



Doctoral Thesis

Retinal projection displays for accommodation-insensitive viewing

Author(s):

Waldkirch, Marc von

Publication Date:

2004

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004938943> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Retinal projection displays for accommodation- insensitive viewing

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Marc von Waldkirch
Dipl. Phys. ETH
born 16th November 1974
citizen of Schaffhausen SH and Zürich ZH

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gerhard Tröster, examiner
PD Dr. Marino Menozzi, co-examiner

2005

Abstract

In this thesis we propose and evaluate several optical approaches which aim to substantially extend the depth of focus (DOF) of see-through head-mounted displays (HMD). The main objective is to find a display setup, for which the perceived quality of the virtual images is almost insensitive to changes of the ocular accommodation.

Head-mounted displays promise to become a valuable and unobtrusive alternative to conventional displays, as widely used for laptop computers, PDAs and mobile phones. Additionally, the see-through mode allows the user to overlay the computer data over the real view and thus to combine real and virtual scene. This is of crucial importance for many applications in the area of wearable computing and augmented reality. However, a really unobtrusive and comfortable use of the see-through feature is guaranteed only, if the image quality of the virtual scene is almost insensitive to natural accommodation changes of the user's human eye. Otherwise, the overlaid virtual image gets often out of focus and thus becomes blurred. To avoid this blurring, the DOF of future see-through HMDs should be significantly extended compared to today's systems.

In our work, we propose a novel LCD-based partially coherent retinal projection display which is characterised by a direct projection of a miniature LCD onto the user's retina. The LCD is illuminated by partially coherent light (instead of common incoherent light) leading to a first improvement of the defocusing properties and thus, to an extended depth of focus. Additionally, we evaluate the use of a variable-focus fluid lens in the retinal projection display. This oscillating lens projects the LCD screen sequentially at different foci onto the retina, so that the user perceives a fusion of in-focus and defocused images. We have determined optimum oscillating parameters and discuss the advantages and drawbacks of this method. The most promising approach proposed in this thesis is mainly based on a similar idea: In the so-called multiple image technique an incorporated phase-only mask projects the LCD screen simultaneously at different foci onto the retina so that the multiple images superpose partially coherently to each other. We have designed an appropriate phase-only mask and show the promising potential of this technique to extend the DOF.

In order to characterise the defocusing properties we have carried out contrast experiments as well as measurements of the image quality. In the latter case, the retinal images of short text targets have been assessed by a combination of qualitative image quality criteria and psychometric experiments with subjects. Finally, in a study we propose a miniaturised and compact design of this novel retinal projection display in order to integrate it into common eyeglasses.

An alternative to the LCD-based retinal projection is the retinal scanning technology where the image is scanned pixel-by-pixel onto the retina. For this technology we have carried out defocusing simulations on the basis of an accommodation-dependent eye model and discuss the trade-off between image resolution, DOF and maximum field of view.

In conclusion, we have been able to lay the basis for solutions of the problem of accommodation-insensitive HMDs within the range of accommodation of adult human beings. This should allow further applications of the see-through display mode.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit diskutiert und evaluiert verschiedene optische Methoden, um die Schärfentiefe von sogenannten See-through Head-mounted Displays (HMDs) wesentlich zu vergrössern. Das Hauptziel dabei ist es, einen optischen Aufbau zu finden, bei welchem die wahrgenommene Bildqualität möglichst unabhängig ist von der Akkommodation des Auges.

HMDs stellen eine vielversprechende und bequeme Alternative dar zu heute üblichen Bildschirmen, wie sie oft in Laptops, Taschencomputern (PDAs) und Mobiltelefonen verwendet werden. Die zusätzliche Überblend-Möglichkeit ('see-through mode') erlaubt es dem Benutzer, die dargestellten Computer-Informationen über die jeweilige reale Sicht zu legen und damit virtuelle und reale Welt zu verknüpfen. Dies ist entscheidend für zahlreiche Anwendungen im Wearable Computing oder auch in Augmented Reality. Diese Überblendung ist jedoch für den Benutzer nur dann von wirklichem Nutzen, wenn die Bildqualität des virtuellen Bildes möglichst unabhängig ist von der Augen-Akkommodation. Andernfalls wird die überblendete Computer-Information oft verschwommen und unscharf wahrgenommen. Um dies zu verhindern, sollte die Schärfentiefe zukünftiger See-through-Displays entscheidend vergrössert werden gegenüber heutigen Systemen.

In unserer Arbeit diskutieren wir einen neuartigen LCD-basierten, partiell kohärenten Projektions-Display, der sich dadurch auszeichnet, dass das LCD-Bild direkt auf die Netzhaut des Betrachters projiziert wird. Dabei wird für die Beleuchtung des LCDs statt inkohärentem Licht partiell kohärentes Licht verwendet, was zu einem verbesserten Defokussier-Verhalten führt. Zusätzlich analysieren wir die Verwendung einer neuartigen oszillierenden Flüssig-Linse. Diese oszillierende Linse projiziert das LCD-Bild rasch aufeinanderfolgend auf verschiedene Fokalebene, so dass der Benutzer nur die inkohärente Überlagerung von scharfen und unscharfen Bildern wahrnimmt, nicht aber die Einzelbilder. Für diesen Aufbau analysieren wir die optimalen Oszillations-Parameter und diskutieren dabei Vorteile und Nachteile dieser Methode. Der vielversprechendste Ansatz - die Mehrfach-Abbildungs-Technik - basiert grösstenteils auf einer ähnlichen Idee: In diesem Fall wird das LCD-Bild mittels einer Phasenmaske gleichzeitig auf verschiedene Fo-

kalebenen projiziert. Dadurch überlagern sich die einzelnen Bilder partiell kohärent miteinander. In dieser Arbeit entwerfen wir eine passende Phasenmaske und zeigen das grosse Potential dieser Technik.

Um das Defokussier-Verhalten des Systems zu charakterisieren, haben wir Kontrast- wie auch Bildqualitätsmessungen durchgeführt. Die Beurteilung der Textproben erfolgte dabei durch eine Kombination von objektiven Qualitätsmassstäben und psychometrischen Experimenten mit Testpersonen. Schliesslich analysieren wir in einer Studie die Machbarkeit einer Miniaturisierung dieses neuartigen Displays mit dem Ziel, dieses in herkömmliche Brillengestelle zu integrieren.

Das pixelweise Scannen der Bilder auf die Netzhaut stellt eine mögliche Alternative zum LCD-basierten Projektions-Display dar. Für diese Technologie analysieren wir auf der Basis eines Augenmodells ebenfalls das Defokussier-Verhalten. Basierend auf Simulationen diskutieren wir den auftretenden Zielkonflikt zwischen maximaler Bildauflösung, Schärfentiefe und maximalem Gesichtsfeld.

Zusammenfassend ist es gelungen, die Basis zu legen für technische Lösungen akkommodations-unabhängiger HMDs, und zwar im Umfang, wie es durch das menschliche Akkommodationsvermögen vorgegeben ist. Dadurch sollte der breiteren Anwendung der Überblend-Möglichkeit in HMDs nichts mehr im Wege stehen.