



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung

Maria Kordyukova

Eyetracking:

seine Gegenwart, Zugänglichkeit und Anwendung

Maria Kordyukova

Eyetracking:

seine Gegenwart, Zugänglichkeit und Anwendung

Ausarbeitung eingereicht im Rahmen des Studiums

im Studiengang Next Media 2014/2015
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Kai von Luck

Abgegeben am 10.08.2014

Maria Kordyukova

Thema der Ausarbeitung

Eyetracking: seine Gegenwart, Zugänglichkeit und Anwendung

Stichworte

Eyetracking, Eye Tracking, Tablets, Gesichtserkennung, neuronale Netzwerke, Anwendungsbereiche

Kurzzusammenfassung

In der vorliegenden Ausarbeitung wird zuerst der gegenwärtige Entwicklungsstand der Eyetracking-Technik betrachtet, die Gründe angeführt, warum günstig aufgebaute Eyetracker von großer Bedeutung sind, und auch zwei Projekte beschrieben, im Laufe von denen junge Informatiker einen helmbasierten Eyetracker und einen in ein Tablet implementierten Eyetracker entwickelt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1
2	Neuster Stand der Eyetracking-Technik (Tobii)	2
3	Preiswerte Eyetracker: Projekte junger Forscher	3
3.1	“OpenEyes: a low-cost head-mounted eye-tracking solution”	3
3.1.1	Motivation, Ziele, technische Mittel	3
3.1.2	Vier Generationen des Eyetracking-Prototyps: Probleme und Lösungen	4
3.1.3	Verbesserungsmöglichkeiten und Ergebnisse	6
3.2	“Eye tracking on unmodified common tablets: challenges and solutions” ...	7
3.2.1	Motivation, Ziele, technische Mittel	7
3.2.2	Technologie	8
3.2.3	Probleme und Lösungen	9
4	Schlussfolgerungen und Ausblick	10

1 Einführung

Mit dem Thema des Eyetrackings habe ich mich schon im Rahmen der ersten Hausarbeit beschäftigt, in der allgemeine Aspekte betrachtet wurden, wie etwa Methoden, Messtechnik sowie Rolle des Eyetrackings im Marketing und Werbung, insbesondere im Bildkontext. Das war das erste Mal, wenn ich mich mit diesem Thema auseinandersetzte. Vor dem Studium habe ich vom Eyetracking-Verfahren kaum etwas gehört und wusste auch nicht, wie viele Anwendungsbereiche er anbietet.

Neben dem Medienbereich und Bereich Informatik (Usability-Tests sowohl für Webseiten als auch für Software, Medienpsychologie und Design, Mensch-Computer-Interaktion etc.) wurden von mir folgende Bereiche festgelegt, die von der Anwendung des Eye Tracking-Verfahrens profitieren können:

- 1) Ingenieurwesen: Automobilbau, Flugzeugbau (Es wird geprüft, wohin der Autofahrer im Auto bzw. der Pilot im Cockpit schaut, um etwa eine bessere und sichere Ausstattung des Fahrzeugs zu gewährleisten. Dabei können die Tests auch während der Fahrt durchgeführt werden.)
- 2) Psychologie: Entwicklungspsychologie (Bildwahrnehmung, Bewegungswahrnehmung, Entwicklungsstörungen, Psycholinguistik und Leseprozesse)
- 3) Medizin: Ophthalmologie (Sehstörungen, organische Veränderungen im Auge)
- 4) Marketing (Packungsdesign, Bewertung von Points-Of-Sale)

Nach dem weiteren Betrachten und Erforschen des Themas stellt es sich heraus, dass Eyetracking im Sinne von Verfolgung von Augenbewegungen auch sehr vielversprechend für solche Bereiche wie etwa Krankenpflege (darunter auch Alterspflege) und E-Learning ist. Wie es aber in der vorherigen Hausarbeit erwähnt wurde, sind die Eyetracking-Systeme sehr teuer. Die Firmen lassen sich die heutzutage bei Bedarf ausleihen und wenden sich an Fachleute, die eine Usability-Studie per Auftrag machen können. Man konnte aber vermuten, dass diese Technik mit der Zeit zugänglicher und neue Einsätze in verschiedenen Lebensbereichen finden wird.

Die Technik entwickelt sich rasant, das technische Wissen steigt allgemein, es werden heute Versuche vorgenommen, eine hausgemachte helmbasierte Eyetracking-Lösung zu bauen bzw. ein Eyetracking-System in ein einfaches Tablet zu implementieren. Dies zeugt davon, dass die Verbreitung von zugänglichen Eyetrackern in absehbarer Zukunft doch möglich wäre, wobei die

Qualität der Eyetracking-Prozesse wesentlich niedriger ist als bei den existierenden professionellen Systemen.

In dieser Arbeit werden sowohl der neuste Stand der Eyetracking-Technik als auch Projekte junger Forscher präsentiert, die mithilfe vorhandener technischer Mittel und Algorithmen Eyetracking-Lösungen konstruiert haben.

2 Neuster Stand der Eyetracking-Technik (Tobii)

Tobii ist heutzutage führender Anbieter von verschiedenartigen Eyetracking-Lösungen und auch Pionier in diesem Bereich. Tobii hat Lösungen sowie Eyetracking-Komponente für Integration mit Computersystemen, Spielen und Verkehrsmitteln und für verschiedene Bedürfnisse entwickelt. Es wird zwischen drei Richtungen unterschieden: Eyetracking-Technologien und Produkte für solche Marktbereiche wie Elektronik, Automotive, Medizindiagnostik; Unterstützung für Menschen mit speziellen Bedürfnissen (etwa nach einer schweren Verletzung und begrenzten Kommunikations- und Bewegungsmöglichkeiten); Lösungen für Studien von Nutzerverhalten (wissenschaftliche Forschungen, Marketing-Studien).

Als letzte Entwicklung von Tobii gelten Tobii Glasses.



Abb. 2.1: Tobii Glasses

Folgende drei Merkmale machen Tobii Glasses wirklich revolutionär: Sie sind drahtlos, ermöglichen Beobachtung und Analyse in Echtzeit und Forschung in der realen Welt, und machen daher Studien im realen Lebensumfeld möglich. Anwendungsfelder dieser Entwicklung sind sehr zahlreich:

- Shopper-Studien (Verpackungsdesign, Regalplatzierung, POP-Material, Planung des Einkaufszentrums)
- Usability, Beschilderung und Navigation
- Mobile Device Tests
- Fahrverhalten, Usability-Studien

- Out-of-home-Werbung, TV-Werbung
- Menütafeln in Restaurants
- Sportforschung, Sportpsychologie
- Simulatoren, Kontrolloberflächen, Training und Bewertung, Anfänger vs. Experte

Diese Vielfältigkeit von Möglichkeiten ist nicht nur der äußerst hohen Mobilität der Entwicklung zu verdanken, sondern auch folgenden technischen Merkmalen: Die Brille wiegt nur 45 Gramm, ist mit 4 Kameras ausgestattet, ermöglicht maximale Bewegungsfreiheit und 160 Grad View, deswegen werden die Testpersonen nicht durch das Testverfahren abgelenkt, was ihr Verhalten lebensnah natürlich macht. Die Tobii Glasses bieten eine einzigartige Eyetracking-Qualität. Die Brille verfügt über die von Tobii entwickelte 3D-Augenmodell-Technologie für ein robustes Eyetracking, eine langlebige Kalibrierung und einem minimalen Verlust von Daten während starker Augenbewegungen.

3 Preiswerte Eyetracker: Projekte junger Forscher

3.1 “OpenEyes: a low-cost head-mounted eye-tracking solution”

Als erstes Paper werden wir das Projekt “OpenEyes: a low-cost head-mounted eye-tracking solution” von Dongheng Li, Jason Babcock und Derrick J. Parkhurst, das sie im Rahmen von „The Human Computer Interaction Program” in der Iowa State University in den USA im Jahre 2006 entwickelt haben.

3.1.1 Motivation, Ziele, technische Mittel

Ihre Motivation war es, eine günstige und effiziente Eyetracking-Lösung schaffen, da die existierenden modernen Eyetracker viel zu teuer sind, sind daher für Forscher aus verschiedenen Bereichen schwer zugänglich und begrenzen ihre Forschungsmöglichkeiten.

Ihr Ziel war es, einen Algorithmus aufgrund einfacher PC-Hardware für Interface Designer und Forscher und somit ein gesamtes funktionsfähiges mobiles Eyetracking-System zu schaffen. Das System sollte dabei über breite Anwendbarkeit, hohe Zuverlässigkeit und hohe Geschwindigkeit verfügen.

Neben einem Laptop benutzten die Entwickler nicht teure IEEE-1394 Webkameras, deren Bandbreite (400Mbit/sec) genügend für simultane Videoaufnahme von zwei Kameras mit Auflösung von 640x480 mit Bildfrequenz 30hz war.

3.1.2 Vier Generationen des Eyetracking-Prototyps: Probleme und Lösungen

Generation 1

In der ersten Generation der Eyetracking-Lösung tauchte das Problem des Rauschens, zu dem dünne ungeschirmte Kabel führten. Wenn beide Kameras gleichzeitig liefen, tauchte das Rauschen auf, der sich verstärkte bzw. änderte, wenn die Testperson sich bewegte. Aufgrund der geringen Empfindlichkeit der Kameras war es oft unmöglich, das Bild des Auges mit der Testperson im Raum zu bekommen. Darüber hinaus gab es Widerspiegelungen von verschiedenen Umgebungslichtquellen, was digitales Extrahieren der Augenbewegungen besonders schwierig machte.

Generation 2

In der zweiten Generation des Eyetracking-Prototyps haben die Entwickler versucht, viele der Einschränkungen der ersten Generation zu beseitigen. Zur wichtigsten Veränderung wurde der Einsatz von Infrarot-LED, dessen Lage eine Beleuchtung erzeugt, die das Unterscheiden der Pupille von dem Rest des Auges ermöglicht. Die LED wurde von einem USB-Anschluss am Laptop mit Strom versorgt. Leider erfordert diese Design-Entscheidung auch einen neuen Objektivanschluss auf dem Auge der Kamera.



Abb. 3.1: Generation 2

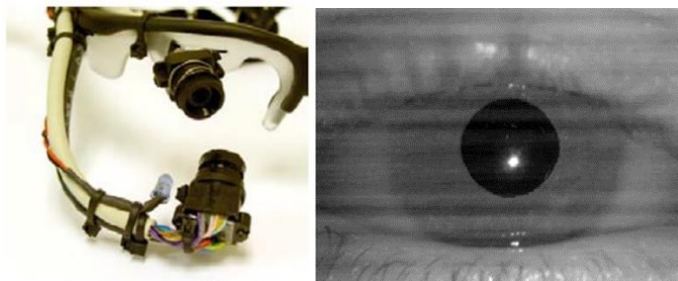


Abb. 3.2: Pupille und die Iris

Es sei zu betonen, dass die Infrarot-Beleuchtung die Pupille von der Iris in dem Bild unten (Abb. 3.2) stark unterscheiden lässt. Die Reflexion der LED ist auch wichtig, damit die Hornhautreflexion verfolgt werden und das Schlüpfen der Konstruktion auf dem Kopf zu kompensieren.

Die zweite große Änderung, die die Entwickler mit dem System vornahmen, waren die geschirmten Kabel zwischen CCD- und Verarbeitungskarten gewesen, um das Rauschen zu reduzieren. Das Rauschen konnte bis zu einem gewissen Grad reduziert werden, war aber noch hörbar und hingte weiterhin von der Positionierung der Kabel ab. Leider tauchte noch eine zweite Art von starkem Rauschen in diesem System auf, das viel mehr Probleme bereitete, obwohl sporadischer Natur war.

Wenn etwa die Konstruktion auf dem Kopf der Testperson geschubst oder berührt wurde, oder die Testperson schnell ihren Kopf drehte, tauchte für eine Zeitweile ein bedeutsames Rauschen. Deswegen vermuteten die Entwickler, dass die CCD- und Verarbeitungskarten auf irgendeine Weise beschädigt wurden oder dass die Lötverbindungen schwach wegen mehrerer Bearbeitungen waren. Obwohl die Kabelkonfiguration nach wie vor relativ ergonomisch war, waren die Kabel für die Testperson spürbarer als in der ersten Generation. Außerdem waren die Kabel ziemlich steif und führten zum Rutschen des Kopfbandes, wenn die Testperson etwa ihren Kopf drehte. Um dies zu minimieren, hatte man einen elastischen Band eingesetzt.

Generation 3

Nachdem die Entwickler es erzielten, eine infrarotbasierte Eyetracking-Lösung zu entwickeln (wenn auch mit einem großen Maß an Rauschen, der häufige Trackingfehler verursachte), waren sie fuhren sie fort. Der Design der Eyetracking-Lösung blieb grundlegend derselbe, bekam aber eine Reihe von Modifikationen. Zuerst setzte man dünne doppelt geschirmte Kabel ein, um Rauschen zu reduzieren. Diese Kabel waren auch ziemlich steif, die einzige einigermaßen ergonomische Konfigurationslösung war es, die Kamera auf der linken Seite der Brille zu befestigen (Abb. 3.3).

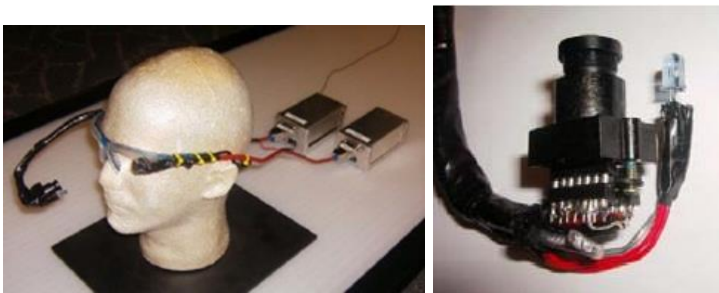


Abb. 3.3, Abb.3.4 Generation 3

Zweitens wurde eine andere Kamera (Unibrain monochrome Fire-i board-level camera) als Augenkamera eingesetzt, da sie über eine höhere Empfindlichkeit für infrarotes Licht verfügte. Drittens eliminierten die Entwickler die CCDs von den Verarbeitungsplatten mittels einer lötfreien Technik, um Hitzeschäden zu minimieren und schafften eine Art Verriegelungsbuchse (Abb.3.4), auf der die CCD-Sensoren montieren wurden, um gemeinsame Spannung auf dem Chip zu minimieren. Gemeinsam eliminieren diese Modifikationen komplett die Empfindlichkeit der Kamera für störende Geräusche (während etwa Kopfbewegungen) und reduzieren das gesamte Bildrauschen.

Generation 4

Die Genauigkeit des Eyetracking-Verfahrens mit dem System der 3. Generation lag bei ca. 1 Grad. Man stellte aber fest, dass diese Genauigkeit beschränkt war, wenn das System in dem gleichen Abstand getestet wurde, in dem es kalibriert wurde. Der Grund dafür war, dass der optische Weg der Kamera und der des getrackten Auges sich voneinander unterschieden. Somit wird (in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem kalibrierten Abstand und dem festgelegten Abstand) die Parallaxe zwischen dem Auge und der Bildkamera zum Trackingfehler. Es wurde festgestellt, dass der Fehler tolerierbar war, wenn die Diskrepanz zwischen den angegebenen Abständen nicht mehr als einen Fuß betrug. In der 4. Generation der Eyetracking-Lösung trugen die Entwickler die Kamera von der linken Seite des Systems (6,5 Zoll vom getrackten Auge entfernt) auf die rechte Seite des Systems (1,5 Zoll vom getrackten Auge entfernt) über. Die Ergebnisse (Toleranz gegenüber Abweichungen) wurden weiterhin verbessert. Es wurde festgestellt, dass bei einer Diskrepanz zwischen dem kalibrierten Abstand und dem festgelegten Abstand von zwei Füßen blieb der durchschnittliche Fehler gleich nach der Kalibrierung unter einem Grad. Dies ist akzeptabel für Desktop-Eyetracking. Dieser Fehler könnte in der Zukunft beseitigt werden, indem die Kamera direkt über dem getrackten Auge platziert würde. Jedoch trafen die Entwickler die Entscheidung, aus ergonomischen Gründen diese Maßnahme nicht vorzunehmen.

3.1.3 Verbesserungsmöglichkeiten und Ergebnisse

Das Budget der Entwicklung lag bei ca. 350 USD (im Jahre 2006). Der Budgetbetrag wurde vom Anfang festgelegt, was auch den Entwicklungsprozess beeinflusste. Deswegen haben die Entwickler folgende Verbesserungsmöglichkeiten vorgeschlagen, die sie selber verwirklicht hätten, wenn das Budget nicht so eine große Rolle gespielt hätte:

- Es wäre für das Projekt vorteilhaft, eine teurere Hardware zu kaufen. Das heißt, entweder einen Laptop mit geringerem Gewicht oder ein Gerät, das kompakter als Laptop wäre und in eine Hosentasche reinpassen würde. Eine teurere Hardware würde natürlich auch über eine höhere Kapazität verfügen;
- Teurere digitale Kameras mit höherer Auflösung würden höhere Genauigkeit und Geschwindigkeit gewährleisten.

Trotz der aufgelisteten Verbesserungsmöglichkeiten wies die Validationstudie sehr gute Ergebnisse auf, die die Anwendung der erfolgreich entwickelten Lösung in folgenden Bereichen ermöglicht:

Interface Design, E-Learning, Medizin, Marketing. Die vierte und letzte Generation des Eyetracking-Prototyps ist am meisten ergonomisch und mobil, die Ablenkungsrate für den Nutzer ist minimal.



Abb. 3.5: Ergebnisse

Wie bereits erwähnt, wurde bei der letzten vierten Version des Eyetrackers die Genauigkeit bis zu 1 Grad erzielt. Außerdem kann man die Tatsache, dass Tutorials für den Aufbau frei zugänglich (unter: <http://hcvl.hci.iastate.edu/openEyes>) sind, zu einem der bedeutsamsten Merkmale dieses Projektes zählen. Die benutzte Software ist auch eine Open-Source-Software. Das heißt, dass andere Forscher und Techniker auf dieser Basis modernere Eyetracking-Systeme aufbauen und in ihre Forschungen und Tätigkeitsbereiche implementieren können.

3.2 “Eye tracking on unmodified common tablets: challenges and solutions”

Das zweite Paper, das von uns in Betracht gezogen wurde, ist das Projekt von Corey Holland und Oleg Komogortsev aus der Texas State University in San Marcos, Fakultät für Computerwissenschaft, namens „Eye tracking on unmodified common tablets: challenges and solutions“, das sie im Jahre 2012 durchgeführt hatten.

3.2.1 Motivation, Ziele, technische Mittel

Ihre Inspiration und Motivation war die gegenwärtige Entwicklung von mobilen Geräten, Tablets und Smartphones, die neue Entwicklungsmöglichkeiten im Bereich Eye Tracking anbietet und Arbeitsprozesse im technischen Aspekt erleichtert. Das Ziel, das die beiden Forscher verfolgt hatten, war es, ein Eyetracking-System aufgrund neuronaler Netzwerke zu bauen, das in einem einfachen Tablet-PC implementiert wäre.

Zu den technischen Mitteln gehörte Apple iPad 2 mit einem 1 GHz Zweikern-Prozessor, 512 MB RAM, einer Bildschirmauflösung von 1024 × 768 und einer eingebauten Frontkamera von 0.3 mpx

mit 30 Bilder/Sek. Dabei betonten die Entwickler, dass die Kapazitäten des iPads und seiner eingebauten Kamera für das Projekt ausreichend waren.

3.2.2 Technologie

Das folgende Schema beschreibt die Funktionsweise des entwickelten Systems.

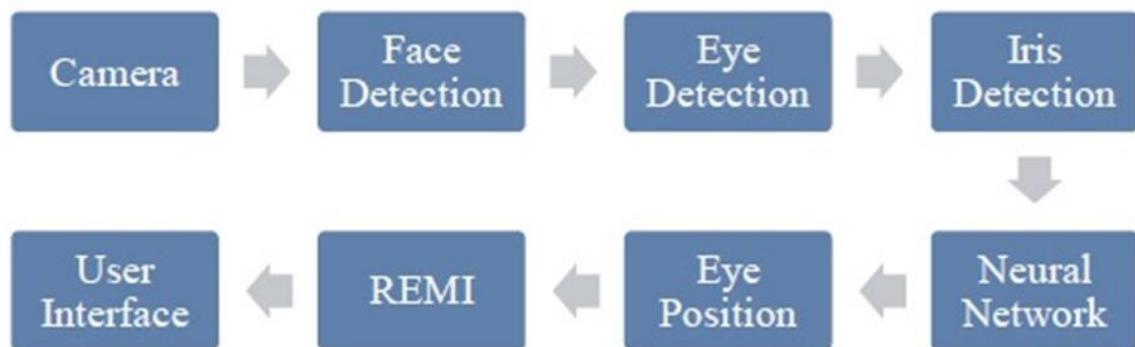


Abb. 3.6: Funktionsweise des Tablet-Eyetrackers

Zuerst wird die Lage der Augen der Testperson aufgrund der Abbildung der Testperson festgelegt. Die Videoaufnahme von der Kamera wird in ein spezielles Format konvertiert, wird dann in den Algorithmus geleitet, der für die Gesichtserkennung zuständig ist. Mithilfe des Algorithmus wird das Gesicht erkannt (gerade die Tatsache, dass es ein Gesicht ist), der Algorithmus gibt dann diese Daten an den Algorithmus weiter, der für die Augenerkennung zuständig ist. Dieser Algorithmus benutzt den Rahmen von der Gesichtserkennung (s. Abb. 3.7), um den Raum zu beschränken, wo es gesucht werden muss. Dann werden die Augen erkannt, diese Angaben werden an den Algorithmus weitergegeben, der für die Iriserkennung zuständig ist. Dieser Algorithmus benutzt wiederum den Rahmen der Augen, um den Suchgebiet zu minimieren.

Nachdem die Iris erkannt wurde, werden diese Koordinaten an den Algorithmus der Vorverarbeitung (Pre-Processing Algorithm) weitergegeben, der die Schlüsselmerkmale des Auges extrahiert und an das neuronale Netzwerk weitergibt. Das neuronale Netz (ein Netz aus künstlichen Neuronen, dem man Sätze von bestimmten Mustern und somit deren Erkennung „beibringen“ kann) legt die Position auf dem Bildschirm fest, wo das Auge fokussiert war. Die Angaben über die Position des Auges werden das an das REMI gesendet. REMI (Real Time Movement Identifikation

Protokoll) standardisiert Prozesse und Interpretation der Angaben über die Augenbewegungen auf der Software-Ebene.



Abb. 3.7 Gesichts-, Augen- und Iriserkennung

3.2.3 Probleme und Lösungen

Erstens sind die in die Tablets eingebauten Webkameras sind ziemlich einfach und haben oft Filter, die infrarote Lichtwellen reduzieren können. Die neuen Generationen von Tablets verweisen aber darauf, dass das Problem nahezu beseitigt ist. Zweitens, Tablets kann man bewegen, was dazu führt, dass die relative Augenposition schwer durch den Eyetracking-Algorithmus festzulegen ist. Die Entwickler haben sich aber gedacht, dass das System in der jetzigen Form sehr gut für behinderte Leute passt, deren Bewegungen, darunter Kopfbewegungen, beschränkt sind. Drittens, Algorithmus der Gesichtserkennung ist teuer und schwer realisierbar auf Tablets, deswegen reduzierten die Entwickler Größe und Auflösung des Originalbildes um $\frac{1}{2}$ (von 640×480 Pixels auf 320×240 Pixels) und konvertierten zu Grauskala vor der Übergabe an den Algorithmus der Gesichtserkennung.

Obwohl die Genauigkeit von dem beschriebenen Eyetracking-System bei ca. 4,42 Grad liegt und viel Raum für Verbesserung anbietet, stellt das entwickelte System eine mobile und preiswerte Alternative zu kommerziellen Eyetracking-Systemen dar. Es ist auch sehr gut für Interaktion mit behinderten Nutzern geeignet. Die Entwickler sind sicher, dass Eyetracking im Allgemeinen die Bedürfnisse befriedigen wird, die mit Tastatur bzw. Maus ausgestatteten Geräte nicht decken. Die Welt der Gadgets entwickelt sich rasant, und Eyetracking soll in dieser Entwicklung eine führende Rolle spielen.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die neuesten Entwicklungen sind zu teuer, um eine breite Anwendung zu bekommen. Es gibt doch erfolgreiche Projekte junger Forscher, die Eyetracking zugänglich machen, auch wenn nicht auf demselben technischen Niveau wie der führende Hersteller. Dies ermöglicht aber die Implementierung von Eyetracking in solche Bereiche wie:

- Marketing (Personalisiertes Content aufgrund Reaktionen und Online-Verhalten des Nutzers);
- E-Learning für Erwachsene (Motivationsprobleme fordern Interaktion zwischen Programm und User (Wang 2006));
- Medizin (insbesondere Behandlung von Leuten mit Entwicklungsstörungen, Traumata und Autismus).

Die schnelle Entwicklung von modernen Technologien wird definitiv dazu führen, dass die selbst entwickelten Eyetracker immer größere Rolle in mehreren Lebensbereichen, darunter auch in Medizin und Ausbildung, spielen werden. Die Tatsache, dass die entwickelte Software meistens zu einer Open-Source Software wird, weist darauf hin, dass die heutigen Informatiker und Entwickler nichts aufs Neue machen müssen, sondern die bestehenden Mittel und Erfahrung benutzen können, um schnellere und bessere Ergebnisse zu bekommen.

Quellenangabe

1. <http://www.tobii.com/>
2. Li D.; Babcock J.; Parkhurst D.J. (2006): OpenEyes: a low-cost head-mounted eye-tracking solution, 2006. – URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1117350> Letzter Zugriff 07.08.2014
3. Holland C.; Komogortsev O. (2012): Eye tracking on unmodified common tablets: challenges and solutions, 2012. – URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2168615> Letzter Zugriff 07.08.2014
4. Wang H.; Chignell M.; Ishizuka M. (2006): Empathic tutoring software agents using real-time eye tracking, 2006. – URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1117309.1117346&coll=DL&dl=ACM&CFID=348048702&CFTOKEN=99641164> Letzter Zugriff 07.08.2014
5. Richardson, D.C.; Spivey, M. (2004): Eye tracking: Characteristics and methods. In G. Wnek & G. Bowlin (Eds.) *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering*. (pp.568-572). New York: Marcel Dekker, Inc.
http://www.eyethink.org/resources/lab_papers/Richardson2004_Eye_tracking_C.pdf Letzter Zugriff 05.08.2014

Versicherung über Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, den _____