

Kostengünstige Realisierung von Computer-generierten Hologrammen für den Lehrbetrieb auf der Basis von kommerziellem Offsetfilm

Wolfgang Hanke, Matthias Gruber

Juniorprofessur für Optische Mikrosysteme, FernUniversität in Hagen

<mailto:Matthias.Gruber@fernuni-hagen.de>

Untersucht wir die kostengünstige Realisierung spatial niederfrequenter computergenerierter Hologramme (CGH) auf kommerziellem Offsetfilm. Die resultierenden binären Amplituden-CGHs sind von überraschend hoher Qualität und eignen sich gut für den Lehrbetrieb wie an drei Beispielen demonstriert wird.

1 Motivation

Das Thema computergenerierte Hologramme gehört heutzutage zum Standardcurriculum bei der Ausbildung von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren im Bereich Optik. Eine Vertiefung der einschlägigen Theorie durch entsprechende Praktikumsversuche ist dabei sehr sinnvoll. Klassische Herstellungsmethoden mittels Plotter und fotografischer Reduktion auf Hologrammplatten oder -filme werden leider immer weniger anwendbar, weil es aufgrund eines fehlenden Marktes kaum noch ein geeignetes Angebot an fotografischen Materialien gibt. Moderne Mikrostrukturierungsverfahren auf lithographischer Basis sind andererseits technologisch relativ aufwändig und verbieten sich meist aus Kostengründen für den Lehrbetrieb. Es besteht daher Interesse an alternativen Herstellungsverfahren.

2 Kommerzieller Offsetfilm

Untersucht wird hier ein kostengünstiger Ansatz unter Nutzung der modernen kommerziellen Buchdrucktechnologie. Weit verbreitet ist in diesem Bereich das Offsetverfahren, bei dem als Zwischenschritt Druckvorlagen auf transparentem Filmmaterial erstellt werden. Als Trägermaterial dient typischerweise ca. 0,1 mm dünne Polyesterfolie, die in allen gängigen Formaten verfügbar ist. Die Belichtung der Folien erfolgt im Binärmodus in sog. Filmbelichtern mit einer für den Printbereich sehr hohen Auflösung; Standard sind 3000 dpi, es gibt

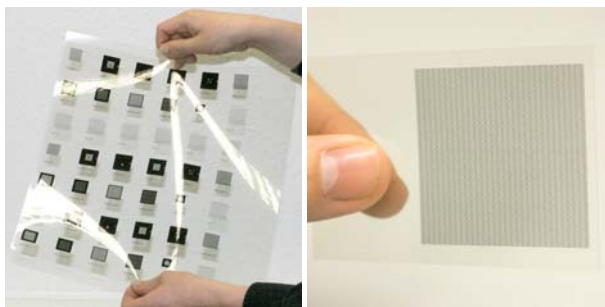


Abb. 1 : Offsetfilmbogen mit binären Amplituden-CGHs.

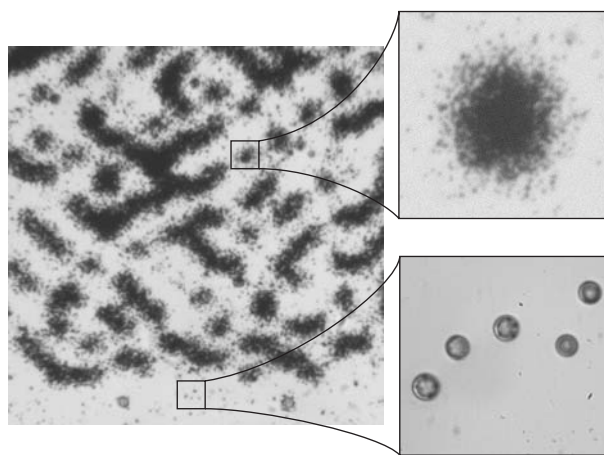


Abb. 2 : Mikroskopische Aufnahmen von belichtetem Offsetfilm; die Ausschnitte zeigen ein einzelnes „schwarzes“ Pixel und die beim Belichtungsprozess entstehenden kleinen Bläschen in der Polyesterfolie.

aber auch Maschinen mit noch deutlich höherer Auflösung. In Druckereien mit entsprechender Ausstattung kann man relativ kostengünstig (ca. 50€ pro belichteter A4-Folie) von beliebigen binären Bilddaten solche Offset-Druckvorlagen erstellen lassen.

Insbesondere kommt man auf diese Weise auch zu einfachen amplitudenmodulierten CGHs, die sich direkt für optische Experimente verwenden lassen. Abb.1 zeigt eine Folie mit 42 verschiedenen CGHs (Stückpreis also ca. 1€) und ein einzelnes ausgeschnittenes Hologramm. Unter dem Mikroskop (Abb.2) erkennt man die binäre Struktur des belichteten Films mit leicht ausgefransten „schwarzen“ Pixeln, was die optische Funktionalität jedoch kaum beeinträchtigt. Als ebenso wenig störend erweisen sich viele ca. 4µm große, im Film eingeschlossene Bläschen. Die Auflösung von 3000 dpi, welche ca. 60 Lp/mm entspricht, ist zwar gering im Vergleich zu holografischem Film, zur Demonstration einfacher CGHs und anderer optischer Spezialkomponenten in der Lehre ist sie jedoch völlig ausreichend wie nachfolgend an drei Beispielen gezeigt wird.

3 IFTA-generierte Fourier-Hologramme

Im ersten Beispiel geht es um die Realisierung von Fourier-CGHs mit frei wählbaren Beugungseigenschaften. Als Entwurfswerkzeug für solche Aufgabenstellungen eignen sich sehr gut iterative Fourier-Transformationsalgorithmen (IFTA); mit ihnen kann man sich fast immer asymptotisch einer akzeptablen Lösung annähern. Als Ergebnis liefert IFTA eine Periode eines Beugungsgitters mit dem gewünschten Beugungsbild im Fernfeld. Beim CGH von Abb. 3 sollten die Logos der FernUniversität und der Juniorprofessur Optische Mikrosysteme (OMS) erscheinen, was auch nahezu perfekt der Fall ist. Die Beobachtung erfolgte dabei mit einer auf ein Pinhole fokussierten Digitalkamera, vor deren Objektiv das CGH gehalten wurde.

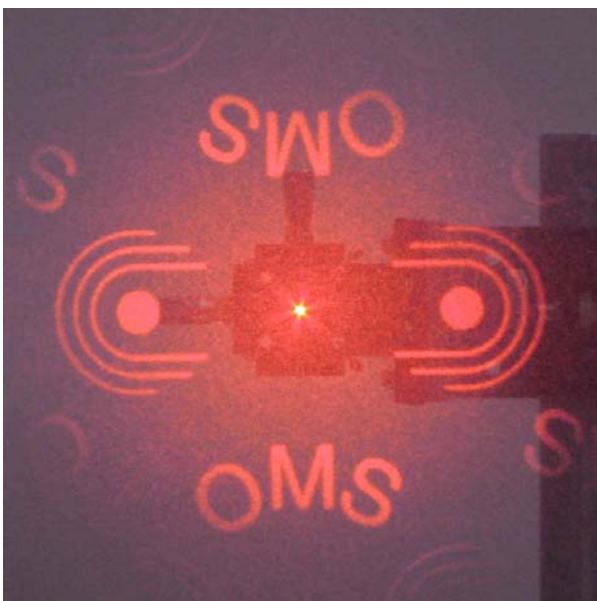


Abb. 3: Beugungsbild eines mit IFTA berechneten periodischen CGH bei Beleuchtung mit einem HeNe-Laser.

4 Fresnel-Hologramm Zonenplatte

Im zweiten Beispiel geht es um die experimentelle Realisierung und Erprobung spezieller CGHs vom Fresnel-Typ, nämlich von Fresnel'schen Zonenplatten (FZP), welche bekanntlich als diffraktive Linsen fungieren. Wegen der begrenzten Auflösung des Offsetfilms ist man dabei zwar auf große Blendenzahlen (Faustregel $k > 16$) bzw. längere Brennweiten f beschränkt, für viele Anwendungen ist dies aber völlig unproblematisch. Ein größeres f ist sogar günstig, wenn man die Existenz mehrerer Foki bei diffraktiven Linsen praktisch demonstrieren will, weil diese dann makroskopische Abstände voneinander haben und experimentell bequem mit einem in den Strahlengang gehaltenen und von Hand bewegten Stück Papier gefunden werden können. Dies ist in Abb. 4 dokumentiert; dargestellt sind die ersten drei reellen Foki und ein Ausschnitt der FZP. Bei dieser wurde ein größerer Bereich im Zentrum opak belassen, um im Experi-

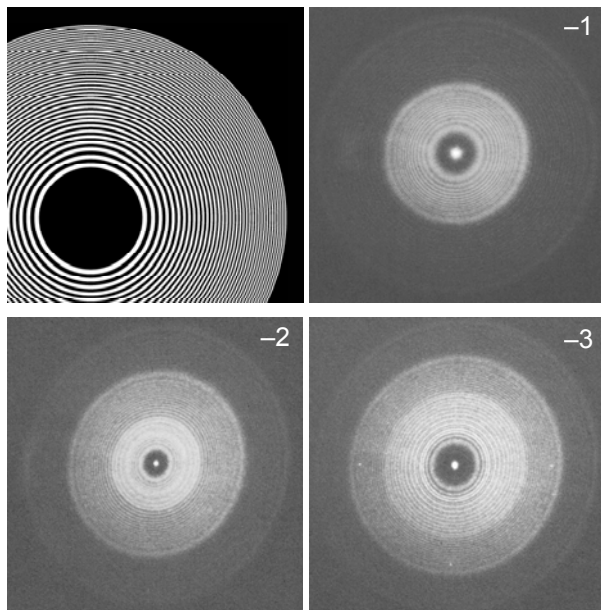


Abb. 4: Ausschnitt der verwendeten FZP und die damit generierten Foki der Beugungsordnungen -1 bis -3 .

ment auch schwächere Foki höherer Beugungsordnungen gut identifizieren zu können.

5 Spatiale Filterung im 4-f-Aufbau

Das dritte Beispiel behandelt schließlich spatiales Filtern mit Hilfe eines optischen 4-f-Aufbaus; im Falle kohärenter Beleuchtung hat man hier bekanntlich direkten Zugriff auf die Fourier-Domäne. In Abb. 5 dient der dargestellte Fußball als zu filterndes Objekt; durch das Sampling ist dessen Spektrum periodisch wiederholt. Ohne Filter werden alle Strukturen (fast) perfekt abgebildet, während durch geeignete Tiefpassfilterung das Sampling-Gitter im Bild unterdrückt werden kann.

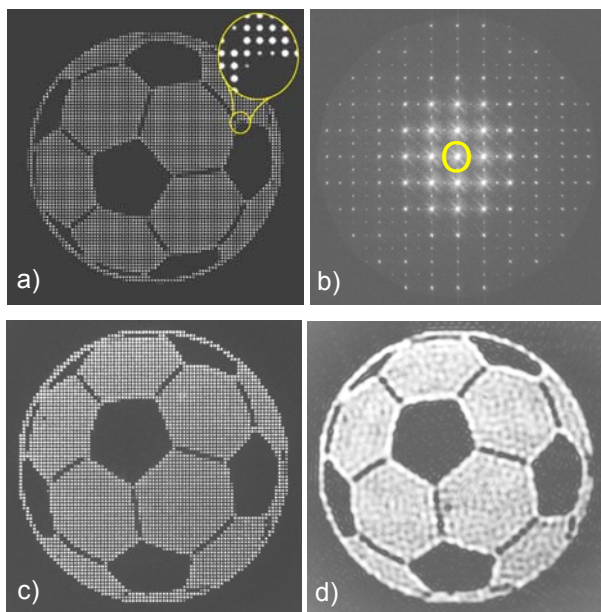


Abb. 5: a) „sampled football“ b) Spektrum c) Bild ohne Filter d) Bild mit dem in b) skizzierten Tiefpassfilter.