# Light propagation simulations for digital holography

Simon Malte Fredrich

20. Juni 2024

## Inhaltsverzeichnis



## Abbildungsverzeichnis

## Tabellenverzeichnis

## Abkürzungsverzeichnis

# 1 Einleitung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird die Interaktion eines Digital micro-mirror devices (DMD) mit kohärentem monochromatischem Licht aus einer Laserquelle. Dazu wird ausgehend von der bereits vorliegenden Veröffentlichung [1] im Themenbereich eine Simulation mit der Programmiersprache Python geschrieben, welche Daten für den Vergleich mit dem physischen Experiment erzeugt. Auf diese Weise sollen Einblicke in die Thematik erlangt werden, welche die praktische Umsetzung effizienter hinsichtlich Zeit- und Kostenaufwand machen können. Mit der Implementierung können Experimente vor der praktischen Umsetzung getestet werden, wobei z. B. Fehler frühzeitig entdeckt werden können und damit keine Veränderung des experimentellen Aufbaus nötig ist.

# 2 Grundlagen

Digital micro-mirror devices (DMDs) bestehen aus vielen kleinen quadratischen Spiegeln, die nebeneinander, in einem Matrix-artigen Aufbau, angeordnet sind. DMDs zeichnen sich dadurch aus, dass die Spiegel digital („on“ oder „off“) entlang ihrer diagonalen Achse geneigt werden können.

Sie werden genutzt, um die Amplitude des einfallenden Lichtes zu modulieren, dennoch kann es zu Phasenverschiebungen kommen. [2]

# 3 Motivation

# 4 Simulation

Um die grundlegende Funktionalität des DMDs zu implementieren und die Grundkonzepte der Simulation zu erproben, wird zunächst eine zweidimensionale Simulation erstellt. Darauf aufbauend wird eine dreidimentionale Simulation ausgearbeitet, um experimentelle Ergebnisse nachzustellen oder vorherzusagen.

## 4.1 Zwei Dimensionen

In dieser zweidimensionalen Version liegen die Koordinaten des DMD auf der x-Achse. Dazu sind die Spiegel mit einem Abstand entlang dieser Achse angeordnet und bewegen sich in der xy-Ebene, wobei sie sich um die senkrecht auf dieser Ebene stehenden Achse um ihren Mittelpunkt drehen.

### 4.1.1 Drehung

Zu Beginn sind alle Spiegel in dem Zustand „off“ und die Koordinaten der Spiegel $(x_i, y_i)$ liegen auf der x-Achse, also $y_i = 0$. Um die Spiegel um den Winkel $\alpha$ zu drehen, müssen die Koordinaten mit der Drehmatrix

$$D_2 = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \tag{1}$$

transformiert werden. Dazu muss der Koordinatenursprung kurz auf den Mittelpunkt $(x_{m,i}, y_{m,i})$ des zu drehenden Spiegels verschoben, die Transformation vorgenommen und anschließend der Urprung wieder in die Ausgangsposition gebracht werden.

$$\begin{pmatrix} x_i' \\ y_i' \end{pmatrix} = D_2 \cdot \begin{pmatrix} x_i - x_{m,i} \\ y_i - y_{m,i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{m,i} \\ y_{m,i} \end{pmatrix} \tag{2}$$

### 4.1.2 Phasenverschiebung

Die einfallende ebene Welle trifft jeden Punkt der Spiegel des DMDs mit unterschiedlicher Phase. Um die Phase $\Delta\phi_s$ zwischen den dem nullten und $j$-ten Spiegel zu berechnen wird die Projektion des Wellenvektors auf die x-Achse

$$\vec{k}_x = \left(\vec{k} \cdot \hat{x}\right) \cdot \hat{x} \tag{3}$$

mit dem Abstandsvektor zwischen den Spiegeln $\vec{r}_{0,j}$ skalar multipliziert

$$\Delta\phi_{s,j} = \vec{k}_x \cdot \vec{r}_{0,j}. \tag{4}$$

Die Phase $\Delta\phi_q$ entlang der Spiegel zwischen zwei Punktquellen berechnet sich ähnlich. Hier wird die Projektion des Wellenvektors $\vec{k}$ in die Spiegelebene

$$\vec{k}_s = \left(\vec{k} \cdot \hat{r}_s\right) \cdot \hat{r}_s \tag{5}$$

und der Vektor zwischen zwei Punktquellen $\vec{r}_q$ genutzt um den Phasenversatz

$$\Delta\phi_q = \vec{k}_s \cdot \vec{r}_q \tag{6}$$

zu berechnen.

Der Phasenversatz der $n$-ten Punktquelle des $m$-ten Spiegels wird mit

$$\Delta\phi_{m,n} = \Delta\phi_{s,m} + \Delta\phi_{q,n} \tag{7}$$

berechnet, womit man dann das Feld an der Koordinate $\vec{r}_i$

$$E_{\text{total},\vec{r}_i} = \sum_{m=0}^{M} \sum_{n=0}^{N} \exp(i(k \cdot r_i + \Delta\phi_{m,n})) \tag{8}$$

erhält.

# Literatur


[1] Mario Lachetta u. a. „Simulating digital micromirror devices for patterning coherent excitation light in structured illumination microscopy“. In: *bioRxiv* (2020). DOI: 10.1101/2020.10.02.323527. eprint: https://www.biorxiv.org/content/early/2020/10/03/2020.10.02.323527.full.pdf. URL: https://www.biorxiv.org/content/early/2020/10/03/2020.10.02.323527.

[2] Sébastien Popoff. *Setting up a DMD/SLM: Aberration effects*. 2019. URL: https://www.wavefrontshaping.net/post/id/23 (besucht am 06. 07. 2024).