Aktuelle Probleme der Sehforschung

Band 3

Marc von Waldkirch

Retinal projection displays for accommodation-insensitive viewing

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliographic information published by Die Deutsche Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data is available in the internet at http://dnb.ddb.de.

Zugl.: Zürich, ETH, Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3606-6
ISSN 1610-9996

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Die Kombination artifizieller mit realer Information ist eine zukunftsträchtige Technik, die z. B. als Erweiterung sinnesphysiologischer oder kognitiver Fähigkeiten eines Anwenders eingesetzt wird. Schwerpunktmässig liegen hierzu die Forschungs- und Anwendungsarbeiten im Bereich der Erweiterung der visuellen Funktion. Die Kombinationstechnik hat durch das Schlagwort 'augmented reality' einen gewissen Bekanntheitsgrad erreicht.

Sowohl die reale als auch die artifizielle Information werden in augmented reality durch dasselbe dioptrische System des Auges betrachtet. Die scharfe Abbildung der realen und der artifiziellen Objekte ins Auge bedingt entweder ein Angleichen der Sehdistanzen für beide Informationstypen oder eine Anpassung der Brechkraft des Auges an die jeweilige Sehdistanz. Beide Forderungen schränken die Anwendung von augmented reality empfindlich ein. Alterssichtige Personen werden von diesem Handicap besonders betroffen sein.

In der vorliegenden Dissertationsarbeit untersucht Herr von Waldkirch Möglichkeiten, oben beschriebene Einschränkungen bei der Kombination realer und artifizieller Information zu umgehen. Zur Verbesserung der Schärfentiefe des Auges schlägt Herr von Waldkirch mehrere Prinzipien vor. Eine Methode beruht auf der Verwendung von kohärentem Licht. Ähnliche Resultate betreffend der Schärfentiefe erzielt Herr von Waldkirch durch die Einführung einer oszillierenden Linse in die Apparatur. Eine weitere Methode lehnt an die Erzeugung von Mehrfachabbildungen an verschiedenen Orten längs der optischen Augenachse an, ähnlich wie Vorstellungen über den Sehvorgang, die Hermann von Helmholtz in seinem Handbuch der physiologischen Optik Ende 1800 zitiert hat.

Dank rasant forschreitender Miniaturisierung wird es demnächst möglich sein, die in dieser Arbeit entwickelten Ideen im Dienste eines erweiterten Sehens im Alltag umzusetzen. Vielleicht steht die Brillenentwicklung vor einem Quantensprung.

Zürich, im Januar 2005
PD Dr. Marino Menozzi

To Franziska

Inhaltsverzeichnis

Abstract **v**

Zusammenfassung **vii**

1. Introduction to head-mounted displays **1**
1.1. Requirements to HMDs 2
1.2. Technological categorisation 3
1.2.1. Screen-based HMDs 3
1.2.2. Retinal scanning display 5
1.2.3. Mixed displays 6
1.3. Functional categorisation 6
1.3.1. Stereoscopic viewing 7
1.3.2. See-through mode 8
1.3.3. Low vision aid 9
1.4. Accommodation conflict 9
1.5. Related work 11

2. LCD-based coherent retinal projection display **13**
2.1. System overview 14
2.2. Defocusing analysis 15
2.2.1. Amplitude spread function 15
2.2.2. Incoherent limit ($\sigma \to \infty$) 16
2.2.3. Coherent limit ($\sigma \to 0$) 17
2.2.4. Difference between $\sigma \to 0$ and $\sigma \to \infty$ 18
2.3. Coherence effects 20
2.3.1. Speckle noise 21
2.3.2. Coherent noise 21
2.3.3. Edge ringing and shifting effect 22
2.4. Conclusion 24

3. Effect of light coherence on depth of focus **25**
3.1. Experimental setup 26
3.1.1. Bench model 26
3.1.2. Evaluation method 27
3.1.3. Experiments 28

3.2. Contrast measurements 28
3.3. Image quality of text targets 31
3.3.1. Experimental setup 31
3.3.2. Metrics-based assessment 32
3.3.3. Direct visual assessment 33
3.3.4. Discussion 34
3.4. Conclusion 36

4. Multiple imaging technique 37
4.1. Approach 38
4.2. Theoretical background 38
4.2.1. System overview 38
4.2.2. Theoretical approach 39
4.3. Simulation background 40
4.3.1. Accommodation-dependent eye model 40
4.3.2. Simulation of partial coherence 40
4.3.3. Simulation parameters 41
4.3.4. Exit pupil and eye motion 41
4.4. Design of the phase mask 43
4.4.1. Evaluation method 43
4.4.2. Finding PM coefficients $(\delta_l, w_l, \phi_l)_{l=0..L}$ 44
4.4.3. Partially coherent illumination $\sigma = 0.5$ 45
4.4.4. Fully coherent illumination $\sigma = 0$ 47
4.4.5. Fully incoherent illumination $\sigma = \infty$ 49
4.4.6. Final phase mask profile 49
4.5. Evaluation 50
4.5.1. Metrics-based Evaluation 51
4.5.2. Psychometric experiments 53
4.6. Conclusion 57

5. Oscillating fluid lens 59
5.1. System consideration 60
5.1.1. Optical setup 60
5.1.2. Approach 60
5.1.3. Theoretical aspects 61
5.2. Simulation background 62
5.3. Evaluation 63
5.3.1. Fluid lens amplitude ξ 63
5.3.2. Coherence level σ 65
5.4. Psychometric evaluation 67

5.4.1. Methods 67
5.4.2. First experiment: Image quality at $\Delta D = 0\,\mathrm{D}$ . . 67
5.4.3. Second experiment: Estimation of depth of focus 69
5.5. Retinal images 70
5.6. Conclusion 71

6. Spectacle-Based Design 73
6.1. System Specifications 74
6.2. Design Analysis 75
6.3. Additional aperture lens 77
6.4. Proposed Design 78
6.5. Laser Safety Considerations 81
6.5.1. Mechanism of interaction with biological tissue . 81
6.5.2. Exposure limits for coherent radiation 83
6.5.3. Exposure limits for broad-band incoherent radiation 85
6.5.4. Required power in bright ambient lighting condition 87

7. Defocusing simulations on a scanning RSD 89
7.1. Simulation background 90
7.1.1. Retinal scanning display 90
7.1.2. Accommodation-dependent schematic eye model 91
7.1.3. Retinal properties 91
7.2. Contrast function 92
7.2.1. Beam raytracing 93
7.2.2. Contrast calculation 93
7.3. Contrast analysis 95
7.3.1. General considerations 95
7.3.2. Resolution analysis 97
7.3.3. Corneal beam variation 97
7.4. Image field analysis 101
7.4.1. In-focus analysis 101
7.4.2. Defocusing analysis 103
7.5. Final trade-off between resolution, DOF and image field 105
7.6. Conclusion and outlook 106

8. Conclusion 109
8.1. Summary and Achievements 109
8.2. Outlook 112

A. Accommodation-dependent schematic eye model **115**
A.1. The emmetropic eye model 116
A.2. Accommodation modelling 117
A.3. Eye rotation 117

B. Theory on partial coherence **119**
B.1. Definition of spatial coherence 120
B.2. Notation and Scaling 120
B.3. Image forming 121
B.4. Definition of coherence level σ 123

C. Definitions **125**

Glossary **131**

Bibliography **137**

Acknowledgements **150**

Curriculum Vitae **151**