

DISS. ETH NO. 22745

# ADVANCED 3D DISPLAY TECHNOLOGIES

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH  
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

NICOLA RANIERI

Master of Science ETH in Computer Science, ETH Zurich

born on 07.08.1985

citizen of Bachenbülach (ZH), Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Markus Gross, examiner  
Prof. Dr. Henry Fuchs, co-examiner  
Prof. Dr. Otmar Hilliges, co-examiner

2015

# Abstract

Displays capable of providing the illusion of depth have been emerged over the past decades and even found their way into home entertainment. These devices can be as simple as just separately exposing two different views for the left and the right eye but also can be as complex as reproducing a full 4D light field. While they succeed in creating the illusion of depth, they typically are lacking many visual cues which would be required to give an immersive and natural viewing experience.

In this thesis, we analyze different 3D display technologies. We assess their strengths and weaknesses and explore ways on how to improve them. With the gained knowledge, novel display designs are proposed, built and evaluated.

More specifically, we investigate three different types of displays. We first enhance stereoscopic displays by adding transparency as a feature. Also we propose a retroreflective system to serve independent content to multiple viewers on a large-scale display.

We then generalize the notation of multi-layered volumetric displays by creating a framework which describes the basic display primitives for a existing screens. Within this framework, we then provide the operations applied to light traversing each primitive and provide a decomposition algorithm for a given input light field.

Finally we also provide advanced versions of light field displays. We show how multiple layers can reduce the bandwidth required by a 4D light field display. Then we describe how a transparent light field display can be achieved. Further we describe a light field display with a significant higher bandwidth than state of the art displays, using the temporal domain.

Since many of the created prototypes use multiple layers, we also propose a method to calibrate multi-layered display architectures.

For each idea we have built novel hardware prototypes to proof soundness of our theories. Results are captured and critically discussed to verify the feasibility of the concepts. We show, that understanding both the underlying hardware as well as the theory is crucial and can lead to improved performance and realism of advanced 3D displays.

# Zusammenfassung

Bildschirme mit der Fähigkeit Tiefe darzustellen wurden in den letzten Jahren immer populärer und haben sogar ihren Weg in die Heimunterhaltung gefunden. Diese Geräte stellen zum Teil ganz einfach die unterschiedlichen Bilder für das linke und das rechte Auge separat dar, können aber auch ganz komplex sein und ein volles 4D Lichtfeld reproduzieren. Sie können zwar sehr gut Tiefe darstellen, jedoch fehlt es ihnen typischerweise an vielen anderen visuellen Signalen, welche für eine immersive und natürliche Tiefenwahrnehmung nötig wären.

In dieser Arbeit analysieren wir unterschiedliche 3D Display-Technologien. Wir beurteilen ihre Stärken und Schwächen und suchen Möglichkeiten sie zu verbessern. Mit dem gewonnenen Wissen entwerfen und bauen wir neue Displays und werten diese dann aus.

Inbesondere untersuchen wir drei verschiedene Arten von Displays. Zuerst verbessern wir stereoskopische Bildschirme indem wir sie transparent machen. Desweiteren stellen wir ein retroreflektives System vor, welches unterschiedlichen Inhalt für verschiedene Zuschauer darstellen kann.

Dann verallgemeinern wir die Notation für mehr-schichtige volumetrische Displays indem wir ein Modell entwerfen, welches die Grundbausteine existierender Bildschirme beschreibt. In diesem Modell beschreiben wir dann die Operationen, welche jede Schichtart auf Licht ausübt. Dazu beschreiben wir einen Algorithmus, welcher ein gegebenes Lichtfeld auf die Schichten verteilt.

Zuletzt stellen wir noch neuartige Lichtfeld-Bildschirme vor. Wir zeigen wie mehrere Schichten die benötigte Bandbreite für 4D Lichtfelder drastisch reduziert. Dann stellen wir ein transparentes Lichtfeld-Display vor. Desweiteren beschreiben wir ein Lichtfeld-Bildschirm mit einer signifikant höheren Bandbreite als herkömmliche Displays, welches die zeitliche Domäne nutzt.

Da viele unserer Prototypen aus mehreren Display-Schichten besteht, präsentieren wir einen Kalibrierungs-Algorithmus für mehr-schichtige Display-Architekturen.

Für jede Idee haben wir Prototypen gebaut, welche unsere Theorien bestätigen. Resultate wurden aufgenommen und kritisch hinterfragt um die Realisierbarkeit nachzuweisen. Wir zeigen dass das Verständnis über Hardware und Theorie von 3D Displays zu verbesserten Systemen mit erhöhtem Realismus führen kann.