Lichtfeldtechnik — Neue Möglichkeiten der Produktion

Siegfried Fößel
Fraunhofer IIS
siegfried.foessel@iis.fraunhofer.de

Zusammenfassung

Obwohl die Theorie der Lichtfeldtechnik bzw. der plenoptischen Kameras bereits hundert Jahre alt ist, wurden weitergehende praktische Implementierungen erst mit der zunehmenden Integration von Bildsensoren und den erweiterten Möglichkeiten der Datenverarbeitung realisiert. Vorreiter dazu waren die Arbeiten an der Universität Stanford. Grundprinzip der Lichtfeldtechnik ist dabei, nicht nur eine einzelne zweidimensionale Abbildung der Szene mit definiertem Blickwinkel und Tiefenschärfebereich zu erfassen, sondern das Lichtfeld, heißt die Richtung und Intensität der Lichtstrahlen im Raum, aufzunehmen und weiterzuverarbeiten.

Am Fraunhofer IIS werden dazu im Rahmen eines Forschungsprojektes verschiedene Implementierungen mit Mikrolinsenkameras und Kameraarrays getestet. Dabei stehen langfristig vor allem die erweiterten Möglichkeiten in der Postproduktion im Vordergrund, wie die Erfassung der Szene als 3D-Raum, die Verlagerung des Tiefenschärfebereichs, die Bestimmung von Tiefenkarten oder die Generierung von unterschiedlichen Ansichten aus einer Aufnahme.

Im Rahmen des Vortrages soll über den Stand der Arbeiten berichtet werden, Demonstrationen der Möglichkeiten in der Postproduktion aufgezeigt werden, und Beispielkameras live vorgeführt werden.

1 Einleitung

Das Licht im Raum ist ähnlich wie ein elektromagnetisches Feld durch seine Intensität und Richtung definiert. Objekte können Licht emittieren oder in unterschiedlicher Art und Weise reflektieren, so dass je nach Position und Blickrichtung im Raum unterschiedliche Lichtstrahlen empfangen werden können.

Eine herkömmliche Kamera fokussiert diese Lichtstrahlen an einer bestimmten Position und aus einer bestimmten Blickrichtung und bildet diese auf einen zweidimensionalen Körper (Film oder Sensor) ab. Die Richtungsinformation und Intensität der Einzelstrahlen $L(x,y,z,\Theta,\Phi)$ geht dabei verloren, da mehrere Lichtstrahlen integriert werden.

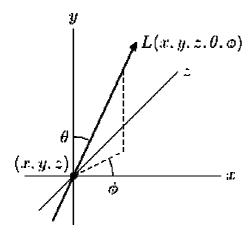


Abb. 1 Allgemeine Beschreibung des Lichtfeldes $L(x,y,z,\Theta,\Phi)$ (Wikipedia, o.J.)

Die Art der Integration wird durch die Brennweite des Objektivs, die Einstellung der Blende und des Fokus festgelegt. Gelänge es alle Informationen des Lichtfeldes (s. Abb. 1), also auch der Einzelstrahlen, an jedem Punktim Raum zu erfassen, könnten analytisch auch weitergehende Informationen wie die Entfernung von Objekten ermittelt werden. Ebenso könnten andere Abbildungseigenschaften wie Schärfeverlagerungen bis hin zur Rekonstruktion des gesamten Lichtfeldes durchgeführt werden. Eine 3D-Modellierung der realen Welt wäre möglich.

Erste theoretische Untersuchungen zur gerichteten Ausbreitung von Strahlung, auch von Licht, wurden 1846 von Faraday durchgeführt (Faraday, 1846). Im Jahr 1908 beschrieb der französische Wissenschaftler Gabriel Lippman (Lippmann, 1908), wie man einen Gegenstand "ganzheitlich" abbilden könnte und legte damit den Grundstein für die Lichtfeld-Fotografie. Der Begriff "Light Field" wurde 1936 von Gershun geprägt (Gershun, 1936). Im Bereich der Computergraphik ist das Lichtfeld seit 1996 im Einsatz. Levoy und Hanrahan (Levoy, 1996) zeigten Beispiele für die grundlegenden Konzepte zur Aufnahme, die Kompression von Lichtfeldern sowie die Errechnung von neuen Ansichten.

Eine Möglichkeit, um Lichtfelder zumindest teilweise erfassen bzw. rekonstruieren zu können, besteht in der Aufnahme von mehreren Ansichten, entweder aus unterschiedlichen Kameras oder aus einer Kamera mit Mikrolinsenarray.

2 Methode

Die folgenden Ergebnisse wurden im Rahmen eines Fraunhofer-internen Forschungsprojektes erzielt. Ziel war eine Kamera zur Aufnahme eines Lichtfeldes mithilfe eines Mikrolinsenarrays zu realisieren. Dabei arbeiteten das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen und das Fraunhofer Institut für Optik und Feinmechanik IOF in Jena zusammen. Das Fraunhofer IIS war für den Kameraaufbau und die Auswertung der Daten zuständig, das Fraunhofer IOF für das Design und die Montage des Mikrolinsenarrays.

2.1 Design des Mikrolinsenarrays

Ein Mikrolinsenarray (MLA) mit geeigneter Optik vor dem Sensor ist in der Lage einzelne Lichtstrahlen aus einer Richtung in unterschiedliche Bereiche aufzuspalten. Dazu wird eine Zwischenbildebene (ZBE) durch das Mikrolinsenarray auf den Sensor abgebildet. Auf dem Sensor, d.h. der Bildebene (BE) entstehen so Bilder mit geringfügig unterschiedlicher Perspektive. Die Bilder weisen damit sowohl unterschiedlich geringfügige Blickwinkel als auch unterschiedliche Schärfebereiche auf. Eine Verrechnung dieser Bilder erlaubt damit auch eine spätere Schärfeverlagerung und eine Variation des Blickwinkels in den Grenzen der vorhandenen Basisbreite zwischen den Bildern. Eine Rückrechnung des Lichtfeldes wird möglich. Über typische Triangulationsberechnungen ist auch eine Entfernungsschätzung von Objekten möglich.

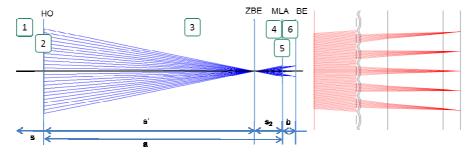


Abb. 2 Erfassung von Lichtstrahlen mithilfe eines Mikrolinsenarrays (Fraunhofer IOF, 2012)

Die von uns verwendete Optik besaß eine Multiplizität von fünf. D.h. ein Objekt wurde im Mittel fünf mal auf den Sensor abgebildet. Dies erlaubt auf der einen Seite hinreichend Variabilität in der Auswertung, auf der anderen Seite wird ein zu hoher Auflösungsverlust vermieden.

2.2 Testaufbau

Das Mikrolinsenarray wurde nach dem Design und der Fertigung pixelgenau vor dem Sensor montiert (s. Abb. 3). Das Mikrolinsenarray wurde auf dem Sensor-Abdeckglas befestigt, um einen definierten Abstand zum Sensor zu realisieren.

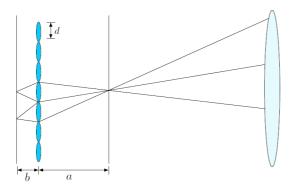


Abb. 3 Schematischer Aufbau nach Georgiev (Georgiev, 2010)

Um genügend Freiheitsgrade zu besitzen, wurde zunächst ein offener Aufbau gewählt (s. Abb. 4). Dies ermöglichte im ersten Schritt Fokus, Blende und Abbildungsabstand zu variieren. In der späteren Kamera ist dies für eine Messung fest eingestellt.

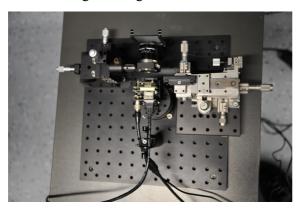


Abb. 4 Testaufbau mit Mikrolinsenarray

2.3 Kamera und System

Für die Kamera wurde eine Standard Industriekamera mit 5 Megapixeln und Gigabit-Ethernet Interface gewählt. Dies ermöglichte eine Fokussierung der Arbeiten auf die Algorithmik der Lichtfeldtechnik. Durch die Verwendung der Standardkamera konnte für die Aufnahme der Rohdaten Standardzubehör verwendet werden.

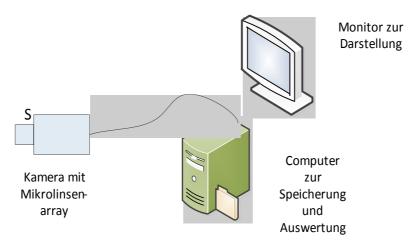


Abb. 5 Systemkomponenten

Abbildung 6 zeigt die Industriekamera mit montiertem Mikrolinsenarray.

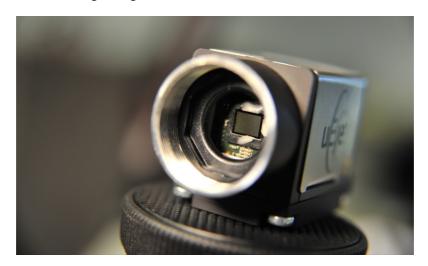


Abb. 6 Komplettkamera

3 Ergebnisse

Eines der wichtigen Ziele war die mögliche Refokussierung von Bildern in der Postproduktion. In ersten Tests wurden Aufnahmen mit einer handelsüblichen Spiegelreflexkamera an unterschiedlichen Raumpositionen durchgeführt. Dies ermöglichte eine erste Algorithmusentwicklung. Vorteil war hier die gleiche optische Abbildung in allen Aufnahmen. Abbildung 7 zeigt die Variation der Tiefenschärfe vom Vordergrund in den Hintergrund.

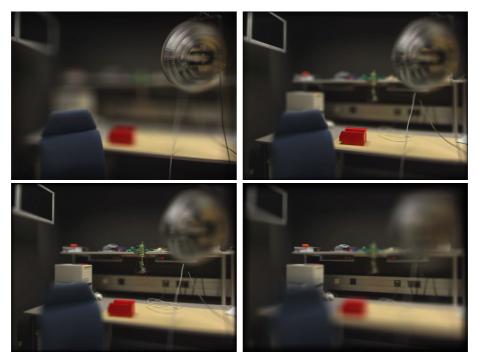


Abb. 7 Refokussierung von Szenen

Mit der Mikrolinsenkamera wurden anschließend auch Aufnahmen bei bewegten Objekten möglich. Allerdings zeigte sich, dass deutlich mehr Aufwand in die Kalibrierung der Bilder gesetzt werden muss. Abbildung 8 zeigt das Rohbild einer Mikrolinsenkamera. Zu erkennen ist auch die mehrfache Abbildung von Objekten auf den Sensor.

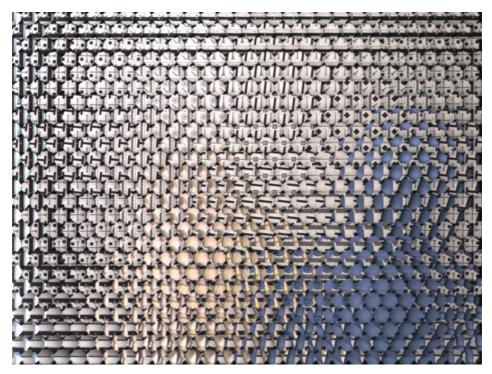


Abb. 8 Rohbild der Mikrolinsenkamera

Insbesondere die Verzerrungen und Inhomogenitäten der Mikrolinsen führten in der Rekonstruktion von bestimmten Schärfebereichen zu deutlich sichtbaren Artefakten.





Abb. 9 Rekonstruktion von Bildern aus der Mikrolinsenkamera

4 Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass bei der Rekonstruktion der Bilder aus der Mikrolinsenkamera noch erheblicher Aufwand in die Kalibrierung und Rektifizierung gesetzt werden muss. Dies war bei Aufnahmen aus einer Standardkamera mit derselben Optik nicht notwendig. Mit der Mikrolinsenkamera existiert nun allerdings ein sehr kompaktes System, um Aufnahmen mit einer realen Kamera aufzunehmen und die Algorithmik zu optimieren.

Weitere Schritte sind die Verbesserung der Kalibrierung, die Optimierung des Mikrolinsenarrays und dessen Montage, sowie die Erweiterung der Auswertung auf die Analyse der 3D-Szene.

In einem weiteren Test konnte mit der Spiegelreflexkamera (Simulation eines Kameraarrrays) bereits eine erste Tiefenkarte ermittelt werden. Weitere Optimierungen werden folgen.



Abb. 10 Rekonstruktion einer Tiefenkarte aus Aufnahmen einer Standardkamera

Literaturverzeichnis

- Faraday, M (1846). Thoughts on Ray Vibrations, in: *Philosophical Magazine*, Vol. XXVIII, N. 188 (May 1846), S. 3
- Fraunhofer IOF (2012). Internes Dokument zur Auswahl von Systemkomponenten für das Projekt ELME
- Georgiev, Todor; Lumsdaine, Andrew (2010), Focused Plenoptic Camera and Rendering, Adobe
- Gershun, A. (1936). The Light Field, Moscow, 1936. Translated by P. Moon and G. Timoshenko in: *Journal of Mathematics and Physics*, Vol. XVIII (1939), S. 51–151
- Levoy, M., Hanrahan, P. (1996). Light Field Rendering, in: *Proc. ACM SIGGRAPH*, ACM Press, S. 31–42
- Lippman, G. (1908). La Photographie Intégrale, in : *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences* 146, S. 446–551
- Wikipedia (o.J.), Stichwort "Lichtfeld". http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtfeld