

Wahrnehmung von Mensch und Maschine: - Spielereien mit Licht und mehr

ein Projekt von
Nils Daumann

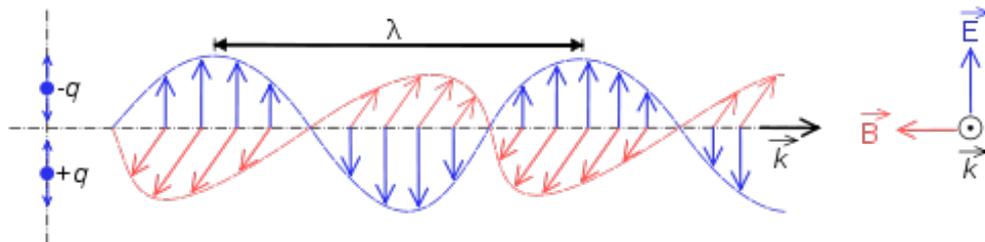
08.06.2009

Wahrnehmung von Mensch und Maschine: - Spielereien mit Licht und mehr

Was ist Licht?	Seite 3
Frequenzen	Seite 3
infrarotes Licht	Seite 3
Filterung von Licht	Seite 4
LEDs	Seite 5
CCD FOTOSENSOREN	Seite 5
Infrarotkamera	Seite 6
Versuch 1: Multitouchoberfläche	Seite 7
Versuch 2: Headtracking zur Eingabe	Seite 9
menschliche Wahrnehmung von Bild und Raum	Seite 11
Versuch 3: Headtracking für das räumliche Sehen	Seite 11
Parallel und Kreuzblick	Seite 12
Versuch 4: Rot-Cyan Anaglyphen	Seite 13
Quellen	Seite 14

Was ist Licht?

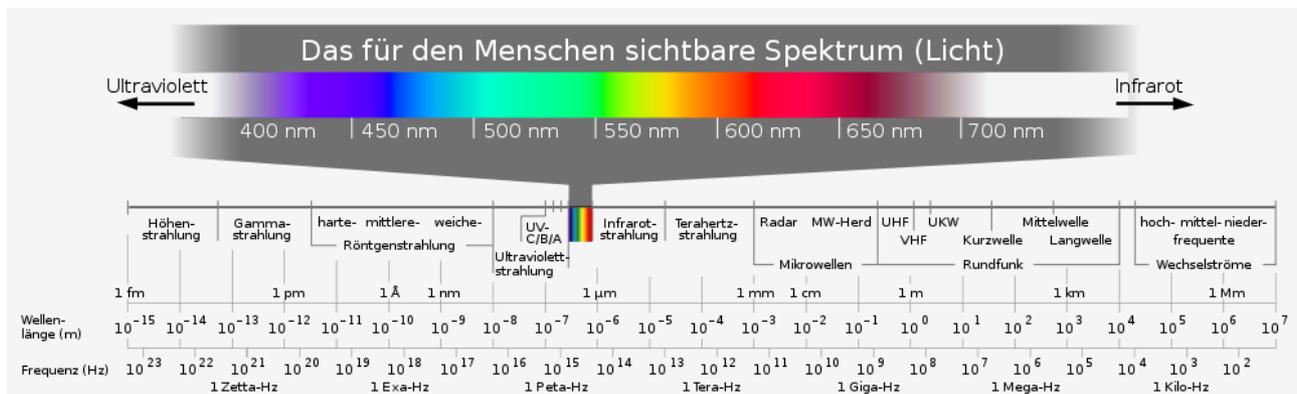
Licht lässt sich als eine elektromagnetische Welle beschreiben, die senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung schwingt. Diese Art elektromagnetischer Wellen bezeichnet man als Transversalwellen. Da es unendlich viele Möglichkeiten gibt, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung zu schwingen, bezeichnet man die Schwingungsrichtung einer Welle als Polarisation und spricht von polarisiertem Licht, wenn die Polarisation der von einer Lichtquelle abgegebenen Wellen überwiegend gleich oder zumindest sehr ähnlich ist. Die Farbe des Lichtes wird durch die Wellenlänge bestimmt. Als Licht bezeichnet man insbesondere die elektromagnetische Strahlung mit den von uns Menschen wahrnehmbaren Wellenlängen.



(Bild 1: Die elektrische und magnetische Komponente einer elektromagnetischen Welle)

Frequenzen

Die Frequenz von Licht liegt zwischen 400 und 800 THz und wird meistens in Form der Wellenlänge angegeben. Je kurzwelliger das Licht, desto energiereicher ist es. Die Wellenlänge bestimmt aber vor allem, die Farbe des Lichts, also wie wir das Licht wahrnehmen. Für Menschen sichtbar sind die Wellenlängen von etwa 380nm bis 750nm. In diesem Farbspektrum liegen die Regenbogenfarben oder auch Spektralfarben von violett bis rot. Die meisten Lichtquellen strahlen Licht mit verschiedenen Wellenlängen aus. Durch additive Farbmischung resultiert dann meist, das wir das Licht als weiß wahrnehmen und auch alle Farben, die nicht zu den Spektralfarben gehören.



(Bild 2: Die Spektralfarben)

Infrarotes Licht

(infra = unter, also Licht unterhalb von rot)

Als infrarote Strahlung bezeichnet man elektromagnetische Transversalwellen mit Wellenlängen die größer sind als die von rot, von etwa 750nm bis 1mm.

Umgangssprachlich wird infrarote Strahlung häufig mit Wärmestrahlung gleichgesetzt, was nicht ganz korrekt ist, da jede elektromagnetische Strahlung auch Wärmestrahlung ist. Allerdings ist infrarote Strahlung die wärmste Strahlung.

Im weiteren werde ich mich nur mit dem photographischem Infrarot beschäftigen. Die Wellenlänge liegt zwischen etwa 750nm bis 1000nm und wird als photographisches Infrarot

bezeichnet, da diese Strahlung sich durch photographischen Film und auch durch Photodioden sichtbar machen lässt. Aus diesem Grund werde ich diese Strahlung als infrarotes Licht bezeichnen.



(Bild 3: Ein mit einer Infrarotkamera aufgenommenes Bild (Die Gitarrentasche im Hintergrund ist eigentlich komplett schwarz))

Filterung von Licht

Materie bricht und reflektiert, aber absorbiert Licht auch. Durch Absorbieren bestimmter Wellenlängen durch zum Beispiel das Ändern des Energieniveaus von Elektronen durch die Strahlung, werden nur alle anderen Farben reflektiert und gebrochen, was dann das ist, was wir sehen können. Ein Filter, der nur rotes Licht durchlässt, absorbiert also alle Farben bis auf rot.

Es gibt auch Stoffe, die nur Licht einer Polarisation durchlassen.



(Bild 4: Eine „3D Brille“ mit Farbfiltern)

LEDs

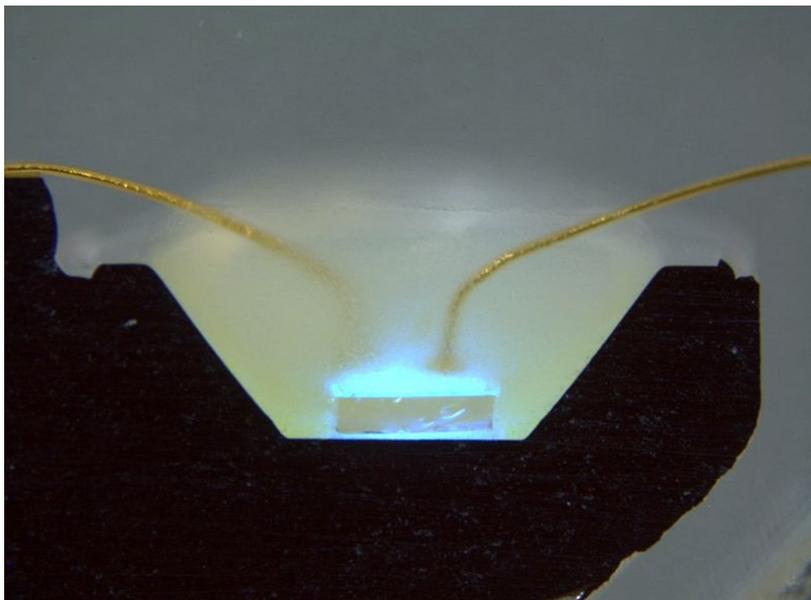
Light Emitting Diodes oder auf Deutsch Leuchtdioden, bestehen aus einem n-Halbleiter auf dem eine dünne löchrige Schicht eines p-Halbleiters aufgetragen ist.

Einen n-Halbleiter kann man sich am Besten so vorstellen, dass sich dort freie Elektronen zwischen ortsfesten positiven Ladungen bewegen, während bei p-Halbleitern die positiv geladenen Teilchen sich die negativen suchen. Um was von beidem es sich handelt hängt davon ab, welche Wertigkeit die Elemente haben mit denen man die reinen Halbleiterkristalle zu Verbesserung der Leitfähigkeit verunreinigt. Dies bezeichnet man als Dotierung.

Wenn man nun bei einer Leuchtdiode an den n-Halbleiter eine negative und an den p-Halbleiter eine positive Spannung anlegt, kommt es zu einer Anhäufung von freien Elektronen am Übergang zwischen der beiden Schichten. Die Elektronen werden an den Löchern wieder gebunden und geben ihre Energie in Form eines Lichtblitzes frei.

Das Licht ist nahezu homogen und die Wellenlänge lässt sich über die Halbleitermaterialien ziemlich genau bestimmen.

Eine Leuchtdiode ist gleichzeitig auch eine Photodiode, d.h. dass bei Beleuchtung eine Spannung gemessen werden kann. Spannend ist das auch in Verbindung mit der sehr hohen Modulationsgeschwindigkeit von LEDs. So kann man in Abständen von unter einer Mikrosekunde zwischen Leuchten und Messen umschalten und so den Eindruck geben, dass sie durchgehend leuchten würden und gleichzeitig auch die Lichtstärke messen.



(Bild 5: Querschnitt einer bestromten weißen LED unter einem Mikroskop)

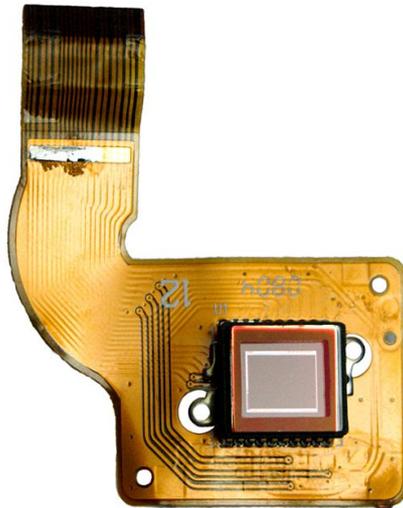
CCD Fotosensoren

CCD steht für Charge-coupled Device, was auf Deutsch in etwa „ladungsgekoppeltes Bauteil“ bedeutet. Dabei handelt es sich um aneinander gereihete Kondensatoren, die ihre Ladung an einen Nachbar abgeben und die Ladung des anderen bekommen. Wenn die einzelnen Kondensatoren durch eine Photodiode aufgeladen werden, spricht man von einem CCD Fotosensor. Um ein Bild zu erzeugen, werden die Photodioden in einer Matrix angeordnet und die Spannung für jeden dieser Pixel nacheinander ausgelesen und zu einem digitalen Bild zusammengesetzt. Da eine Photodiode nur auf die Helligkeit reagiert, nicht aber auf die Farbe, ist das resultierende Bild nicht farbig. Um auch Farbfotos zu realisieren, werden für jeden Pixel drei Photodioden und Kondensatoren genutzt, die bei sehr guten Kameras durch ein Prisma mit dem Anteil des Lichts der ihnen zugeordneten Farbe beleuchtet werden. In den meisten Fällen werden allerdings einfache Farbfilter vor die verschiedenen Photodioden gesetzt, wodurch aber Helligkeit verloren geht, auch ist

kein Filter perfekt wodurch auch falsches Licht die falsche Diode beleuchten kann, was zu falschen Farben führt.

Im Normalfall wird für jeden Pixel zwischen rotem, grünen und blauem Licht unterschieden, womit sich durch additives Mischen ein Großteil der Spektralfarben festhalten lässt. Wenn man dies nun beim Zusammensetzen der Daten zu einem Bild beachtet, ist das Resultat farbig.

Photodioden reagieren meist auch auf infrarotes Licht, auch gibt es welche die auf Ultraviolette- und sogar Röntgenstrahlung reagieren.



(Bild 5: Ein CCD Fotosensor aus einer Digitalkamera)

Infrarotkamera

Da die meisten CCD Fotosensoren auch infrarotes Licht aufnehmen, ist es ziemlich einfach, eine Kamera zu einer Infrarotkamera umzubauen. Häufig wird nämlich nur ein Infrarotfilter zwischen Linse und CCD Sensor gesetzt, den man mit einem Filter austauscht, der die Spektralfarben herausfiltert. Solche Filter kann man kaufen, oder in geringerer Qualität in Form des Magnetbands einer Diskette oder eines schwarzen Negativs bekommen.

Bei manchen Kameras ist der Filter direkt auf die Linse aufgetragen, weshalb man ihn dort kaum entfernen kann ohne die Linse zu beschädigen. Als Kamera nutze ich deshalb eine LiveCam VX-1000 von Microsoft, bei der der Austausch sehr einfach war. Als Filter für die Spektralfarben habe ich einfach ein Stück aus einer Diskette ausgeschnitten.



(Bild 5: Meine zur Infrarotkamera umgebaute Webcam)

Versuch 1: Multitouchoberfläche

Theorie:

Spätestens seit dem iPhone und dem Microsoft Surface Table sind Multitouchoberflächen sehr populär. Während die verwendete Technik bei dem iPhone sehr aufwändig und teuer ist, nutzt der Surface Table eine sehr preiswerte Variante, die ich umzusetzen versucht habe.

Die Idee ist, dass ein Finger infrarotes Licht ausstrahlt und reflektiert. Wenn nun also ein CCD Fotosensor genutzt wird, der nur infrarotes Licht aufnimmt und als digitales Bild an einen Computer weiter gibt, der von unten das gesamte Licht infrarote Licht von einer Glasplatte, gebündelt durch eine Linse, aufnimmt, dann kommt es vor allem an den Stellen wo die Glasplatte berührt wird zu helleren Flecken. Dieses Bild wird dann von einem Programm analysiert und die Zentren der hellsten Punkte werden festgehalten und an andere Programme weitergegeben.

Da das vom Finger ausgehende infrarote Licht nicht sehr stark ist, wird zusätzlich unter der Glasplatte eine Matrix aus infrarot LEDs platziert, deren Licht durch die Glasplatte nach außen geht und von einem Finger auch in Richtung des Fotosensors reflektiert wird.

Umsetzung:

Ich habe eine 4x4 LED Matrix auf einem Kupferdraht zusammen gelötet. Dabei handelt es sich um 16 LEDs die infrarotes Licht mit einer Wellenlänge von 940nm ausstrahlen und eine Flussspannung von 1.3V angegeben haben. Der Flussstrom der LEDs beträgt 20mA. Betreiben tue ich die LEDs mit drei in Serie geschalteten 1.5 Volt Batterien, also mit einer Spannung von 4.5V. Die Flussspannung einer LED ist nicht wirklich konstant und nimmt bei zunehmender Temperatur, zu der es schon durch das Betreiben der LED kommt, ab. Deshalb sollte man LEDs immer mit einem Vorwiderstand betreiben, da sie sonst früher oder später Durchbrennen. In meinem Fall ist ein Vorwiderstand wegen der deutlich höheren Spannung die von den Batterien ausgeht in jedem Fall nötig. Den habe ich mit der Formel $R_{\text{Widerstand}} = (U_V - U_F) / I_F$ berechnet, wobei U_V meine von den Batterien ausgehende Versorgungsspannung, U_F die Flussspannung der LEDs und I_F der Flussstrom der LEDs ist. Daraus resultiert für meinen Vorwiderstand $R_{\text{Widerstand}} = (4.5 - 1.3)V / 0.02A = 160 \text{ Ohm}$. Zur Sicherheit habe ich für jede LED einen 180 Ohm Widerstand gewählt, der eine Leistung von bis zu 0,33 Watt abkann. In meiner Schaltung ist die Leistung P nach der Formel $P = U \cdot I = 3,2V \cdot 0,02A = 0.064 \text{ Watt}$.

Das ganze habe ich in einem Pappkarton befestigt und darunter befindet sich meine Infrarotkamera. Auf dem Karton liegt oben eine Plexiglasscheibe.

Das Bild lasse ich im Moment noch nicht weiter von einem Programm auswerten sondern nur anzeigen, da ich nichts wirklich geeignetes gefunden habe und es deshalb erst selbst schreiben muss.

Probleme:

Natürlich gibt es bei meiner Umsetzung auch einige Probleme, so sind zum Beispiel die angezeigten Bilder pro Sekunde meiner Kamera zu wenige um eine wirklich flüssige Bewegung zu ermöglichen. Es sollten im Idealfall über 30 sein, ich habe in den meisten Situationen etwa 15. Auch habe ich festgestellt, dass die Abstände zwischen meinen LEDs viel zu groß sind und es dadurch zu vielen, viel zu dunklen Bereichen kommt, die im Programm nicht auszugleichen sind.

Eine weitere Schwierigkeit die ich hatte war, dass mein Kupferdraht die Wärme des Löt Kolbens sofort abgeleitet hat und einige Lötstellen dadurch sehr instabil sind. Auch ist die Auflösung des Bildes meiner Kamera gering, wodurch die Oberflächengröße sehr begrenzt ist. Dazu kommt bei meiner sehr günstigen Kamera noch ein sehr heftiges Bildrauschen, das die Ergebnisse etwas stört.

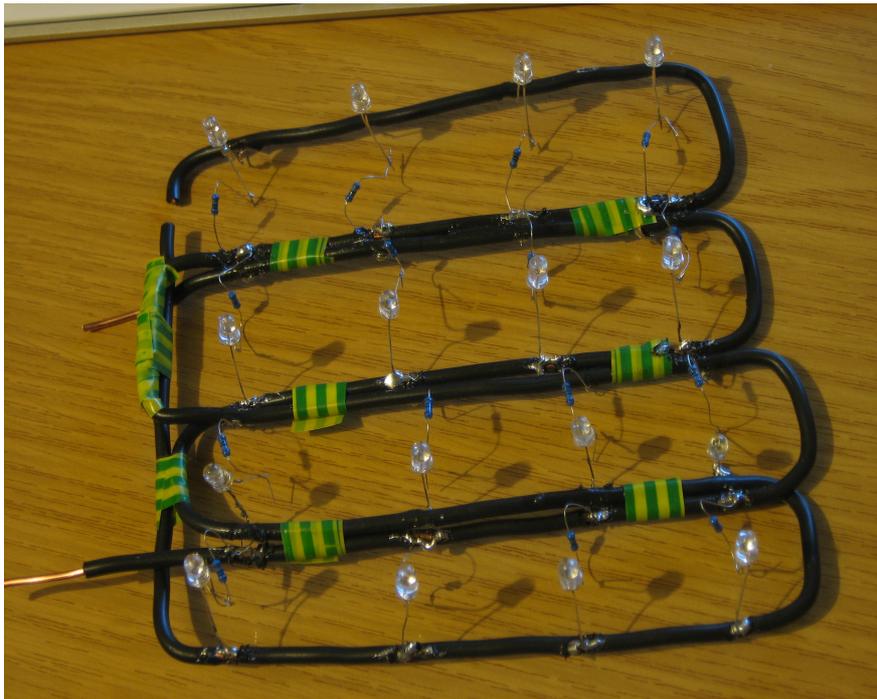
Weiterführendes:

Man könnte das Ergebnis der vorgestellten Technik durch das Kombinieren von zwei deutlich hochwertigeren Kameras deutlich verbessern. Auch macht es Sinn eine deutlich höher aufgelöste LED Matrix zu nutzen und das Licht durch einen Diffusor gleichmäßiger zu verteilen.

Eine extrem hoch aufgelöste LED Matrix würde es auch ermöglichen, nur einen Teil der LEDs als Lichtquelle zu nutzen und den anderen Teil als Sensoren, so dass die LEDs gleichzeitig als Kamera dienen.

Auch kann man den Piezoeffekt auf ähnliche Weise für Multitouch ausnutzen.

Eine weitere Möglichkeit um Multitouch zu realisieren ist die von Apple patentierte und im iPhone genutzte Technik, die die von unseren Fingern durch verschiedenste Einflüsse ausgehenden elektrischen Felder erkennt.



(Bild 6: Meine 4x4 LED Matrix)



(Bild 7: Der Microsoft Surface Table)

Versuch 2: Headtracking zur Eingabe

Theorie:

Bei Videospiele wird es immer beliebter, diese ohne die üblichen Peripherie Geräte wie Maus und Tastatur zu spielen, wie wäre es zum Beispiel wenn man nur dort hingucken muss, wo die Spielfigur hingehen soll? Und was ist mit Menschen, die auf Grund einer Rückenmarkverletzung nur ihren Kopf bewegen können? Diese könnten zum Beispiel die Maus durch Bewegen des Kopfes bewegen und zum Beispiel durch Sprache oder bestimmte Gesten mit dem Kopf Klicks bewirken.

Beides lässt sich mit Hilfe von Headtracking realisieren.

Dabei befindet sich eine Kamera auf dem Bildschirm und die Person davor hat eine helle Lichtquelle am Kopf befestigt. Das Kamerabild wird dann ausgewertet und ein Programm reagiert dann entsprechend.

Umsetzung:

Ich nutze hierzu wieder meine infrarot Kamera, da sich dadurch ein Teil der Störungen durch das Umgebungslicht ausschließen lassen. Auf einem Cappy habe ich eine infrarot LED mit Vorwiderstand befestigt, die wieder mit drei 1,5V Batterien betrieben wird. Das Bild wird von meinem eigenen Programm, dass auf der kostenlosen videoInput Bibliothek aufbaut, ausgewertet.

Als Beispiel lasse ich eine Spielfigur dort hinlaufen, wo man gerade hinguckt.

Probleme:

Auch hier ist wieder die Kamera ein Problem, da zum einen das Bildrauschen stört und aber vor allem wieder zu wenige Bilder pro Sekunde angezeigt werden um ein flüssiges Bewegen zu ermöglichen.

Weiterführendes:

Man kann die LED auch an einem Stift oder Zeigestock in Verbindung mit einem Schalter befestigen, die Kamera auf eine Leinwand ausrichten und so ähnlich wie bei einer „interaktiven Tafel“ eingaben machen. Eine sehr bekannte Anwendung dieser Technik ist auch die Wiimote, der Controller der Nintendo Wii, bei dem eine Infrarotkamera eingebaut ist, die die Spielsteuerung mit Hilfe einer Leiste mit zwei infraroten LEDs auf dem Fernseher ermöglicht. Noch sehr viel weiter geht Microsoft mit Projekt Natal für die Xbox. Dazu gibt es bereits wenige sehr eindrucksvolle Videos, die ich allerdings bisher mehr für ein Konzept als für schon umgesetzt halte. Dabei wird mit zwei normalen, sehr hochwertigen in festem Abstand angebrachten Kameras unter oder über dem Bildschirm gearbeitet. Diese erzeugen zwei normale Bilder, die leicht versetzt sind, woraus die Software dann Tiefeninformationen bekommt und Störungen herausrechnen kann. Dies soll eine Steuerung ohne weitere Hilfsmittel ermöglichen. Kombiniert wird das ganze noch mit Spracherkennung, so dass man das Gerät nur durch Stimme und Bewegung bedienen kann.

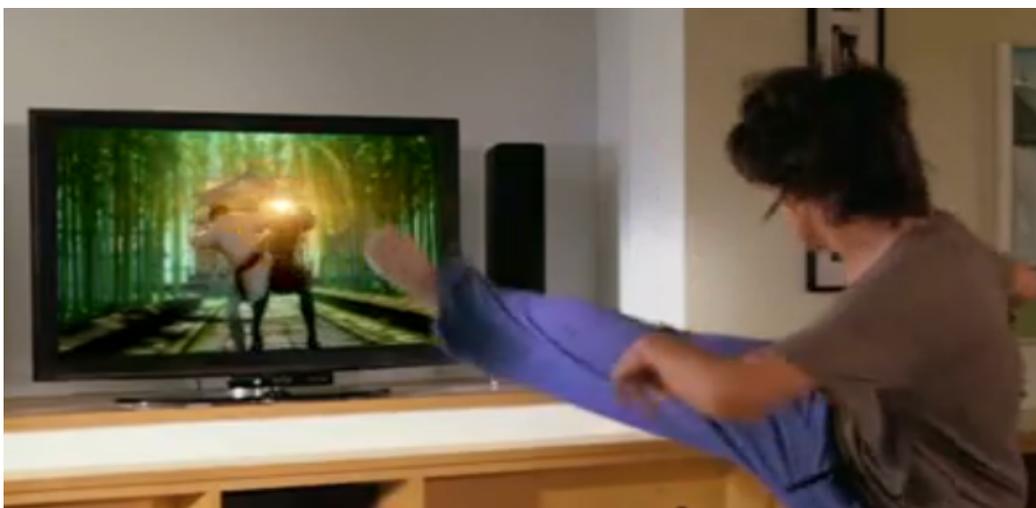
In etwas kleinerer Form gibt es bereits das Face API von Seeing Machines mit einer Demo, die Headtracking ohne ein weiteres Hilfsmittel durch Gesichtserkennung auf einem Kamerabild ermöglicht. Eine etwas andere Entwicklung die es auch noch gibt ist der Neural Impulse Actuator von OCZ Technology, der bereits im Handel erhältlich ist und in Form eines Stirnbands die Spielsteuerung durch verschiedene neuronale Impulse ermöglicht.



(Bild 8: Ich selbst beim Spielen mit Headtracking zum Bewegen und einer Wiimote für alles andere)



(Bild 9: Eine Wiimote mit eingebauter Infrarotkamera und Accelerometer)



(Bild 10: Microsofts Projekt Natal E3-Trailer)

Menschliche Wahrnehmung von Bild und Raum

Das menschliche Auge besteht grob aus einer Linse, die das einfallende Licht bündelt, der Netzhaut, die es einfängt und dem Sehnerven, der die auf der Netzhaut gesammelten Informationen zusammensetzt und an das Gehirn weiter leitet. Dies geschieht natürlich bei beiden Augen getrennt. Die zwei Augen befinden sich in einem Abstand von etwa 4cm und anhand der Unterschiede zwischen den zwei Bildern generiert das Gehirn das, was wir als Tiefe wahrnehmen.

Noch verstärkt wird dieser räumliche Eindruck allerdings wenn wir uns im Raum bewegen, da auch die dabei geschehenden Veränderungen vom Gehirn verarbeitet werden und in unseren Eindruck von Tiefe mit einfließen.

Versuch 3: Headtracking für das räumliche Sehen

Theorie:

Dreidimensionale Filme gibt es schon lange und auch für Computerspiele wurden Techniken um den räumlichen Eindruck der Szenen zu verstärken von etwa 1995 bis 2000 verstärkt erforscht und entwickelt, haben sich allerdings nie wirklich durchsetzen können, so dass viele Menschen nicht wissen, dass es so etwas gibt. In den letzten zwei Jahren ist diese Technik wieder bekannter geworden und ich kann mir gut vorstellen, dass es nun möglich ist, dass es sich durchsetzt.

Hierbei wird aber nur darauf gesetzt, dass die zwei Augen unterschiedliches Bildmaterial erhalten, worauf ich in meinem vierten Versuch eingehen werde.

Wie in dem vorherigen Punkt beschrieben, wird unser räumliches Empfinden auch durch unsere Bewegungen beeinflusst. Hier bietet es sich also an das Headtracking aus Versuch zwei zu erweitern und das Bild entsprechend der Position und Blickrichtung des Betrachters des Computermonitors zu verändern. Eines von beidem könnte man wie in Versuch zwei einfach umsetzen. Wenn man noch eine zweite Lichtquelle dazu nimmt, kann man anhand des Abstandes der Lichtquellen auf dem Kamerabild auch auf die Entfernung des Betrachters zum Bildschirm schließen. Wenn man noch eine dritte Lichtquelle etwas höher, zwischen den zwei anderen, die auf der gleichen Höhe sind, befestigt, kann man anhand deren Position die Neigung des Kopfes und anhand der Größe und Position der zwei anderen Lichtpunkte auf dem resultierenden Bild, die Drehung um die zwei anderen Raumachsen herausbekommen.

Wenn man in einem dreidimensionalen Computerspiele die Betrachterposition entsprechend anpasst, kommt es zu einem starken räumlichen Eindruck.

Umsetzung:

Ich habe mein Cappy um die weiteren LEDs ergänzt und etwas mit dem Programm FreeTrack herum probiert. Das funktioniert mit den gleichen Problemen wie bei Versuch zwei recht gut. Der räumliche Eindruck kommt durch fehlende, daran angepasste Spiele nicht herüber. Auch hier müsste ich selbst nochmal etwas schreiben.

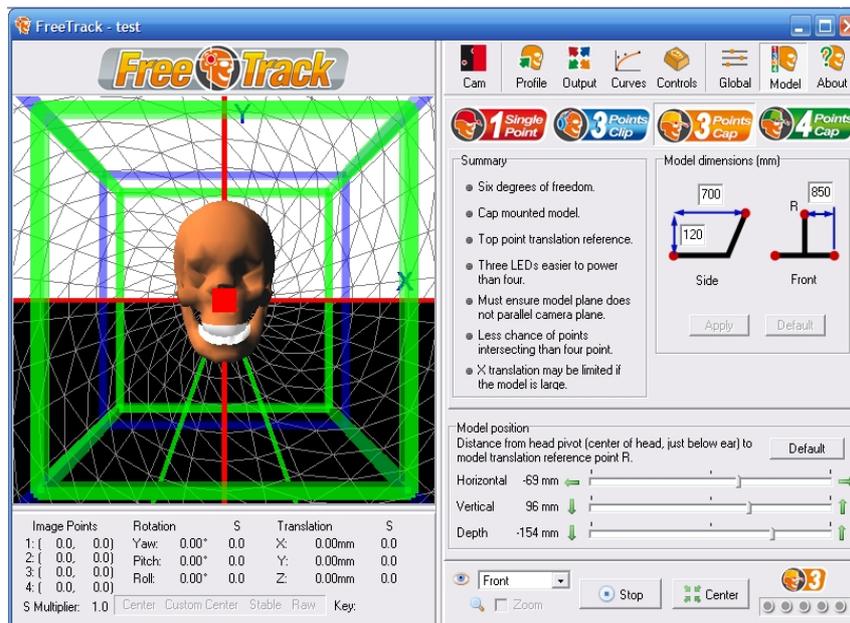
Weiterführendes:

Auch hier kann ich nochmal wieder auf das Face API von Seeing Machines verweisen. Dies ermöglicht das gleiche nur ohne am Kopf befestigte Lichtquellen als Fixpunkte. Der Nachteil ist, dass es sehr viel anfälliger im Bezug auf eine schlechte Bildqualität ist und dass es viel mehr Rechenleistung benötigt, was zu Zeiten von 4 Kern CPUs allerdings kaum noch ein Problem ist.

Projekt Natal sollte soetwas natürlich auch ermöglichen.



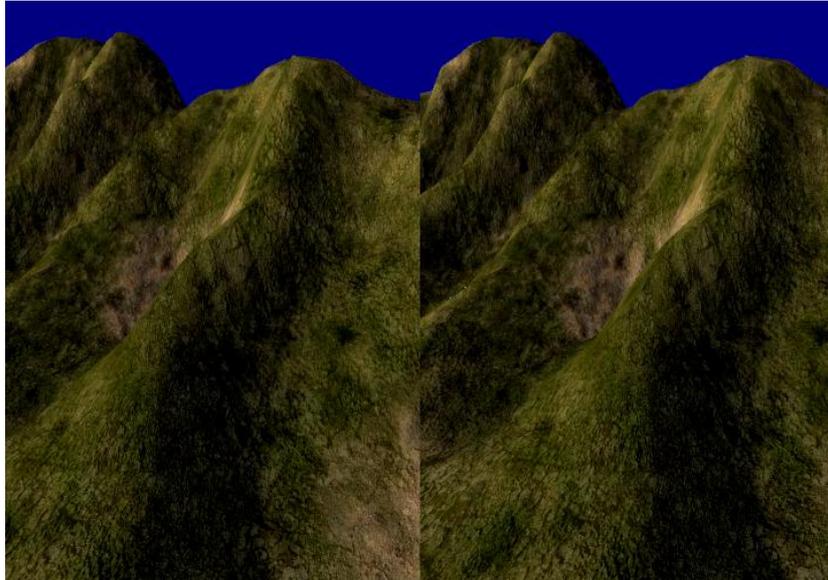
(Bild 11: Das Virtual Frame Projekt mit GameStudio und meinem Webcam Plugin)



(Bild 12: Das kostenlose Programm FreeTrack)

Parallel und Kreuzblick

Eine weitere Möglichkeit um Computerspiele aber auch Filme und Bilder räumlich erscheinen zu lassen, ist es den zwei Augen zwei unterschiedliche, aus zwei leicht versetzten Positionen aufgenommene Bilder zu zeigen. Die einfachste Möglichkeit dies zu ermöglichen, ist es die zwei Bilder nebeneinander anzuordnen und je nach Anordnung darauf zu schielen (Kreuzblick) oder in die Ferne zu gucken (Parallelblick), so dass jedes Auge das ihm zugehörige Bild sieht und das Gehirn daraus eines mit räumlichem Eindruck schafft. Das Ganze ist mit etwas Übung sehr einfach möglich, strengt auf die Dauer aber etwas an, da die Muskeln im Auge anders belastet werden, als sie es gewohnt sind. Auch kann man Vorrichtungen nutzen, die mit Hilfe von Spiegeln dem jeweiligen Auge das richtige Bild zukommen lassen. Ich habe von jemandem hierzu zwei selbst geschliffene Prismen bekommen, da ich ihm half soetwas für sein Spiel umzusetzen.



(Bild 13: Ein Bildpaar für den Kreuzblick)

Versuch 4: Rot-Türkis Anaglyphen

Theorie:

Da das Betrachten von Bildern durch Kreuz oder Parallelblick etwas Übung bedarf und die Augenmuskeln ohne Training dabei schnell ermüden, macht es Sinn das Betrachten solcher Bilder zu vereinfachen. Eine sehr verbreitete und einfache Variante dazu ist es, die zwei Bilder übereinander zu legen. Aus dem einen Bild wird alles Rot herausgefiltert und aus dem anderen alle anderen Farben. Wenn man diese zwei Bilder dann übereinander legt, und mit Hilfe einer Brille betrachtet, die zu dem einen Auge nur rot und zum anderen alle anderen Farben durchlässt, reichen diese Bildinformationen aus um einen räumlichen Eindruck zu schaffen.

Umsetzung:

Ich habe mir eine Brille mit rot und mit türkis Filter gekauft und eine simple Szene mit dem GameStudio von Conitec zusammengesetzt. In dem Level platziere ich zwei Kameras dicht nebeneinander und ersetze in einem Postprocessing Shader den Rotkanal des einen Bildes mit dem des anderen.

Probleme:

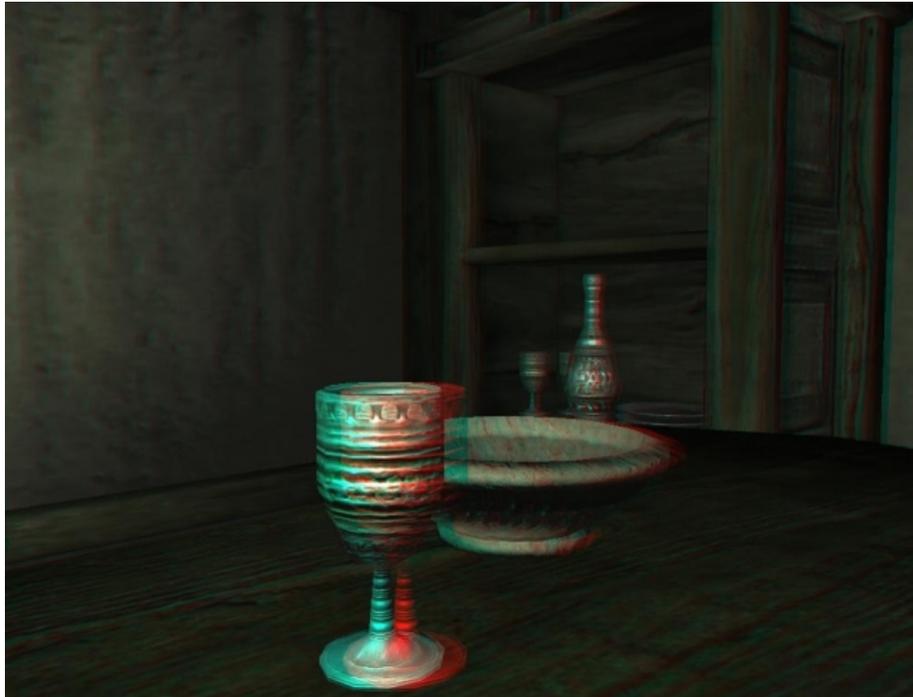
Durch die Filter wird das Bild recht dunkel, auch lassen die Filter manchmal Teile der anderen Farben hindurch, so dass es ein paar Störungen des räumlichen Eindrucks gibt. Ein weiterer Nachteil dieser Technik ist, dass rot fast komplett verloren geht. Auch gibt es Probleme, wenn zu wenig rot im Bild vorhanden ist, dann muss man den Rotkanal mit einer Kombination der Kanäle belegen.

Weiterführendes:

Eine noch einfachere Technik um den 3D Eindruck bei einem Film zu erzeugen ist, es die Kamera mit konstanter Geschwindigkeit seitlich zu bewegen und ein Auge abzudunkeln. Das dunklere Bild wird etwas zeitlich versetzt wahrgenommen so dass die Augen zwei unterschiedliche Bilder erhalten. Eine weitere in 3D Kinos sehr verbreitete Methode ist es mit zwei Beamern und unterschiedlich polarisiertem Licht zu arbeiten. Mit Hilfe einer Polarisationsbrille lässt sich so bei erhalten der Farbqualität jedem Auge das zugehörige Bild zuordnen.

Etwas aufwändiger, aber kostengünstiger als mit zwei Beamern zu arbeiten sind Shutterbrillen. Dabei werden auf dem Bildschirm immer abwechselnd die verschiedenen Bilder angezeigt und die Brille schließt im gleichen Takt immer ein Auge. Das Problem dieser Technik ist, dass man bei Bildschirmen mit unter 120 Hz, ein Flimmern merkt dass auf die Dauer zu Kopfschmerzen führt.

Eine letzte Technik die ich noch nennen möchte sind Videobrillen, bei denen vor jedem Auge ein eigener kleiner LCD Display ist, der das zugehörige Bild anzeigt. Diese Brillen sind häufig sehr schwer und auch ziemlich teuer.



(Bild 14: Ein eigener, fabiger rot-cyan Stereoeanaglyph)

Quellen

- Wikipedia
- www.elektronik-kompodium.de
- leifi.physik.uni-muenchen.de
- forum.electronicwerkstatt.de
- www.apple.com
- www.microsoft.com
- muonics.net/school/spring05/videoInput
- www.chip.de
- www.seeingmachines.com
- www.ocztechnology.com
- johnnylee.net/projects/wii
- www.free-track.net
- www.3d-brillen.de
- www.3dgamestudio.de
- cs.nyu.edu/~jhan/ledtouch/index.html
- www.springwald.de