

Automatisierte geometrische Kalibrierung von stereoskopischen VR-Rückprojektionssystemen

Andreas Pusch, Michael Waldowski, Hochschule Furtwangen

Mit diesem Artikel wird ein neues Konzept zur automatisierten geometrischen Kalibrierung von stereoskopischen Virtual-Reality-Rückprojektionssystemen vorgestellt. Generell dient Virtual Reality (VR) nicht nur als passive Visualisierungsplattform, sondern erlaubt einen interaktiven Einsatz beispielsweise in Medizin, Wissenschaft und Unterhaltung. Drei Hauptproblembereiche wurden untersucht und in einer prototypischen Umsetzung verifiziert:

- Registrierung von bestehenden geometrischen Projektionseigenschaften
- Algebraische Beschreibung und Korrektur vorhandener Projektionsfehler
- Universelle Einsetzbarkeit für beliebige 3D-Echtzeit-Umgebungen

Es wird gezeigt, dass eine Registrierung auch bei ausgeprägten visuellen Störeinflüssen erfolgen kann. Weiterhin schließen die Korrekturberechnungen projektiver Abbildungsfehler sowohl einkanalige als auch überlagerte Rückprojektionen ein. Im Ergebnis erzeugt der Kalibrierungsprozess Parameter, die eine Vorverzerrung im 2D- und 3D-Raum erlauben. Die Basisarchitektur und Effektbandbreite von bestehenden VR-Frameworks werden dabei aufgrund des gewählten 2-pass-Rendering-Konzeptes nicht eingeschränkt.

Schlüsselworte: Virtual Reality, Automatisierte geometrische Kalibrierung, Projektionscluster, 3D-Echtzeit

Grenzen aktueller VR-Visualisierungssysteme

Das Interesse an leistungsfähigen stereoskopischen VR-Visualisierungssystemen ist Dank technologischer und methodischer Fortschritte in den letzten Jahren stetig gestiegen. Hierbei beschränkt sich das Einsatzfeld nicht nur auf medizinisch-therapeutische und wissenschaftliche Applikationen, sondern erschließt sich zunehmenden Raum im Bereich von kommerziellen und unterhaltungsorientierten Anwendungen [1].

Dennoch verbleibt eine Reihe signifikanter Defizite, die einen wirkli-

chen Durchbruch bislang verhindern. Im Wesentlichen handelt es sich um Schwächen einerseits bezüglich der ergonomischen Güte (Kontrast, Helligkeit, Auflösung etc.) und andererseits der grundsätzlichen Systemperformance (Visualisierung, Interaktion).

Clusterelemente (Abb. 1, nachfolgende Seite) verfügen über das Potential, die meisten der limitierenden Faktoren auszuräumen oder wenigstens zu dämpfen. Dies wird auf struktureller Ebene vor allem durch eine Verteilung der Rechenlast erreicht [2]. Zur Verbesserung der ergonomischen Präsentation segmentiert man die Darstellungen [3]. Beide Optimierungsmethoden provozieren jedoch im gleichen Moment die Hauptnachteile von Clusterelementen: den erhöhten Management- und Materialaufwand, sowie die Schwierigkeit einer effizienten, aber dennoch hinreichend exakten Kalibrierung der Ausgabe.

In den vergangenen Jahren hat es insbesondere bezüglich des zuletzt genannten Aspekts, und damit dem zentralen Diskussionsgegenstand dieses Artikels (im Folgenden konzentriert auf die Projektionsgeometrie), eine ganze Reihe von sehr unterschiedlichen Lösungsansätzen gegeben. Tabelle 1 (nachfolgende Seite) gibt einen Überblick über die wichtigsten Systeme.

Die genannten Ansätze lassen sich bzgl. einer effizienten geometrischen Kalibrierung häufig nur bedingt auf die Konfigurationen immersiver, interaktiver VR-Anlagen übertragen. In diesem Zusammenhang muss den Anforderungen an mono-, aber auch stereoskopische Rückprojektionssysteme Rechnung getragen werden. Weitere



A. Pusch, M.Sc. CSM



Prof. Dr. M. Waldowski

zentrale Schwachpunkte findet man vor allem in der begrenzten Integrationsflexibilität gegenüber Fremdsystemen, der teils stark eingeschränkten Skalierbarkeit und dem unzureichenden Automatisierungsgrad.

Im folgenden Kapitel wird ein Kalibrierungskonzept vorgestellt, das anhand eines einzelnen zweikanaligen Rückprojektionssegments zeigt, wie die genannten Kernlimitierungen beseitigt werden können. Es folgen in den weiteren Kapiteln Ausführungen zur Implementierung sowie die Diskussion der Ergebnisse der prototypischen Um-

Abstract

In this paper we present a new concept for geometric auto-calibration of back projection, stereoscopic virtual-reality-systems. The general purpose of virtual reality (VR) is not restricted to passive visualisations, but can also be seen for interactive clinical, scientific or entertainment applications. The following main aspects have been investigated:

1. Registration of geometric projection properties
2. Algebraic description and correction of projection errors
3. Universal employment for arbitrary 3D real-time environments

It will be shown that the registration process is tolerant against strong scatter light effects. The calculation of the pre-warping correction parameters can be done for single and overlaid projections. Moreover, this approach does not influence the base architecture and effect bandwidth of existing VR-frameworks, because of an independent second rendering pass.

setzung. Das letzte Kapitel beschreibt eine mögliche Adaptierung des Ansatzes auf Clustersysteme.

Entwicklung des automatisierten Kalibrierungsprozesses

Aus den genannten VR-spezifischen Anforderungen ergeben sich drei Kernprobleme:

- *Anwendbarkeit der Zustandsanalyse auf stereoskopische und rückprojektierte Systeme*
Hierbei ist zu beachten, dass für zweikanalige stereoskopische Darstellungen die Einzelprojektionen exakt zur Deckungsgleichheit gebracht werden müssen. Betreibt man die Anlage mit unterschiedlichen Projektoren, können teils starke Schwankungen in Helligkeit, Kontrast und Verzeichnungen [10] auftreten. Zusätzlich besteht bei Rückprojektionsflächen prinzipbedingt die Schwierigkeit von stark inhomogenen Abstrahleigenschaften. Die Analyse sollte unter Alltagsbedingungen funktionieren.

- *Wahl geeigneter, universell einsetzbarer Korrekturparameter und deren Berechnung*

Da der Anspruch besteht, auch handelsübliche Projektoren ohne Optionen zur direkten Beeinflussung der Projektionsgeometrie verwenden zu können, muss eine Korrektur eventueller Fehler unabhängig von speziellen Halterungen oder Steuermechanismen vorzunehmen sein. Ein algebraisches Modell zur Beschreibung und Behebung der Fehler

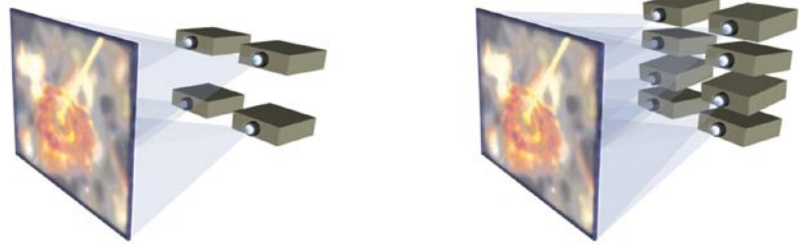


Abb. 1: Ein- und zweikanalige Projektionscluster

ist deshalb zu präferieren. Die aus einem solchen Verfahren resultierenden Korrekturgrößen sollten direkt in unterschiedliche, nicht mit einer standardisierten Korrekturschnittstelle ausgestattete Rendering-Pipelines integrierbar sein. Zu den wichtigsten Methoden in diesem Zusammenhang zählen das Prewarping [11] und das Pixelshading [12]. Im Sinne einer klareren System- und Verarbeitungsstruktur wird jedoch ein autarker Kalibrierungsprozess benötigt.

- *Autonomie des Kalibrierungsprozesses und dessen flexible Integrierbarkeit*

Sowohl die Schritte zur Erkennung möglicher Darstellungsverzerrungen, als auch die Korrektur selbst müssen unabhängig von bestimmten systembedingten Hard- bzw. Softwarekonfigurationen durchführbar sein. Dies schließt eine Unabhängigkeit gegenüber den vielfältigen kommerziellen und experimentellen VR-Frameworks ein. Ziel ist es, eine generelle Standardisierung auf allen wesentlichen Ebenen zu erlauben.

Zur Lösung von *Kernproblem 1* wurde eine mehrstufige Analyse des Projektionszustandes entwickelt. Zunächst wird eine waagrecht und orthogonal zur Projektionsfläche orientierte Consumer-Kamera stabil so positioniert, dass der komplette Projektionsbereich erfasst werden kann. Verfügte die Kamera über PTP-Fähigkeiten [13], wäre eine Automatisierung des Aufnahmeprinzips z. B. via USB möglich. Nacheinander werden nun zwei spezifische Testmuster (Abb. 2, folgende Seite) über die Projektoren ausgegeben und anschließend aufgenommen. Das Design ist so gewählt, dass eine exakte geometrische Bestimmung der projektiven Darstellungsfehler selbst für sehr unterschiedliche Projektoren sichergestellt werden kann.

Durch das Subtraktionsmuster (Abb. 2 rechts, folgende Seite) lassen sich mittels Differenzbilderzeugung die üblichen Intensitätsvarianzen bei Rückprojektionen reduzieren, ein zum Haupttestmuster vergleichbares Belichtungsniveau für das zweite Bild erreichen, materialbedingte Überstrahlereffekte an kontrastreichen Kanten minimieren und alle übrigen Objekte der Umgebung effizient eliminieren. Der letzte Schritt nach der Bildsubtraktion ist die Erkennung der Eckpunkte des Haupttestmusters. Ein dem menschlichen Suchverhalten nachempfundenem vektorieller Detektionsprozess ermöglicht hierbei eine sehr schnelle Analyse. Nachdem der potentiell interessante Bildbereich eingegrenzt wurde, erfolgt die finale Erkennung entlang charakteristischer Merkmale, ohne aufwändig jedes einzelne Pixel zu bewerten. Die Merkmalkoordinaten sind essentielle Elemente der später durchzuführenden Berechnungen.

Kernproblem 2 erfordert zweierlei: Ein hardwareunabhängiges mathematisches Modell zur Beschreibung und Behebung vorhandener projektiver Verzerrungen sowie die Bereitstellung vielfältig einsetzbarer Korrekturparameter. Die entscheidenden Abbildungsfehler lassen sich nach der Regi-

System, Eigenschaften	Geometrische Kalibrierung	Allg. Einschränkungen
Princeton Display Wall [4] - Rückprojektion (mono) - 6 x 4 Clusterelemente	- 15 Einzelaufnahmen - Homography-Tree-Entzerrg. - Halbautomatisch	- Keine Stereoskopie - Keine Interaktion
PixelFlex2 [5] - Aufprojektion (mono) - Skalierbare Clusterelementanzahl	- Marker für Projektionsfläche - Eine SW-Kamera - 1-pass-Entzerrg. pro Element - Vollautomatisch	- Keine Stereoskopie - Begrenzter Interaktionsraum durch Aufprojektion - Abhängigkeit von Markern
The HeyeWall [6] - Rückproj. (stereo) - 6 x 4 Clusterelemente	- Hardwaregestützt - Weitestgehend manuell	- Sehr aufwändige Kalibrierg. - Subjektive Zustandseinschätzung
Deep Vision Display Wall [7] - Rückproj. (stereo) - 4 x 3 Clusterelemente	- Hard- & softwaregestützt - 1-pass-Entzerrg. pro Element - Weitestgehend manuell	- Projektoren mit Sonderfunktionen - Subjektive Zustandseinschätzung
ILamps [8] - Aufprojektion (mono) - Ad-hoc skalierbare Clusterelementanzahl	- Rein softwaregestützt - Kamera & PC pro Element - Projektive Entzerrung - Vollautomatisch	- Keine explizite Stereoskopie - Begrenzter Interaktionsraum durch Aufprojektion - Kompon. nicht handelsüblich
Multi-Projector Display Wall [9] - Aufprojektion (mono) - 4 x 2 Clusterelemente	- Rein softwaregestützt - Eine SW-Kamera - Virtuelle Systemrekonstrukt. - Vollautomatisch	- Keine Stereoskopie - Begrenzter Interaktionsraum durch Aufprojektion - Idealisierte Systemvoraus.

Tabelle 1: Die wichtigsten Kalibrierungsansätze

strierung, wie unter anderem bei [14] gezeigt, folgendermaßen bestimmen:

$$\begin{pmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ d_1 & e_1 & f_1 \\ g_1 & h_1 & i_1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

mit:

- x, y: bekannte Merkmalkoordinaten des unverzerrten 2D-Testmusters
- x', y': perspektivisch verlagerte Merkmalkoordinaten der aufgenommenen bzw. registrierten Projektion
- w: homogene Koordinate
- a₁ bis i₁: Parameter der gesuchten allgemeinen Transformationsmatrix

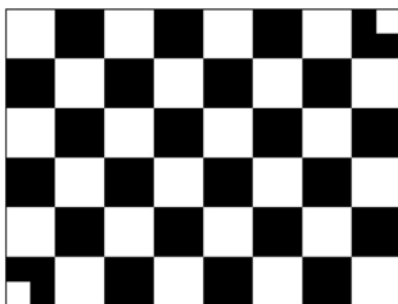


Abb. 2: Haupttestmuster (links) und Subtraktionsmuster (rechts)

Nach Normalisierung und Umformung ergeben sich die gesuchten Koordinatengleichungen, mit denen man das Gleichungssystem zur Berechnung der Matrixparameter aufstellen kann:

$$x' = \frac{a_2x + b_2y + c_2}{g_2x + h_2y + 1}$$

$$y' = \frac{d_2x + e_2y + f_2}{g_2y + h_2y + 1}$$

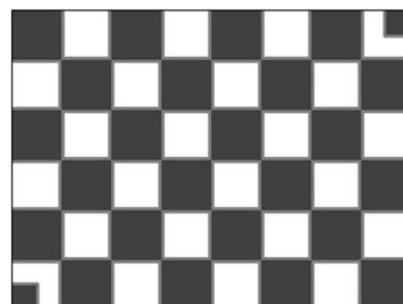
mit:

- a₂ bis h₂: Parameter der finalen perspektivischen Transformationsmatrix T_p (a₁ bis h₁ normalisiert nach i₁)

Um die acht unbekannt Parameter zu bestimmen, benötigt man wenigstens vier solcher Gleichungs-

bzw. Merkmalkoordinatenpaare. Bei Einbeziehung mehrerer Gruppen von Merkmalen ist es wiederum möglich, z. B. nach dem Gauß'schen Prinzip der kleinsten Quadrate eine Fehlerglättung und somit eine subpixelgenaue Lösung zu erzielen. Die nächsten Schritte des Korrekturalgorithmus' auf Basis von T_p seien nachfolgend kurz beschrieben:

1. Berechnung des größten in die Merkmalkonturen einzuzeichnenden, horizontal orientierten und im gewünschten Seitenverhältnis dimensionierten Rechtecks (z. B. nach [8]) → Speicherung der vier 2D-Eckkoordinaten
2. Rücktransformation des Rechtecks über T_p⁻¹ in die unverzerrten Bildräume → Speicherung der resultierenden



Polygonvertices als Zielkoordinaten für die 2D-/3D-Korrekturtransformationen

3. Berechnung und anschließende Durchführung der Korrekturtransformationen in einem systemunabhängigen zweiten Rendering-pass (z. B.: 3D-Prewarping, Pixelshader)
4. Lancieren des zweiten Renderingpasses und Darstellung der korrigierten Ausgabe(n)

Bezüglich des Kernproblems 3, der Autonomie des Kalibrierungsprozesses, lässt sich die gesuchte Lösung im Wesentlichen aus den vorangegangenen Problembearbeitungen ableiten. Sowohl die Zustandsanalyse als auch die Korrekturparameterberechnung (s. o.) können dank gekapselter Vorgänge vollständig vom eingesetzten VR-Framework entkoppelt werden. Nur die

Integration der berechneten Parameter erfordert die Einführung eines standardisierbaren, möglichst leichtgewichtigen zweiten Rendering-passes. Aus Performancesicht ist deshalb Punkt 3. (s. o.) am ehesten zu empfehlen. Weiterhin ermöglicht der Algorithmus eine Kalibrierung von mono- bzw. stereoskopischen Auf- und Rückprojektionssystemen, wobei die Projektoren keine speziellen Funktionalitäten aufweisen müssen.

Hardwareintegration und Implementierung des Kalibrierungsprozesses

Orientiert an den Schwachpunkten der bisherigen Ansätze wurde für die Untersuchungen ein klassisches VR-Rückprojektionssystem gewählt, das ein- und zweikanalige 3D-Echtzeit-Visualisierungen unterstützt. Wichtig war zudem, dass nur handelsübliche Komponenten (Kameras und Projektoren) verwendet werden. Entsprechend wurden für die Untersuchungen folgende Geräte eingesetzt:

- *Kameras*: Canon PowerShot S30, Canon PowerShot S45, Canon IXUS 500, Fuji FinePix S5000
- *Projektoren*: Panasonic PT-LB10NTE, Hitachi CP-SX5500, Liesegang ddv 1500, Liesegang ddv 1800

Als Rückprojektionsfläche diente eine neigbare, polarisationserhaltende Kunststoffscheibe. In Abb. 3 sind noch einmal alle wichtigen Elemente dargestellt.

Der in C/C++ implementierte Kalibrierungsprozess nutzt ausschließlich frei verfügbare Software-Bibliotheken: gPhoto2 [15] (Kameraansteuerung und -kommunikation), OpenCV [16] (Digitale Bildverarbeitung) und OpenGL (Industriestandard für interaktive 2D-/3D-Grafiken). Von der Hauptapplikation wird ein zentrales Interface zur Verfügung gestellt, das eine Kontrolle über die einzelnen Kalibrierungsschritte zulässt (u. a.: Erzeugung des Differenzbildes, Registrierung der Testmustermerkmale, Berechnung der projektiven 2D-/3D-Korrekturparameter). Die vollständige Verarbeitungsstruktur für eine zweikanalige Projektion verdeutlicht Abb. 4.

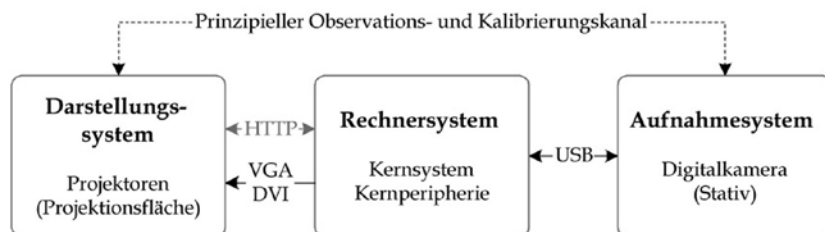


Abb. 3: Struktureller Aufbau der Hardwareumgebung

Ergebnisse

In einer prototypischen Umsetzung konnte für verschiedene initiale Projektionsfehler gezeigt werden, dass die kameragestützte, automatisierte Kalibrierung von ein- und zweikanaligen Rückprojektionssystemen bei ge-

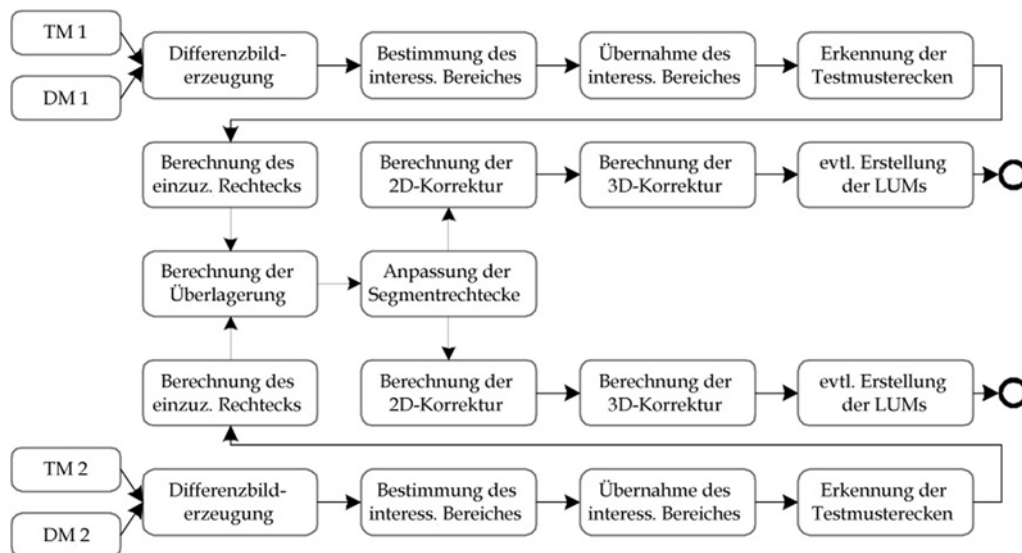


Abbildung 4: Hauptkorrekturprozess für überlagerte Projektionen; TM: Testmuster, DM: Differenz-/Subtraktionsmuster, LUM: Look-up map (Referenztafel für Pixelpositionen)

wöhnlichen Umgebungsbedingungen (Alltagsbeleuchtung, übliche Arbeitsplatzbeschaffenheit) nach dem neuen Kalibrierungsprozess durchführbar ist. Es wurden außerdem die Abstrahlhomogenitäten und die berechneten Korrekturparameter bewertet. D. h. für explizit konstruierte minimale Verzerrungen müssten sich die Matrizen für die 2D-/3D-Korrekturtransformationen annähern.

Die Kalibrierungsdauer lag inkl. Erzeugung eines korrigierten 2D-Pixelbildes, das der optischen Genauigkeitsprüfung diente, für eine einkanale Konfiguration bei durchschnittlich 1,59 Sekunden und für das zweikanalige

System bei 2,41 Sekunden (Testsystem: P3, 650 MHz, 512 MB RAM, SuSE Linux 9.1). Die maximale Abweichung für überlagerte Projektionen belief sich in peripheren Bildzonen für extreme Initialfehler (Abb. 5 links) auf <2 Pixel. Im Durchschnitt lag die Abweichung bei <1 Pixel. Bezüglich der Korrekturparameterentwicklung wurden für die vorhergesagte Annäherung an die Einheitsmatrizen Fehler in der Größenordnung von maximal zwei Hundertstel, häufig aber nur einem Tausendstel erkannt.

Die Abb. 5 und 6 demonstrieren für eine Zweikanalkonfiguration die Situation vor und nach der Kalibrierung

(starke und moderate Projektorfehlstellungen). Gut zu erkennen sind hierbei die ausgeprägten Störeinflüsse einer Arbeitsplatzumgebung. So konnte vor allem die generelle Robustheit des Algorithmus überprüft werden.

Die wesentliche Grenze des vorgestellten Ansatzes liegt in der bislang noch fehlenden praktischen Adaption auf VR-Projektionscluster (s. Kap. 5). Demnach ist eine Erweiterung der Implementierung genauso geboten wie die technische Integration eines variabel konfigurierbaren, ggf. mobilen Clustersystems. Weiterhin sind speziell Verbesserungen der Zustandsanalyse und der Korrekturgenauigkeit von besonderer Bedeutung.

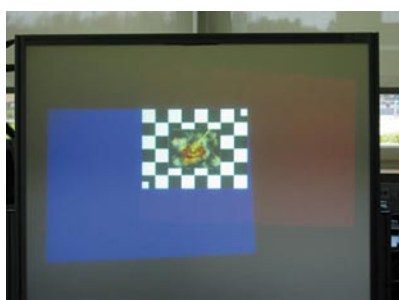


Abb. 5: Überlagerte Projektion, starke Projektorfehlstellung (rechts: Korrektur)

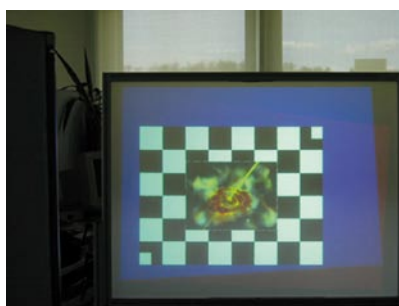
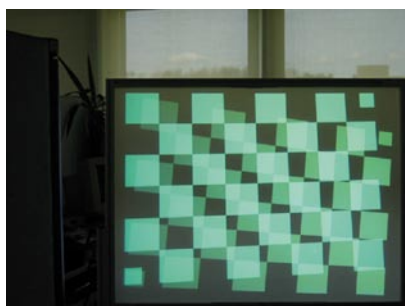


Abb. 6: Überlagerte Projektion, moderate Projektorfehlstellung (rechts: Korrektur)

Zusammenfassung und Ausblicke

Ziel war es, einen automatisierten Kalibrierungsprozess zu entwickeln, der eine effiziente Korrektur der Projektionsgeometrie für ein- und zweikanalige Rückprojektionssysteme unter Berücksichtigung technologischer und methodischer VR-Spezifika leistet. Hierfür wurden Fragen zur Analyse projektiver Abbildungsfehler, der Wahl und der Berechnung geeigneter Korrekturparameter, sowie deren flexible Einbindung in bestehende Systeme untersucht. Weiterhin erfolgte die detaillierte Vorstellung des Kernalgorithmus. Schlussendlich wurde anhand einer prototypischen Implementierung die Praxistauglichkeit demonstriert.

Die bestehenden Limitierungen markieren gleichzeitig die Hauptansatzpunkte für Folgearbeiten. So liegen die entscheidenden Verbesserungspotenti-

ale in einem vereinfachten Kameraumgang (Unabhängigkeit gegenüber einer exakten Ausrichtung und der Kenntnis intrinsischer Größen), der zusätzlichen Einbeziehung nichtprojektiver Verzerrungen (Linsenfehler, nicht planare Projektionsflächen), der Kalibrierung von Farb-, Helligkeits- und Kontrasteigenschaften, der generellen Einführung eines standardisierten zweiten Rendering-passes und schließlich der o. g. praktischen Adaption auf Clustersysteme. Diese kann mit Hilfe verschiedener Modifikationen (ausführliche Details bei [3]) erreicht werden:

- Registrierung segmentierter, u. U. mehrwandiger Projektionen
- Adaptive, intelligente Korrekturparameterberechnung
- Einsatz der Korrekturparameter in verteilten 3D-Echtzeit-Umgebungen

Über diese Erweiterungen lassen sich monoskopische und stereoskopische Auf-, wie Rückprojektionscluster weitestgehend automatisiert kalibrieren. Die grundsätzliche Herangehensweise unterscheidet sich dabei nur in einigen infrastrukturellen Punkten von jener, die schon für die ursprünglich untersuchte Systemgruppe galt.

Zu den Autoren

Michael Waldowski studierte Physik und promovierte in diesem Fach 1987 an der WWU Münster. Bis 1991 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut der Telekom in Darmstadt in der Forschungsgruppe Visuelle Kommunikation; seit WS 91/92 ist er Professor an der Hochschule Furtwangen mit dem Lehrgebiet Grafische Datenverarbeitung.

Andreas Pusch studierte Medieninformatik an der Hochschule Furtwangen und schloss im Jahr 2005 mit dem Master of Science ab (M.Sc. CSM). Seit seit Oktober 2005 ist er Doktorand am GRAVIR-Laboratory, Grenoble.

Literatur

- [1] Schwanecke, U.: Virtual Reality, ein Oxymoron mit Zukunft, CIM, Rüsselsheim, 2004
- [2] Bues, M.; Hinkenjann, A. et al.: Network aware parallel rendering with PCs, Proceedings of ACM SIGGRAPH on Virtual Reality, Singapore, 2004
- [3] Pusch, A.: Automatisierte geometrische Kalibrierung von stereoskopischen VR-Rückprojektionssystemen, Master-Thesis, Furtwangen, 2005

men, Master-Thesis, Furtwangen, 2005

- [4] Chen, H. et al.: Experiences with Scalability of Display Walls, Proceedings of the Immersive Projection Technology Workshop, Orlando, 2002
- [5] Raij, A. et al.: PixelFlex2: A Comprehensive, Automatic, Casually-Aligned Multi-Projector Display, Proceedings of IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems, Nice, 2003
- [6] Kresse, W.; Reiners, D.; Knöpfle, C.: Color Consistency for Digital Multi-Projector Stereo Display Systems: The HEyeWall and The Digital CAVE, Proceedings of IPT, Zürich, 2003
- [7] Bresnahan, G. et al.: Building a Large Scale, High Resolution, Tiled, Rear Projected, Passiv Stereo Display System Based on Commodity Components, Proceedings of SPIE, Vol. 5006, S. 19 - 30, 2003
- [8] Raskar, R. et al.: iLamps: Geometrically Aware and Self-Configuring Projectors, Proceedings of ACM SIGGRAPH '03, S. 809 - 818, 2003
- [9] Raji, A.; Pollefeys, M.: Auto-Calibration of Multi-Projector Display Walls, ICPR (1) 2004, S. 14 - 17, Washington DC, 2004
- [10] Thöniß, T.: Abbildungsfehler und Abbildungsleistung optischer Systeme, Vortrag an der HAWK (PhotonikNet), Göttingen, 2004
- [11] Cobzas, D.; Jagersand, M.: A Survey of Image-based Modeling and Rendering, IEEE Virtual Reality Tutorial, Los Angeles, 2003
- [12] Yerex, K.; Jagersand, M.: Implementation of Real-Time Texture Blending and IBMR systems, IEEE Virtual Reality Tutorial, Los Angeles, 2003
- [13] GNU GPL: PTP Communication Library, <http://sourceforge.net/projects/libptp>, 2005, Zugriff am 01.05.2005
- [14] Raskar, R.: Immersive Planar Display using Roughly Aligned Projectors, Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2000 Conference, S. 109 - 116, New Brunswick, 2000
- [15] GNU GPL: gPhoto2, <http://www.gphoto.org>, 2004, Zugriff am 30.04.2005
- [16] Intel Corporation: Open Source Computer Vision Library, <http://www.intel.com/research/mrl/research/opencv/>, 2004, Zugriff am 30.04.2005

Kontakt

Prof. Dr. Michael Waldowski, Hochschule Furtwangen, Robert-Gerwig Platz 1, 78120 Furtwangen, Tel.: 07723/920-2577 E-Mail: wa@hs-furtwangen.de

Andreas Pusch, GRAVIR-Laboratory Grenoble, E-Mail: andreas.pusch@inrialpes.fr

Hochschule Pforzheim zeichnet erneut herausragende Forschungsleistungen aus

Der Research Excellence Award der Hochschule Pforzheim wurde in diesem Jahr wieder in drei Kategorien verliehen. Der Preis in der Kategorie „Professor/-in“ wurde dabei erstmals doppelt vergeben. Die mit einem Preisgeld von jeweils 3.500,00 Euro verbundene Auszeichnung für langjährige, exzellente Forschungsleistungen ging an Frau Prof. Dr. Regina Moczadlo, Professorin für „Volkswirtschaftslehre mit dem Schwerpunkt Internationale Wirtschaftsbeziehungen“ sowie Herrn Prof. Dr. Friedemann Mohr, Professor für „Messtechnik und Optoelektronik“.

Den mit 1.500 Euro dotierten Preis in der Kategorie „Mitarbeiter/-in“ erhielt Dipl.-Ing. (FH) Andreas Schmoll. Ausgezeichnet wurde er insbesondere für seine Forschungsarbeiten im Rahmen eines BMW-Projekts unter Leitung von Professor Dr. Karlheinz Blankenbach, das sich mit Grundlagenuntersuchungen zur optimalen Bilddarstellung und Pixelansteuerung beschäftigte. Auf deren Basis konnte ein sehr leichtes, schnell auf- und abbaubares, vollelektronisches LED-Display entwickelt werden.

In der Kategorie „Studierende“ wurde M.Sc. Dipl.-Betriebsw. (FH) Gerd Schneider mit einem Preisgeld von 1.000 Euro für Forschungsleistungen im Rahmen seiner Masterarbeit im Bereich Information Systems ausgezeichnet. In seiner Arbeit entwickelte er eine Konzeption, die es einer speziellen Software-Agentenart nun gestattet, eine bisher für diese untypische, nutzerprofil-spezifische Anpassung zu realisieren und erprobte erfolgreich deren Umsetzung.

Weitere Informationen: Antje Geier M.A., IAF der Hochschule Pforzheim, Tel. 07231-28-6135; E-Mail: antje.geier@hs-pforzheim.de

<http://www.hs-pforzheim.de/iaf>