerinterfaces (GUI) entwickelt [1], welche eine direkte Interaktion mit der dargestellten Information ermöglichen. Während bei Systemen dieser Art eine stiftbasierte Interaktion bereits möglich war, erforderte eine weiter steigende Komplexität der Daten eine intuitivere Bedienertechnologie. Diese Technologie wird durch aus dem täglichen Leben bekannten Formen und Interaktionsmetaphern benutzerfreundlicher. Diese Art der intuitiven Interaktion wurde von Ishii [2] mit sogenannten begreifbaren Interaktionsgeräten (TUI = Tangible User Interfaces) realisiert.

Die begreifbaren Interfaces eignen sich insbesondere zur Interaktion auf horizontalen Arbeitsflächen, wofür ActiveDesk [3], metaDESK [4], BUILD-IT [5], SenseTable [6] oder reacTable [7] herausragende Beispiele sind. Die meisten die-

ser Systeme sind auch in der Lage, mehrere Interaktionsgeräte gleichzeitig zu erkennen, wodurch sowohl ein beidhändiges Interagieren als auch das Arbeiten im Team ermöglicht werden. Jedes Interaktionsgerät auf diesen digitalen Flächen ist dabei einer eindeutigen Funktion zugeordnet und kann diese aktivieren oder deaktivieren. Begreifbare Interaktionsgeräte, die es erlauben, mehrere Parameter einer Funktion zu variieren, existieren jedoch bisher nicht; häufig wird hierfür auf Maus und Tastatur zurückgegriffen. Die exakte Eingabe von Winkeln, das Definieren einer Höhe, das feine granulare Einstellen von Signalen mit einem Potentiometer oder das exakte Auswählen von Farben über RGB-Schieberegler sind typische Anwendungen für TUIs, die dann eine hochauflösende Statusinformation senden müssen.

Der folgende Beitrag stellt ein technisches Lösungskonzept vor, wie die Realisierung eines Multistatus-Interaktionsgerätes erreicht werden kann. Nach der Darlegung vorgängiger Forschungsarbeiten werden das Konzept sowie dessen technische Realisierung vorgestellt. Abschließend wird ein Ausblick auf mögliche Anwendungsszenarien gegeben.

2. Vorgängige Arbeiten

Während für tischbasierte Interaktionssysteme das Erfassen der Position auf der Tischfläche unabdingbar ist, können nur wenige Systeme weitere Information wie beispielsweise Identität oder Status der interaktiven Elemente erfassen. Zu diesen Systemen gehören:

- ActiveDesk [3]: Bei diesem System wird ein zusätzliches elektromagnetisches Trackingsystem eingesetzt, um die Position sogenannter „Bricks“ zu erkennen. Das hierbei verwendete kommerzielle Trackingsystem kann prinzipiell 32 Kanäle unterscheiden und daher auch ebenso viele Interaktionsgeräte unterschiedlicher Identität. Eine Statuserkennung ist nicht möglich.
- BUILD-IT [5]: Die Interaktions-Bricks dieses Systems werden einer Funktion dynamisch zugeordnet, wodurch nur für die Dauer dieser Zuordnung eine eindeutige Identität existiert. Das System ist zudem in der Lage, die Orientierung dieser Bricks zu erkennen und auszuwerten. Hierdurch können binäre Statusinformationen wie z.B. „Ein/Aus“ verändert werden.

- CRiON [8]: Dieses System setzt farbiges Licht zur Differenzierung der unterschiedlichen Interaktionsgeräte (Stifte) ein. Aufgrund der begrenzten Anzahl farbiger LEDs können nur vier unterschiedliche Identitäten (weiß, grün, rot, blau) unterschieden werden.
- Ortholumen [9]: Auch dieses System nutzt Licht im sichtbaren Wellenlängenbereich zur Unterscheidung von drei Identitäten. Alternativ kann diese Farbcodierung auch zum Signalisieren unterschiedlicher Statusinformationen verwendet werden, sofern nur ein Interaktionsgerät eingesetzt wird.
- InfrActables [10]: Dieses System kann sowohl unterschiedliche Identitäten als auch unterschiedliche Status der Interaktionsgeräte erkennen. Hierzu müssen fünf aufeinanderfolgende Kamerabilder ausgewertet werden. Erst danach ist die komplette Information über ein Interaktionsgerät vorhanden. Aufgrund der stark reduzierten Update-Rate ist jedoch die maximale Anzahl unterschiedlicher Interaktionsgeräte (= Identitäten, IDs) auf sechs begrenzt, ebenso ist die Anzahl möglicher Statusinformationen auf vier pro Interaktionsgerät beschränkt.

Allen System ist gemein, dass sie nur eine sehr geringe Anzahl an unterschiedlicher Statusinformation übertragen können, da andernfalls die Latenzzeit des Systems für eine flüssige Interaktion zu groß wird (> 100 ms) [15]. In den folgenden Abschnitten wird daher beschrieben, wie sowohl eine wesentlich höhere Anzahl an Interaktionsgeräten als auch deutlich mehr Statusinformationen übertragen werden können, ohne die Latenzzeit des Gesamtsystems zu erhöhen. Das hier vorgestellte Lösungsprinzip kann für vielfältige TUIs eingesetzt werden und eignet sich sowohl für horizontale Displays als auch für Interaktionswände, sofern diese auf einer Rückprojektion beruhen.

3. Forschungsbeitrag

Die oben aufgeführten interaktiven Tische nutzen wie andere Systeme auch eine Kamera, um die Position der Interaktionsgeräte auf der interaktiven Fläche zu erkennen. Wenn diese Geräte zusätzlich

noch eine Statusinformation übertragen sollen, so wird hierfür in der Regel infrarotes (IR) Licht eingesetzt, welches für den Anwender unsichtbar ist, jedoch von standardmäßigen CCD-Kameras erkannt werden kann. Je sequentiell übertragenem Bit wird somit ein Kamerabild benötigt. Durch die Auswertung einer Folge von Kamerabildern erhält das System alle Informationen eines Interaktionsgerätes wie Position, Identität und Status. Mit zusätzlichen Interaktionsgeräten und mit steigender Statusinformation werden immer mehr Bits übertragen und im System ausgewertet. Dadurch wird die Reaktionszeit des Systems reduziert. Wird beispielsweise eine handelsübliche Kamera mit einer Bilderfassungsfrequenz von 60 Hz eingesetzt, so wird durch fünf zu übertragenden Bits die Frequenz des Gesamtsystems auf 12 Hz reduziert. Das System befindet sich dann an der unteren Grenze, an der bereits merkliche Latenzzeiten in der Bedienung auftreten.

Eine naheliegende Lösung wäre nun, einen weiteren Übertragungskanal, beispielsweise Bluetooth, zu benutzen, um weitere Informationen über das Interaktionsgerät zu übertragen. Ein solcher Ansatz bringt aber folgende Nachteile mit sich:

- Die Komplexität und auch der Energiebedarf der aktiven Interaktionsgeräte steigen merklich an.
- Der Bluetooth-Stack begrenzt die Anzahl der einzelnen Interaktionsgeräte auf derzeit 6.
- Die unterschiedlichen Interaktionsgeräte bedürfen einer exakten Synchronisierung, um eine eindeutige Zuordnung der Informationen zu dem Interaktionsgerät sicher zu stellen.

Die andere Möglichkeit, die hier eingesetzt wird, ist die Benutzung von IR Kommunikation. Da die in den Interaktionsgeräten eingesetzten IR-Sendeleuchten in der Lage sind, eine wesentlich höhere Bitrate zu senden und somit das limitierende Element vielmehr die Kamera ist, wurde entschieden, das System an dieser Stelle zu optimieren. In Qualitrack [11] wird zur Erhöhung der Bilderfassungsfrequenz eine Hochgeschwindigkeitskamera eingesetzt. Solche Kameras weisen eine Erfassungsgeschwindigkeit von 1000 fps (frames per second) auf,

wenn auch mit einer geringeren räumlichen Auflösung. Solche Kameras sind für professionelle Trackingsysteme ausgelegt und daher nicht geeignet für den Einsatz in interaktiven Tischen [12]. In MightyTrace [13] werden deshalb IR-Halbleitersensoren – nunmehr in einem LC-Bildschirm integriert – zur Positionserfassung und zur Statuserfassung von Interaktionsgeräten eingesetzt. Dank der hohen Auslesegeschwindigkeit dieser Sensoren kann ein serielles Übertragungsprotokoll eingesetzt werden, welches für jedes Interaktionsgerät ein dediziertes Zeitfenster vorsieht. Somit ist dieses System bereits in der Lage, pro Interaktionsgerät eine höhere Anzahl von Statusinformation zu empfangen. Allerdings ist dieses System für den Einbau in LC-Bildschirmen konzipiert. Die IR-Sensoren sind flächig unter der LC-Matrix verteilt, um durch eine bikubische Interpolation zwischen den jeweiligen Sensorwerten die Position des Interaktionsgerätes zu bestimmen. Diese Anordnung der Sensoren macht den Ansatz allerdings ungeeignet für Rückprojektionssysteme, da sich die IR-Sensoren im Lichtpfad befinden und somit den Anwender stören würden.

Um aber dennoch die hohe Detektionsgeschwindigkeit der IR-Halbleitersensoren auch bei Rückprojektionssystemen nutzen zu können, wird hier ein zweikanaliges System vorgestellt, in welchem die Informationen wie folgt aufgeteilt werden:

- Handelsübliche Kamera für die Erfassung der Position und der Identität der Interaktionsgeräte. Die Kamera erfasst die komplette Rückprojektionsfläche und muss geometrisch kalibriert werden, um die Positionen der aktiven TUIs zu erfassen.
- IR-Halbleitersensor (ohne Optik) für den Empfang der Statusinformationen in einem dedizierten Zeitfenster. Dieser detektiert nur die Statusbits der aktiven TUIs und wird idealerweise neben der Kamera platziert. Prinzipiell ist ein IR-Empfänger ausreichend, zur Erhöhung der Betriebssicherheit können mehrere vorgesehen werden.

Somit ist die Kamera jetzt nur noch für die Positionserkennung der Interaktions-

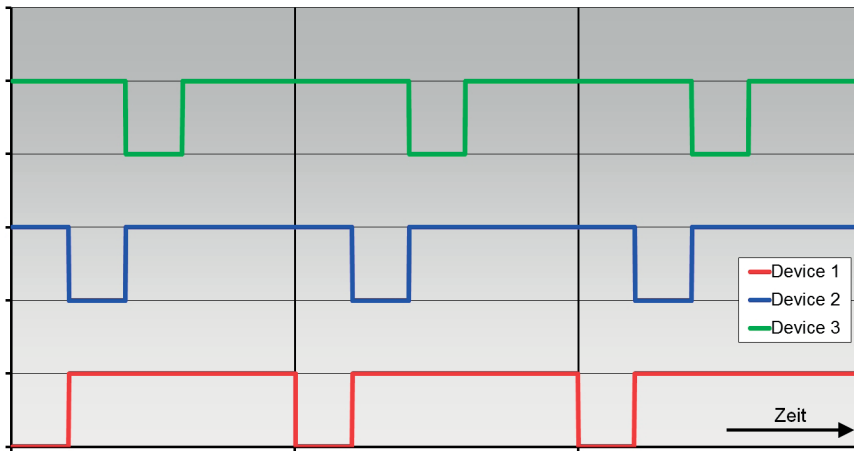


Bild 1: Zeitlicher Verlauf des IR-Sendesignals am Beispiel von drei Interaktionsgeräten (Interaktionsgeräte 1 bis 3).

geräte zuständig sowie für das Erkennen der jeweiligen Identität, nicht aber für das Detektieren des Status. Das hierfür gewählte Übertragungsprotokoll für die Kamera nimmt eine Idee aus MightyTrace [13] auf, invertiert aber das Wirkprinzip gemäß Bild 1. Die hohe Detektionsgeschwindigkeit der Halbleitersensoren erlaubt ein eigenes Zeitfenster für jedes Interaktionsgerät, in dem es seine IR-Sendodiode einschalten darf.

In Bild 1 ist zu erkennen, dass jedes Interaktionsgerät sein eigenes Zeitfenster („0“-Pegel des vom Interaktionsgerät emittierten Signals) besitzt, in dem es sich eindeutig zu erkennen gibt. Allerdings wurde das Wirkprinzip invertiert, denn die Interaktionsgeräte senden immer ein Signal mit Ausnahme ihres spezifischen Zeitfensters. Somit steht zur Erkennung der Position eines Interaktionsgerätes nahezu die volle Bilder-

fassungsrate der Kamera zur Verfügung, insbesondere dann, wenn mehrere Interaktionsgeräte gleichzeitig auf der tischbasierten Interaktionsfläche verwendet werden. Die Update-Rate für die Position lässt sich für dieses Wirkprinzip über den folgenden Zusammenhang berechnen:

$$f_{\text{update}} = f_{\text{cam}} \cdot \left(1 - \frac{1}{M+1}\right)$$

Mit:

- M = Anzahl der Interaktionsgeräte auf der Interaktionsfläche
- f_{cam} = Bilderfassungsrate der Kamera
- f_{update} = Aktualisierungsrate der Positionsinformation für das Gesamtsystem

In einer normierten Darstellung ergibt sich somit der Verlauf nach Bild 2.

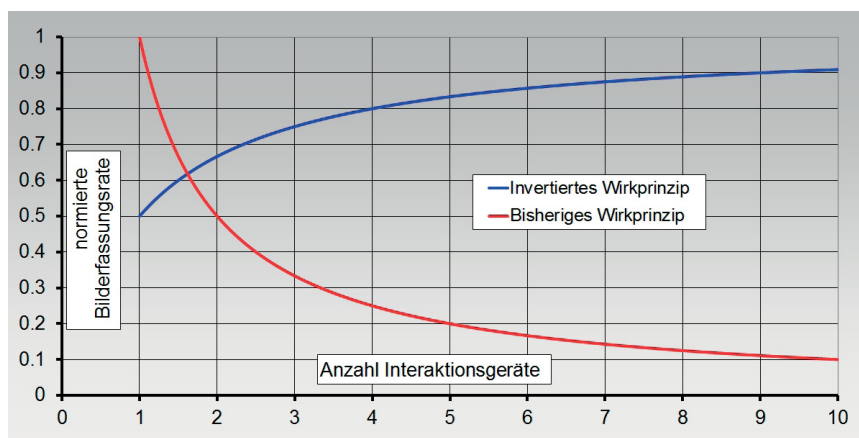


Bild 2: Normierte Darstellung der Aktualisierungsrate der Position für das invertierte Wirkprinzip (blau) im Vergleich zu dem bisherigen Wirkprinzip (rot) aus MightyTrace [13].

Ein Leistungsvergleich zwischen dem bisherigen und dem neuen Wirkprinzip zeigt, dass mit dem neuen Verfahren eine deutliche Steigerung der System-Update-rate zu erreichen ist, sobald mehr als zwei Interaktionsgeräte gleichzeitig auf der Interaktionsfläche betrieben werden. Lediglich bei Betrieb eines einzigen Interaktionsgerätes ist das neue Verfahren langsamer. In diesem Fall wird nur mit der halben Akquisitionsrate der Kamera gearbeitet. Der wichtigste Aspekt ist jedoch, dass insbesondere bei mehreren Interaktionsgeräten die gesamte Updaterate des Systems nahe an der Bilderfassungsrate der Kamera liegt und dadurch die Latenzzeiten deutlich verringert werden.

Während die Aktualisierungsrate des Systems vor allen Dingen während der Interaktion wichtig ist, spielt auch die Erkennungszeit der Interaktionsgeräte durch das System eine wichtige Rolle. Die Erkennungszeit trägt ebenso zur Akzeptanz des Systems bei wie eine hohe Updaterate. Während der Interaktion mit dem System bewegt der Anwender die Interaktionsgeräte nicht nur auf der Fläche, sondern er hebt die Interaktionsgeräte (wiederholt) von der Tischoberfläche ab, um sie an geeigneter Stelle wieder aufzusetzen (z.B. beim Schreiben oder Skizzieren). Genau für diesen Fall ist es wichtig, dass ein Interaktionsgerät beim Aufsetzen schnell (wieder) erkannt wird. Für die maximal auftretende Verzögerungszeit gilt:

$$T_t = \frac{M}{f_{\text{cam}}}$$

Diese zeitliche Verzögerung tritt gleichermaßen sowohl bei der neuen als auch bei der bisherigen Identitätserfassung auf und ist wiederum von der Anzahl der Interaktionsgeräte abhängig. Durch das neue Erfassungsverfahren wird somit eine deutlich erhöhte Aktualisierungsrate bei der Positionserkennung erreicht.

In einem nächsten Schritt muss nun noch der Status jedes einzelnen Interaktionsgerätes übertragen werden. Hierfür wird die nicht-kontinuierliche Bilderfassung der Kamera genutzt. Während die erfassten Bilder ausgelesen werden, kann die Kamera keine neuen Informationen aufnehmen – die Kamera ist während dieser Zeit faktisch „blind“.

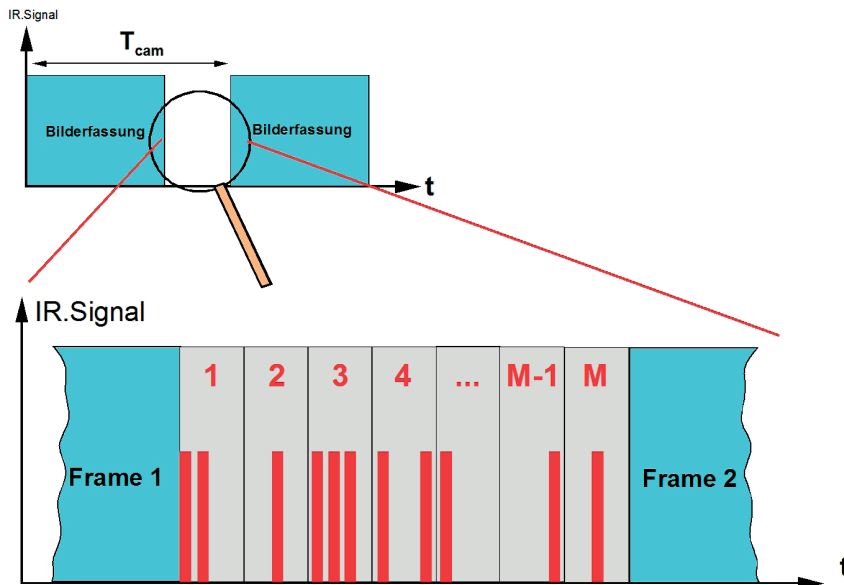


Bild 3: Schematische Darstellung zur Übertragung der Statusinformationen in dem Zeitfenster zwischen zwei Bilderfassungen.

Das Ziel ist nun, diese inaktive Zeit der Kamera zu nutzen, um über einen IR-Halbleitersensor (IR-Empfänger) zusätzliche Statusinformationen zu empfangen. Das IR-Sendesignal aus Bild 1 wird daher derart erweitert, dass die IR-Sendeleuchten (IR-Sender) nicht konstant leuchten, sondern in Synchronisation mit der Kamera den Status des jeweiligen TUI durch eine Bitfolge in einem für ein TUI dedizierten Zeitfenster übertragen (siehe Bild 3). Durch Nutzung der „inaktiven“ Zeit der Kamera kann das TUI auch Statusinformationen übertragen, obwohl zur Kennzeichnung der ID gemäß Bild 1 ein spezifisches TUI womöglich eine logische „0“ (kein IR-Signal) gesendet werden müsste.

Um die empfangenen Statusinformationen eindeutig einem Interaktionsgerät zuordnen zu können, wird die Zeit zwischen zwei Bildern in M kleinere Zeitfenster unterteilt. Jedes Zeitfenster ist für die Statusinformation eines spezifischen Interaktionsgerätes vorgesehen. Die Anzahl der übertragbaren Statusbits SB berechnet sich hierbei wie folgt:

$$SB = R \cdot \frac{\left(\frac{1}{f_{cam}} - e\right)}{M}$$

Mit:

- R = Framerate des IR-Halbleitersensors [Hz]

- f_{cam} = Bilderfassungsfrequenz der Kamera [Hz]
- M = Anzahl der aktiven Interaktionsgeräte []
- e = Bilderfassungszeit der Kamera [s]

Somit ergibt sich beispielsweise mit den Kennwerten handelsüblicher Bauelemente ($R = 22$ kHz, $f_{cam} = 60$ Hz, $M = 5$; $e = 10$ ms) die Möglichkeit, 29 Statusbits zu übertragen. Damit sind rund 537 Millionen unterschiedliche Status pro Interaktionsgerät möglich. Um eine hohe Systemstabilität für den ersten Prototypen zu gewährleisten, wurden aber in der praktischen Umsetzung nicht die maximal möglichen Statusbits benutzt. Stattdessen wurde in dem ersten Prototypen lediglich eine Übertragungsrate von 1.6 kbps umgesetzt, was die Übertragung von sechs unterschiedlichen Status erlaubt. Für die Steuereinheit des Gesamtsystems wurde ein Arduino ATmega Mikroprozessor verwendet, welcher den Synchronisationsblitz für die Interaktionsgeräte triggert und den Synchronisationsimpuls für die Kamera sendet.

Bild 4 zeigt den Versuchsaufbau innerhalb eines Rückprojektionstisches. Neben der PointGrey-Kamera („d“) ist der IR-Empfänger („a“) zusammen mit dem Arduino-Mikroprozessorboard zu erkennen. Im Hintergrund ist der IR-Trigger zur Synchronisation der Interaktionsgeräte zu sehen. Das Arduino-Board und die Kamera sind an unterschiedlichen USB-Ports des Computers angeschlossen. Weiterhin ist „b“ der Projektor und „c“ die aktiven TUIs mit den IR-Sendeleuchten.

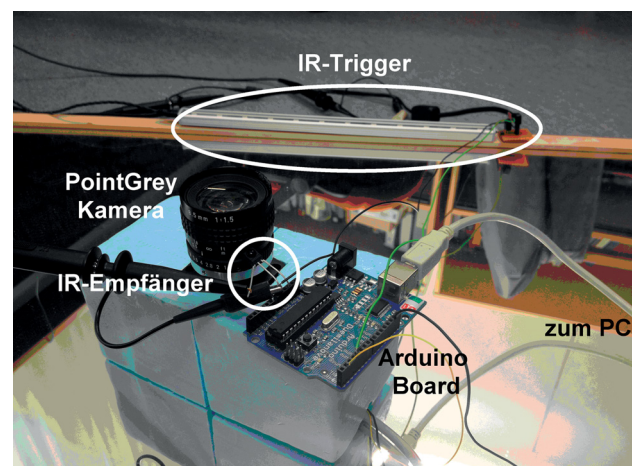
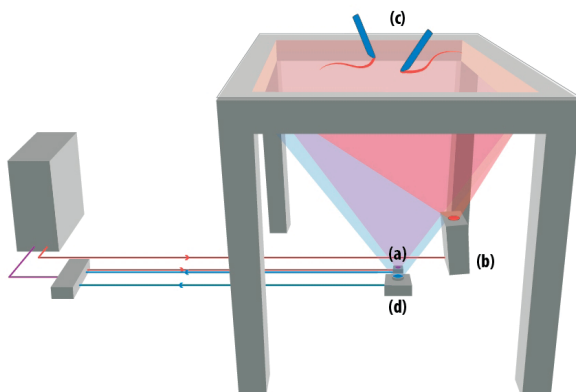


Bild 4: Schematische Darstellung und realisierter Versuchsaufbau.

Wie in InfrActables [10] und MightyTrace [13] werden auch in diesem Aufbau aktive Interaktionsgeräte eingesetzt. Diese werden von einem Infrarotimpuls getriggert und reagieren nach einer internen Signalverarbeitung mit ihrer spezifischen Antwort auf den Impuls. Die von dem Arduino-Board über ein IR LED-Array gesendeten Impulse haben nicht alle die gleiche Länge, sondern ein einzelner Triggerimpuls wurde etwas länger gewählt, um hiermit den Anfang eines Abfragezyklus zu kennzeichnen und somit das ganze System synchron zu halten.

Die hier vorgestellte Technologie eignet sich nicht nur für den Einsatz auf Rückprojektionssystemen, sondern lässt sich ebenso mit LC-Bildschirmen kombinieren. Wie in TNT [14] gezeigt wurde, ist die LC-Matrix transparent für infrarotes Licht. Daher könnten hier sowohl IR-Sender als auch IR-Empfänger unterhalb der Matrix platziert werden. Es wäre beispielsweise auch möglich, für die Positionserfassung einen SAMSUNG SUR 40 – Monitor (MS Surface II) mit Pixelsense-Technologie einzusetzen und die Statusinformation über zusätzlich integrierte Halbleitersensoren abzufragen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein zweikanaliges System vorgestellt, welches in der Lage ist, sehr viele (bis zu 2^{29}) Statusinformationen pro Interaktionsgerät zu übertragen. Hiermit ist es nun möglich, eine neue Dimension der Interaktivität für das Arbeiten mit TUIs auf interaktiven Flächen zu realisieren, welche neben der intuitiven Bedienung auch die genaue und schnelle Eingabe von zusätzlichen Parametern erlauben.

Der hier vorgestellte Ansatz ermöglicht, zusätzliche Statusinformationen zu übermitteln und bietet somit mehr Freiheitsgrade zur Informationseingabe für den Benutzer. Die zusätzliche

Information ist nicht mehr, wie bei den eingangs vorgestellten Verfahren, an geometrische und zeitliche Größen der TUI-Position gebunden. So können beispielsweise Farbwerte ähnlich wie bei InfrActables [13] nun anstelle über den Rotationswinkel eines Farb-TUIs direkt über Schieberegler am TUI ausgewählt werden.

In einem nächsten Schritt sollen Interaktionsgeräte mit dieser neuen Technologie zu einer Applikation aus dem Bereich des Krisenmanagements erstellt und erprobt werden. Dieses Anwendungsszenario sehen wir als besonders geeignet an, da dort ein kollaboratives Arbeiten auf einer gemeinsamen Interaktionsfläche erforderlich ist. Darüber hinaus erfolgt die Interaktion mit dem System unter einem durch die Krisensituation hervorgerufenen Zeitdruck, so dass eine sehr sorgfältig angepasste Gestaltung der TUI erforderlich ist.

Danksagung

Wir danken Lars Lischke für die gute Hilfe bei der Textgestaltung sowie der „Swedish Foundation for Strategic Research“, die es Morten Fjeld ermöglichte, bei Inspire der ETH Zürich diese Forschungsarbeit zu begleiten.

Literatur

- [1] Sutherland, Ivan E.: SketchPad: A Man-Machine Graphical Communication System; in: Tagungsband des SHARE Design Automation Workshop (DAC '64); S. 6.329–6.346; ACM; 1964
- [2] Ishii, H.; Ullmer, B.: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms; in: Tagungsband der SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97); pp. 234–241; ACM; 1997
- [3] Fitzmaurice, G.; Ishii, H.; Buxton, W.: Bricks: Laying the Foundation Graspable User Interfaces; in: Tagungsband der CHI'95; S. 442–449; ACM; 1995
- [4] Ullmer, B.; Ishii, H.: The metaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces; in: Tagungsband der UIST '97; S. 223–232; Springer; 1997

- [5] Fjeld, M.; Bichsel, M.; Rauterberg, M.: BUILD-IT: An Intuitive Design Tool Based on Direct Object Manipulation; in: Wachsmut, I.; Fröhlich, M. (Hrsg.): Gesture and Sign Language in Human-Computer Interaction; Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1371; S. 297–308; 1998
- [6] Patten, J.; Ishii, H.; Hines, J.; Pangaro, G.: SenseTable: A Wireless Object Tracking Platform for Tangible User Interfaces; in: Tagungsband der CHI 2001; S. 253–260; ACM; 2001
- [7] Jourda, S.; Geiger, G.; Alonso, M.; Kaltenbrunner, M.: The reacTable: Exploring the Synergy between Live Music Performance and Tabletop Interfaces; in: Tagungsband der 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction; S. 139–146; ACM; 2007
- [8] Kunz, A.; Kennel, Th.; Mazzone, A.; Müller, S.: Workplace to Support the Teamwork in the Early Stages of the Product Development Process; in: Tagungsband der Virtual Concept 2004; S. 181–187; 2004
- [9] Piazza, T.; Fjeld, M.: Ortholumen: Using Light for Direct Tabletop Input; in: Tagungsband der IEEE Tabletop; S. 193–196; IEEE; 2007
- [10] Ganser Schwab, C.; Steinemann, A.; Kunz, A.: InfrActables: Multi-User Tracking System for Interactive Surfaces; in: Tagungsband der IEEE Conference on Virtual Reality (IEEE VR 2006); S. 253–256; 2006
- [11] Hofer, R.; Nescher, T.; Kunz, A.: Qualitrack: Highspeed TUI Tracking for Tabletop Application; in: Tagungsband der Interact 2009; S. 332–335; 2009
- [12] Müller-Tomfelde, Ch.; Fjeld, M.: Tabletops: Interactive Horizontal Displays for Ubiquitous Computing; in: IEEE Computer, Vol. 45, No. 2; S. 78–81; 2012
- [13] Hofer, R.; Kaplan, P.; Kunz, A.: MightyTrace: Multiuser Technology on LCDs; in: Tagungsband der CHI 2008; S. 215–218; 2008
- [14] Hofer, R.; Kunz, A.: TNT: Touch ,n' Tangibles on LC-Displays; in: Tagungsband der 8th International Conference on Entertainment Computing – Lecture Notes of Computer Science; S. 222–227; 2009
- [15] Weiss, J. A.: Feinmotorische Koordination von Hand- und Fingerbewegungen bei der manuellen Mensch-Computer-Interaktion; Dissertation ETH Zürich; 1998

1 Andreas Kunz Nach dem Abschluss seines Studiums der Elektrotechnik mit Vertiefungsrichtung Nachrichtentechnik im Jahr 1989 an der Technischen Universität Darmstadt betreute Andreas Kunz verschiedene Projekte in Forschung und Industrie. 1994 trat er ins Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik der ETH Zürich ein, wo er das Forschungsgebiet Virtual Reality aufbaute. Nach dem Doktorat im Jahr 1998 erfolgte 2004 die Habilitation auf dem Thema «Interaktion mit dem digitalen Produktmodell im virtuellen Raum». Heute leitet er die Forschungsgruppe ICVR (Innovation Center Virtual Reality) der ETH Zürich, die sich seit mehreren Jahren mit der Entwicklung benutzerorientierter VR-Systeme für industrielle Geschäftsprozesse beschäftigt.

E-Mail: kunz@iwf.mavt.ethz.ch

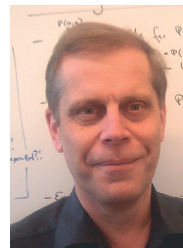
2 Morten Fjelds Forschung liegt im Bereich Human-Computer Interaction (HCI) mit einem Schwerpunkt auf Tangible und Tabletop Computing. In 2005 hat er das t2i Interaction Lab,

www.t2i.se, an der Chalmers TH in Göteborg, Schweden, gegründet. Er hat einen doppelten MSc Abschluss in angewandter Mathematik von NTNU (Trondheim, Norwegen) und von der ENSIMAG (Grenoble, Frankreich), sowie einen PhD der ETH (Zürich, Schweiz). In 2002 hat Morten Fjeld die ETH Medaille erhalten für seine Doktorarbeit „Designing for Tangible Interaction“. Morten Fjeld hat auch eine reichhaltige industrielle Erfahrung aus den Bereichen Fluidmechanik, Simulatoren, und User Interface Design.

E-Mail: morten@fjeld.ch

3 Ali Alavi absolvierte sein Bachelor Studium an der Amirkabir University of Technology, Teheran, Iran. Er wechselte danach an die Technische Universität Chalmers in Göteborg, Schweden, wo er im Sommer 2012 seinen Master in Computerwissenschaften abschloss. Unmittelbar danach begann er sein Doktoratsstudium an der ETH Zürich auf dem Gebiet „Tischbasierte Interaktion“ und „Gestenerkennung“.

E-Mail: alavi@iwf.mavt.ethz.ch



1



2



3