

Virtuelle Rekonstruktion verlorener Orte mit Methoden der Computer Vision

Sebastian Urbanek, Gudrun Görlitz, Matthias Möller

Berliner Hochschule für Technik, Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin

Abstract

Historische Orte sind eng mit der Geschichte verknüpft, die sich einst ebendort abspielte. Oftmals handelt es sich um Gebäude oder Plätze, die zum heutigen Zeitpunkt vollständig oder teilweise nicht mehr vorhanden sind. Materialermüdung, gewollte Zerstörung, Überbauung oder sich veränderte Umweltbedingungen trugen dazu bei, dass geschichtlich bedeutende Gebäude nicht mehr existieren. Immersive Technologien, wie Virtual Reality, haben das Potenzial, verlorene Orte wieder erlebbar zu machen. Das Ziel dieser Arbeit umfasst die Evaluation sowie deren Anwendung von Verfahren hinsichtlich der virtuellen Rekonstruktion. Darüber hinaus wird eruiert, welche Anpassungen und Weiterentwicklungen notwendig sind, um 3D-Modelle aus historischen Aufnahmen nachzubilden und in eine virtuelle Umgebung einzubetten.

1. Einleitung

Die Rekonstruktion von nicht mehr existierenden Orten, also verlorenen Orten, für den virtuellen Raum ist ein interdisziplinäres Feld. Es umfasst die Themengebiete der Computergrafik und Computer Vision, weil die Analyse und Interpretation von Bildern und Videos dazu genutzt werden kann, um Geometrien und weitere Farbinformationen aus Bildern oder Videos zu extrahieren. Des Weiteren spielen die Themengebiete Geodäsie und Geografie eine bedeutende Rolle, denn sie tragen dazu bei, die generierten 3D-Modelle an die realen Gegebenheiten anzupassen. So sollen schließlich Gebäude in Größe sowie Lage korrekt dargestellt werden. Zusätzlich gilt es, die erzeugten Modelle in einen geschichtlichen Kontext zu setzen, wodurch der historische Hintergrund gleichermaßen eine gewisse Bedeutung erlangt.

Die Arbeit fokussiert Gebäude, die nach der Bombardierung durch die Alliierten verloren gingen. Gerade die jüngsten Umfragen haben gezeigt, dass insbesondere Jugendliche und junge Erwachsene aus den Niederlanden, wenig bis keine Kenntnisse mehr der Schoa besitzen (Kühn, 2023). Um die Verbrechen der Nationalsozialisten nicht in Vergessenheit geraten zu lassen, hat der Künstler Gunter Demnig bereits 1992 eine Aktion ins Leben gerufen, bei der Stolpersteine an jüdische Leben erinnern sollen (Koordinierungsstelle Stolpersteine Berlin, o. J.). Dieses Forschungsvorhaben wird dazu beitragen, diese Orte in virtueller Form erneut aufleben zu lassen.

2. Rekonstruierte Gebäude in der virtuellen Realität

Immersive Technologien, zu denen die Virtual Reality (VR) oder auch die Augmented Reality (AR) zählt, ermöglichen dem Anwender eine maßstabs- und lagetreue Visualisierung von Objekten (Dörner et al., 2019, S. 247-249 & Cruz-Neira, 1993). In Ergänzung kann die Einbettung von interaktiven Elementen in die virtuelle Umgebung einen positiven Einfluss auf den Erkenntnisgewinn haben (Mortara et al., 2014). Bei diesen interaktiven Medien handelt es sich hauptsächlich um Film- oder Bildmaterial. Knoll & Stieglitz (2022) fassten bereits zusammen, dass der Gebrauch von VR und AR

umfassende Einsatzmöglichkeiten vorsieht. Die Visualisierung von komplexen Sachverhalten und die Modellierung von Objekten ist in den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen ebenso wie in den Geistes- und Sozialwissenschaften nach den Autoren ein zentrales Element der Wissensvermittlung.

Befindet sich der Anwender in einer virtuellen Umgebung, so muss eine solche VR-Applikation nicht nur die historischen Fakten präsentieren, sondern auch als real wahrgenommen werden. Slate und Wilbur (1997) beschreiben diesen Grad an Involviertheit als Präsenz. Für den Anwender soll der Eindruck entstehen, sich an diesem Ort zu befinden. Eine virtuelle Rekonstruktion erfordert daher, exakte 3D-Modelle dieser Orte zu gestalten und in eine interaktive VR-Umgebung zu implementieren. Neben der Rekonstruktion der Geometrien wird zusätzlich ein lagemäßig einheitlicher Bezug hergestellt. Dies ermöglicht die exakte Positionierung und Einhaltung von Größen und Relationen innerhalb der virtuellen Umgebung.

Die Herausforderung einer realitätsnahen Rekonstruktion liegt jedoch in dem mangelhaften Informationsgehalt über den jeweiligen Ort. Es sind nur wenige Anhaltspunkte vorhanden, die einer Rekonstruktion dienlich sind. Ruinenreste sind nicht zwangsläufig vorliegend und bei einer Überbauung gilt es zu differenzieren, welche Teile eines Gebäudes bereits bestanden beziehungsweise neu hinzukamen. Aus diesem Grund wird historisches Material hinzugezogen, wie z.B. Lagepläne oder Karten, Luftaufnahmen, Fotos, Filmaufnahmen, Zeugenberichte und Skizzen. Mit ihnen ist es möglich, 3D-Modelle zu rekonstruieren und in einer 3D-Umgebung (wie z.B. Blender) einzubetten, wie Kirschke & Wolff (2018) bereits demonstrierten. Des Weiteren zeigte Kersten et al. (2017) mit welchen Methoden sich ein noch existierendes Gebäude für VR-Applikationen vermessen und digital rekonstruieren lässt. Die Umsetzung selbst erfolgt hier mit der Unreal Engine. Dabei handelt es sich um eine Entwicklungsplattform für Videospiele, die zunehmend auch in der Architektur und für anderweitige Visualisierungen genutzt wird. Der Vorteil ist ein wahrnehmbarer Realismusgrad durch eine hochwertige Grafik und physikbasierte Simulation sowie ist ein Prototyping durch eine Verwendung von Blueprints (keine Programmierkenntnisse in C++ benötigt) schnell umsetzbar.

3. Computer Vision für 3D-Rekonstruktion

Durch die sich stets weiter entwickelnden Methoden, im Bereich Photogrammetrie und Computer Vision, ergeben sich neue Möglichkeiten der virtuellen Rekonstruktion mit maschineller Unterstützung. Insbesondere innerhalb der Architektur setzt die Computer Vision seit den 1980er Jahren einen starken Fokus (Szeliski, 2022, S. 833). Obwohl die moderne und digitale Fotografie Metadaten wie GPS-Koordinaten, Objektiv- und Lichtsensoreinstellung zu jedem Bild mitliefert, sind diese bei historischen Dokumenten nicht vorhanden. Eine vorläufige Analyse dieser Bilder und Ermittlung der Kameraparameter ist ein notwendiger Schritt für die technische Durchführung (Vietze et al., 2017). Die Aufnahmen sind nicht hoch aufgelöst, weil sie auch nur analog vorliegen. Des Weiteren sind sie verblasst, haben an Kontrast verloren, und besitzen eine starke Verrauschung. Dies sind Faktoren, die eine direkte Anwendung von CV-Verfahren erschweren. Eine digitale Bildrestaurierung und eventuell Farbrekonstruktion ist hier anzuwenden.

Erst im Anschluss ist eine (teil-)automatisierte Rekonstruktion durch Methoden der Computer Vision möglich. Hier spielen die Structure from Motion-Verfahren eine zentrale

Rolle, ebenso wie die Anwendung von Model-based Reconstruction-Algorithmen sowie Point-based und Surface-Repräsentationen (Szeliski, 2022, S. 835). Stets im Hinblick auf die Umsetzung von adäquaten und georeferenzierten 3D-Modellen für eine virtuelle Umgebung.

In den vergangenen Jahren hat sich der Einsatz von Deep Learning-basierten Ansätzen in der Computer Vision-Forschung etabliert. Dabei werden die prozeduralen Algorithmen teilweise mit Verfahren der künstlichen Intelligenz erweitert oder gar ersetzt. Beide Ansätze haben in spezifischen Gebieten ihre Vor- und Nachteile (Voulodimos et al., 2018). Besonders das 3D-Convolutional Neural Network (CNN) für die Rekonstruktion von dreidimensionalen Geometrien aus Punktwolken ist von Nutzen.

4. Ablauf und Vorhaben

Der generelle Ablauf sieht vor, dass für die Auswahl von geeigneten Gebäuden (als verlorener Ort) ausreichend historische Aufnahmen und Dokumente vorliegen müssen. **(1)** Dies erfordert eine Auswahl an Gebäuden mit einer gewissen Menge von Bilddokumenten, die das jeweilige Gebäude aus verschiedenen Perspektiven und möglichst vollständig abbilden. Dazu gehört auch ein Digitalisierungsschritt, weil das meiste Bildmaterial noch in analoger Form in den Archiven vorliegt. **(2)** Die Entwicklung einer Pipeline zur Verarbeitung der digitalisierten Bilder für die 3D-Rekonstruktion. Je nach Anwendung und Bildmaterial bedarf es einer oder mehrerer Vorstufen / Analysen, die das Bild für CV-Methoden vorbereiten. Wie beispielsweise eine Bildrestaurierung¹ oder eine Super-Resolution-Technik². **(3)** Das Georeferenzieren von 3D-Modellen erweitert die Modelle mit entsprechenden Lageparametern. **(4)** Das 3D-Modell muss daraufhin für die Integration in die Unreal Engine vorbereitet werden. Alle Informationen bzgl. Geometrie, Textur und Verortung müssen dann vorliegen. **(5)** Entwurf und Entwicklung einer virtuellen Umgebung als VR-Anwendung mithilfe der Unreal Engine. In diese Anwendung werden die 3D-Modelle importiert und weitere Medien sowie Funktionen zur Interaktion und Navigation kommen hinzu. **(6)** Iterativ werden Evaluationen mit Testnutzern durchgeführt, die einerseits die Anwendung und die historische Akkuratess bewerten sollen. Es bedarf hierfür Experten, die bereits technisches oder historisches Wissen mitbringen.

Am Ende soll eine VR-Anwendung entstehen, die ein historisch akkurates und zugleich realistisches Abbild eines Ortes darstellt, welcher nicht mehr existiert und auf Basis von historischen Bild- und Filmaufnahmen (semi-)automatisiert rekonstruiert wurde. Besonders die Kombination von verschiedenen Technologien und Verfahren der Computer Vision und Computergrafik wird dabei aus forschungsorientierter Sicht von Relevanz sein.

5. Diskussion

Der Fortschritte bei der Umsetzung von VR-Applikationen nimmt besonders im Bildungs- und Weiterbildungsbereich zu. Eine virtuelle Umgebung erlaubt dem Anwender unterschiedlichste Szenarien zu erleben oder auch nur einzelne Situationen zu proben. Das kann sich auf die Vermittlung von Wissen beziehen, die Durchführung von Reparaturen oder das Simulieren von Verkaufsgesprächen. Die virtuelle Rekonstruktion von verlorenen Orten trägt ebenfalls dazu bei, im Zuge dessen bietet sie

¹ *Deblurring, Rauschunterdrückung, etc.*

² *Ansatz für die Extrapolation von Bildern mit niedrigen Auflösungen in eine hohe Auflösung.*

jedoch Herausforderungen, welche neue Erkenntnisse zu Tage fördern werden.

Beginnend mit der Frage, welche Anforderungen das historische Bildmaterial erfüllen muss, damit die Verfahren der Computer Vision verwendbare Ergebnisse erzielen, die möglichst nah an die Realität reichen. Die Methoden der Computer Vision entwickeln sich stetig weiter und sind primär für aktuelle Aufnahmen und Bilder ausgelegt. Daher ist der Ansatz, diese Methoden mithilfe der Bildaufnahmen aus der Mitte des vergangenen Jahrhunderts anzuwenden, mit weiteren Hindernissen verbunden, die es zu überwinden gilt. Besonders, um Geometrien für eine Rekonstruktion aus ihnen abzuleiten. Weil diese Orte (teilweise) nicht mehr existieren, stellt die Verortung ebenso eine Problematik dar. Wie eingangs erwähnt, wird eine Anwendung entwickelt, die ein realitätsnahes Abbild der Vergangenheit visualisiert, weshalb Abstände, Größen und Relationen exakt sein müssen. Diese Anwendung soll dann von Anwendern über das Internet heruntergeladen und mit einem Head-Mounted-Display in VR erkundet werden können.

Quellen

Cruz-Neira, C. (1993). Virtual Reality Overview. SIGGRAPH '93 Course Notes.

Dong, C., Loy, C. C., He, K., & Tang, X. (2016). Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 38(2), 295–307. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2015.2439281>

Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., & Jung, B. (Hrsg.). (2019). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58861-1>

Kirschke, T., & Wolff, C. (2018). Virtuelle Rekonstruktion historischer Objekte am Beispiel einer Gedenkstätte des nationalsozialistischen Terrors. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 4/2018, 215–223. <https://doi.org/10.12902/zfv-0215-2018>

Knoll, M., & Stieglitz, S. (2022). Augmented Reality und Virtual Reality – Einsatz im Kontext von Arbeit, Forschung und Lehre. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 59(1), 6–22. <https://doi.org/10.1365/s40702-022-00840-5>

Koordinierungsstelle Stolpersteine Berlin. (o. J.). *Stolpersteine in Berlin*. Abgerufen 29. Januar 2023, von <https://www.stolpersteine-berlin.de/de>

Kühn, T. (2023, Januar 26). Holocaust – was ist das? *Jüdische Allgemeine*. <https://www.juedische-allgemeine.de/juedische-welt/holocaust-was-ist-das-2/>

Mortara, M., Catalano, C. E., Bellotti, F., Fiucci, G., Houry-Panchetti, M., & Petridis, P. (2014). Learning cultural heritage by serious games. *Journal of Cultural Heritage*, 15(3), 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.04.004>

Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>

Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep Learning for Computer Vision: A Brief Review. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2018/7068349>