

Hauptfach-Praktikum

Holographische Projektion

WS 13/14

Betreuung: Malte Hasler

Einleitung

Beim Stand der Technik wird die Projektion von Information durch konventionelle Abbildungen durchgeführt. Beispielhafte Anwendungen sind Video- und Diaprojektoren, Rückprojektionsfernseher oder auch Head-up Displays. Diese abbildungsbasierte Projektion (Abb. 1a) ist gut eingeführt, liefert eine sehr hohe Qualität und lässt sich vergleichsweise einfach realisieren.

Dennoch wird seit langem untersucht, ob eine Abkehr von der traditionellen Abbildung hin zu holografischen Techniken (Abb. 1b) nicht Vorteile bringt. Für die Darstellung statischer Information sind Hologramme seit langem bekannt. Gegenüber der Abbildung können vor allem dreidimensionale Darstellungen erzielt werden. Größter Nachteil dieser Technik ist die extrem hohe Auflösung, die erforderlich ist. Für ein 30 x 30 cm großes Hologramm kommt man hier bereits in Größenordnungen von mehreren Milliarden Pixel.

Eine Berechnung und Darstellung in Echtzeit ist daher beim Stand der Technik in dieser Qualität nicht realisierbar. Eine Reduktion der Auflösung führt letztlich zu einer deutlich verminderten Bildqualität dreidimensionaler Rekonstruktionen.

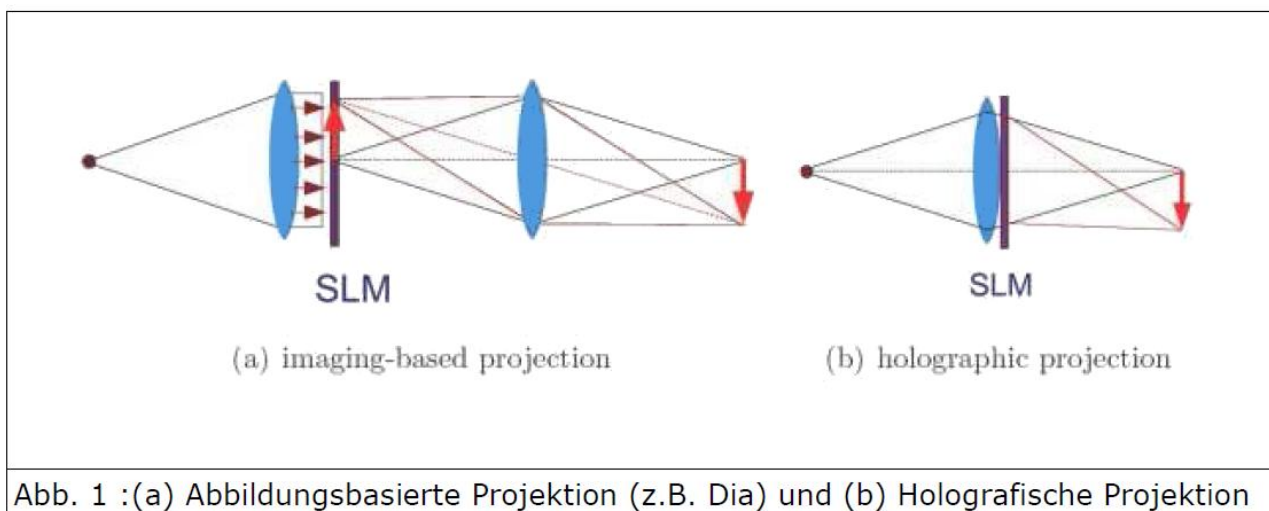


Abb. 1 : (a) Abbildungsbasierte Projektion (z.B. Dia) und (b) Holografische Projektion

Nichtsdestotrotz werden holografische Projektionen in jüngster Vergangenheit wieder vermehrt untersucht. Für die Realisierung zweidimensionaler

Rekonstruktionen können sie gegenüber konventioneller Abbildung folgende Vorteile bieten:

- erhöhte Effizienz (Lichtausnutzung), insbesondere wenn Bilder mit viel Hintergrund dargestellt werden sollen
- Möglichkeit der Aberrationskorrektur (dadurch Verringerung der Kosten der Projektionsoptik oder Projektion auf gekrümmte Flächen)
- Möglichkeit der lokalen Auflösungsverbesserung
- Einfache 3D Effekte (wenige 2D Ebenen im Raum)

Nachteile der Technik sind:

- Verfahren zur Specklereduktion müssen implementiert werden (zeitliche oder räumliche Reduktion der Informationsdarstellung)
- Beleuchtungsquelle muss kohärent sein (teuer und Laserschutz !)
- Hologrammberechnung ist zeitaufwändig (daher unter Umständen erhöhter Energiebedarf)

Im Rahmen dieses Praktikumversuchs sollen Sie ein einfaches holografisches Projektionssystem mit einfachen Hologrammen realisieren. Diese Hologramme werden mit Hilfe von Lichtmodulatoren dargestellt. Dazu wird mit Fourierhologrammen gearbeitet.

Räumliche Lichtmodulatoren

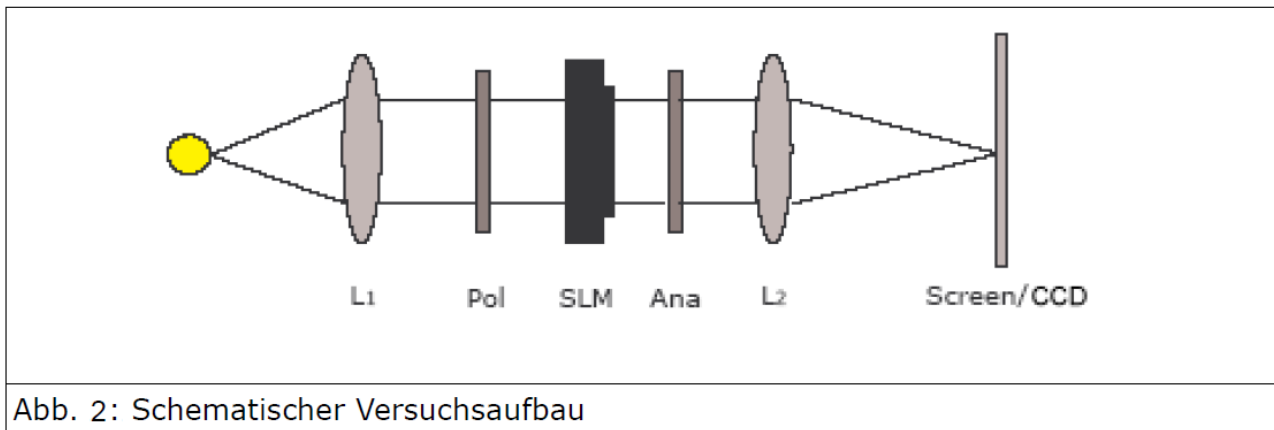
Unter räumlichen Lichtmodulatoren (engl. spatial light modulator, SLM) werden an dieser Stelle Elemente verstanden, die räumlich und zeitlich aufgelöst die Intensität, Phase oder Polarisation einer Lichtwelle gezielt beeinflussen. Es sind verschiedene Prinzipien der räumlichen Lichtmodulation (z.B. Membranspiegel, magnetooptische Modulatoren , Mikrospiegelarrays, Liquid Crystal Displays) bekannt. Für holografische Anwendungen sind insbesondere hochauflösende Modulatoren von Interesse.

Eine Klassifikation entsprechender Modulatoren kann anhand verschiedener Kriterien erfolgen. Wesentliche Parameter sind hierbei Pixelierung, Füllfaktor, Ansteuerung (optisch oder elektronisch adressiert), Auflösung oder auch die Modulationsart (Amplituden-, Phasenmodulatoren).

Unter den verfügbaren Modulatoren sind Flüssigkristall-Modulatoren (engl. liquid crystal displays, LCDs) besonders für die Holografie geeignet, da sie (für einen Massenmarkt entwickelt) erstens verhältnismäßig preisgünstig sind, zweitens eine hohe Auflösung besitzen und drittens als Phasenmodulatoren verfügbar sind.

Aufbau und Justage

Da eine schmalbandige Lichtquelle benötigt wird, wird ein Laser eingesetzt. Dieser wird aufgeweitet und kollimiert (mit L1) und beleuchtet das SLM. Zur Rekonstruktion des in das SLM eingeschriebenen Hologramms wird eine zweite



Linse verwendet. Die Rekonstruktion (Fouriertransformation) befindet sich in der hinteren Brennebene der Linse (L2). In dieser Ebene wird – je nach Versuchsanordnung eine Kamera (CCD) oder ein Bildschirm angebracht. Vor und nach dem SLM befindet sich jeweils ein Polarisator um aus der Polarisationsmodulation des SLM eine Amplituden- bzw. Phasenmodulation zu generieren. Die Versuchsanordnung ist in Abb. 2 dargestellt. Die richtige Einstellung der Polarisatoren wird in Versuch 1 (Display-Charakterisierung) ermittelt.

Raumfrequenzfilter

Mit Raumfiltern lassen sich Störungen im Intensitätsprofil eines Laserstrahls beseitigen. Die Auflösung wird dadurch erheblich verbessert, was besonders bei Anwendungen in der Holographie und in der optischen Datenverarbeitung von Bedeutung ist.

Strahlverformungen entstehen durch optische Fehler oder Luftpartikel. Projiziert man einen aufgeweiteten Laserstrahl auf einen weißen Karton, wird dieser Effekt sichtbar. Die Wirbel, Löcher und Ringe, die das ideale Muster überlagern, werden räumliches Rauschen genannt.

Das Funktionsprinzip von Raumfiltern ist einfach: Ein ideal kohärenter, kollimierter Laserstrahl verhält sich wie ein Strahl, der durch eine unendlich weit entfernte Punktquelle erzeugt wird. Beim räumlichen Filtern wird der Laserstrahl fokussiert und ein Bild der "Quelle" mit allen Störungen im optischen Strahlweg erzeugt. Die Störungen werden in einen Ring um die optische Achse "abgebildet". Eine Lochblende hält das meiste Rauschen zurück.

Das ideale Gaußprofil $I(r)$ eines Laserstrahls wird von störenden Intensitätsvariationen δI überlagert, die durch Lichtstreuung entstehen. δI ändert sich stark über eine durchschnittliche Entfernung d_n , die viel kleiner ist als der Strahlradius a . d_n ist auch als die durchschnittliche räumliche Wellenlänge des Laserstrahlrauschens bekannt.

Wird ein gaußförmiger Strahl durch eine positive Linse mit einer Brennweite F

fokussiert, ist das Bild in der Brennebene (das optische Leistungsspektrum = OPS) eine inverse "Abbildung" der räumlichen Wellenlängen des Strahls. Kurze Wellenlängen (d_n) erscheinen als konzentrischer Ring mit dem Radius $F\lambda/d_n$, der um die optische Achse zentriert ist. Die große räumliche Wellenlänge eines idealen Gauß-Profiles wird direkt auf der optischen Achse abgebildet.

Eine achsenzentrierte Lochblende kann die unerwünschten "Rauschringe" ausblenden. Dabei wird nur ein geringer Teil der Laserleistung abgeblockt. Der Leistungsanteil, der durch eine Lochblende mit dem Durchmesser D tritt, errechnet sich wie folgt:



und die kleinste räumliche Wellenlänge, die durch die Lochblende tritt, beträgt

Newport empfiehlt eine Lochblende mit dem Durchmesser D_{opt} :



Damit werden 99,3% der Gesamtleistung transmittiert und räumliche Wellenlängen unter $2a$, dem Durchmesser des Ausgangsstrahls, werden ausgeblendet. Da d_n viel kleiner ist als der Strahldurchmesser, kommt der gefilterte Strahl dem idealen Strahlprofil sehr nahe.

Justage

Zuerst wird die Einheit gegen eine Lichtquelle gehalten und grob justiert. Dabei verändert man die transversale Position, bis ein Lichtfleck zu sehen ist. Dieser Lichtfleck wird nun zentriert, und mit dem gerändelten Einstellring erfolgt die Fokussierung entlang der optischen Achse. Auf diese Weise stellt man sicher, dass das Laserlicht bereits durch die Lochblende tritt, wenn man das Raumfilter in den optischen Aufbau integriert. Danach wird der Laserstrahl mittig in Bezug auf die eingebaute Irisblende justiert. Normalerweise ist dann nur noch eine geringfügige Verschiebung der Blende und Verkipfung des gesamten Systems erforderlich, um die optimale Einstellung zu erreichen.

Objektivlinse	Empfohlener max. Eintritts- Strahldurchmesser (mm)	Rechnerischer Lochblenden- Durchmesser* (μm)	Empfohlener Lochblenden- Durchmesser (μm)	Empfohlene Lochblende
M-5X und MV-5X	5,0	32,2	50	910PH-50
M-10X und MV-10X	5,5	20,9	25	910PH-25
M-20X und MV-20X	5,0	11,4	15	910PH-15
M-40X und MV-40X	4,0	5,7	10	910PH-10
M-60X und MV-60X	3,5	3,7	5	910PH-5

Ist der Raumfrequenzfilter justiert wird die Kollimationslinse in den Linsenhalter eingesetzt. Die Linse wird so lange verschoben bis in dem Display des X-Cube auf beiden Hälften die gleiche Anzahl von Streifen erscheint.

Displaycharakterisierung

Polarisationsverdrehung mit Grauwerten und Polarisatoren messen

Ziel:

Verwendung des Modulators als Projektionseinheit: Erkennung der Wirkungsweise als Phasenmodulator, Erzeugung der Amplitudenmodulation durch Drehung der Polarisationssebene des Lichtes als Funktion der angelegten Spannung, Ermittlung von Parametern wie Pixelgröße, Lage der Molekülachse und maximale Phasenänderung.

Aufbau:

Beleuchtungsstrahlengang: Der aufgeweitete Laserstrahl sollte das Display vollständig ausleuchten.

Vor und hinter das Display wird je ein Polarisator (Polarisator und Analysator) gestellt, deren Polarisationsrichtung um 90° zu einander verdreht sind. Mit dem Computer wird ein Vollbild auf dem Bildschirm erzeugt, welches auf das Display adressiert wird.

Für die Untersuchung der Kenngrößen werden homogene Vollbilder verschiedener Helligkeit (Graustufen) verwendet. Für den Projektoraufbau wird ein strukturiertes Bild, vorzugsweise ein Testbild, benutzt.

Abbildender Strahlengang: Hinter das Display wird nun die Objektivlinse gestellt und so ausgerichtet, daß auf dem Projektionsschirm ein scharfes Bild erscheint.

Aufgaben:

- Bauen Sie die Projektoranordnung mit beleuchtendem und abbildendem Strahlengang auf. Hilfreich ist hier zuerst ein klassisches Dia, das später durch die Anordnung „Polarisator, LCD und Analysator“ ersetzt wird.
- Die Projektoranordnung mit dem LCD ist aufzubauen und der Kontrast zu optimieren. Dazu ist auf dem Computer und Display ein Bild darzustellen und auf dem Bildschirm abzubilden. Die senkrecht zueinander stehenden Polfilter sind gemeinsam in geeigneten Winkelschritten (ca. 10°) zu verdrehen und die Kontraständerung ist quantitativ zu messen.
- Was beobachtet man, wenn man einen bzw. beide Polarisatoren entfernt?
- Was beobachtet man bei einer Einstellung mit optimalem Kontrast, wenn man die Stellung eines Polfilters um 45° , 90° und 180° dreht?
- Diskutieren Sie zusammenfassend die Funktionsweise des Lichtmodulators als ein polarisationsänderndes Element. Wie wirkt der Modulator auf die Amplitude oder Phase des Lichtes? Wie kommt es zu einer Amplitudenmodulation des Lichtes? (Protokoll)

Binär Gitter

Ziel:

Verwendung des Modulators zur Erzeugung verschiedener elementarer Beugungsstrukturen, die auf Phasenmodulation des Lichtes basieren. Anschaulicher Vergleich der direkten Änderung der Beugungsstruktur. Vergleich des Beugungsverhaltens komplementärer Strukturen. Vermessen des Verlaufs der Beugungseffizienz ausgewählter Strukturen. Überlagerung einfacher Beugungsmuster als Grundlage für diffraktive optische Elemente.

Aufbau:

Mit dem aufgeweiteten parallelen Laserstrahl wird der Lichtmodulator so weit wie möglich homogen ausgeleuchtet. Hinter den Modulator wird die langbrennweitige (Fourier-)Linse gestellt. Durch verschieben der Linse wird auf dem Bildschirm der Strahl fokussiert. Anschließend wird der Bildschirm durch die Kamera ersetzt. Nun wird die Linse noch fein justiert bis der Spot auf dem Kamerabild so klein wie möglich ist.

Aufgaben:

- Generiere 3 Gitter mit unterschiedlichen Gitterkonstanten aus schwarz-weißen Streifen. Nutzt die Zoom-Funktion in der Software.
- Invertiere das Gitter.
- Generiere 3 unterschiedliche Einfachspalte (geringe Spaltbreite!)
- Generiere 3 unterschiedliche Doppelspalte
- Generiere 3 Kreise und die entsprechenden invertierten Strukturen
- Generiere 1 Kreuzgitter und die invertierte Struktur
- Was ist zu erwarten wenn man verschiedene Beugungsstrukturen kombiniert?
- Verschiebe die Gitterstrukturen und beschreibe was passiert
- Interpretiere alle Beugungsbilder
- Berechne die Pixelgröße anhand des Beugungsbild unter Berücksichtigung der Linse.
- Diskutiere Ergebnisse der invertierten Strukturen

Holographie

Ziel:

Darstellen von diffraktiven optischen Elementen mit dem Lichtmodulator, Erzeugung des realen Bildes im Fernfeld, Über- und nebeneinanderlagerung verschiedener diffraktiver optischer Elemente, Kontrast und Speckle.

Aufbau:

Es ist der Selbe wie im Kapitel davor zu verwenden.

Aufgaben:

- Zeichne einen kleinen weißen Punkt (1 Pixel) auf einen schwarzen Hintergrund (200x200 Pixel) und wandle es mit der Software in ein Hologramm um. Schreibe dieses Hologramm in das Display ein.
- Zeichne zwei kleine weiße Punkte (1 Pixel) nebeneinander auf einen schwarzen Hintergrund (200x200 Pixel) und wandle es mit der Software in ein Hologramm um. Schreibe dieses Hologramm in das Display ein.
- Zeichne mehrere kleine weiße Punkte (1 Pixel) nebeneinander auf einen schwarzen Hintergrund (200x200 Pixel) und wandle es mit der Software in ein Hologramm um. Schreibe dieses Hologramm in das Display ein.
- Zeichne einen großen Punkt (10-20 Pixel) auf einen schwarzen Hintergrund (200x200 Pixel) und wandle es mit der Software in ein Hologramm um. Schreibe dieses Hologramm in das Display ein.
- Zeichne einen Kreisring/Donut (1-5 Pixel Ringbreite) auf einen schwarzen Hintergrund (200x200 Pixel) und wandle es mit der Software in ein Hologramm um. Schreibe dieses Hologramm in das Display ein.
- Was kann man erwarten wenn man verschiedene Bereiche des Ursprungsbildes mit unterschiedlichen Mustern kennzeichnet?
- Verwende das vorgegebene Hologramm. Was erscheint auf dem Bildschirm?
- Diskutiere alle rekonstruierten Hologramme.