

Frozen wave を用いたアダマール型符号化照明の生成 Generation of Hadamard-type coded illumination using Frozen wave

°笹木天翔^{1*}, 下村優², 小倉裕介²

°Tensho Sasaki¹, Suguru Shimomura², Yusuke Ogura²

1. 大阪大学工学部, 2. 大阪大学大学院情報科学研究科

1. Faculty of Engineering, Osaka University

2. Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University*

[*t-sasaki@ist.osaka-u.ac.jp](mailto:t-sasaki@ist.osaka-u.ac.jp)

A frozen wave (FW) is a light wave whose intensity distribution can be controlled in three dimensions. In this study, the FW is used to generate Hadamard-code illumination with a width in the z-axis direction towards 3D single pixel imaging (SPI). In simulation we demonstrated generation of Hadamard-code illumination in two separated spaces. It was also confirmed that the coded illumination could be restored on the back side even if it was partially hidden. These results show the potential of the FW-based coded illumination for 3D SPI.

シングルピクセルイメージング(SPI)は物体に符号化照明を照射しながら強度を測定してイメージングする手法である。三次元イメージングにおいては、サンプル自体の光軸方向の揺らぎやサンプルによる符号化照明の乱れなどに対処する符号化照明が求められる。Frozen wave (FW) は非回折性や自己修復特性を持つ光波であり、三次元の光パターン制御が可能である⁽¹⁾。本研究では、SPI への適用可能性を調査するため、アダマールパターンの FW 符号化照明について検討し、基本的特性の確認を行った。

異なる奥行き位置でのイメージングを想定し、アダマールパターンを2つに分割し、Fig.1 のように左半分を手前に、右半分を奥に、奥行き方向に幅を持たせて配置した。SPI は集光した光の強度測定に基づくため、符号化照明を分割した場合でもイメージングが可能である。FW は異なる波数のベッセルビームを足し合わせて生成され、それらを空間的に配置した FW 符号化照明の複素振幅分布は以下の式で表される。

$$\psi(x, y, z) = \sum_{q=1}^P \sum_{m_q=-N}^N A_{mq} J_0(k_{\rho}^{(mq)} \sqrt{(x-x_o)^2 + (y-y_o)^2}) \exp(ik_z^{(mq)} z)$$

J_0 はベッセル関数、 k_{ρ} は横方向波数、 k_z は縦方向波数、 A_{mq} はベッセルビームの重み、 (x_o, y_o) はビームの中心座標を表す。アダマール行列の値が1の要素に対応する位置に FW 強度を持たせることにより符号化照明を生成した。照明生成には空間光変調器 (SLM) を用いるが、一般には振幅か位相どちらかしか変調できないので、フーリエ級数展開とヤコビアン展開を用いて位相のみの分布から複素振幅を再現する手法を採用した。設計パターンのシミュレーション結果を Fig.2 に示す。また、Fig.2 の丸の部分の z 軸方向の強度分布を Fig. 3 に示す。FW 符号化照明により、2つの空間領域において、z 軸方向に幅を持たせたアダマールパターンを生成することができた。また、物体自身により照明が乱れる場合の自己修復特性を確認し、三次元 SPI への適用可能性を示した。

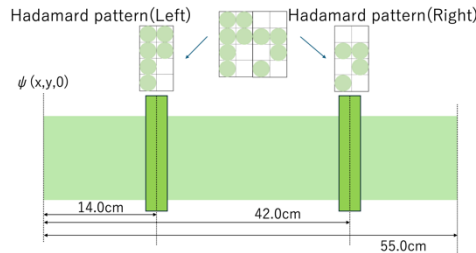


Fig.1 Setup of Hadamard-code illumination

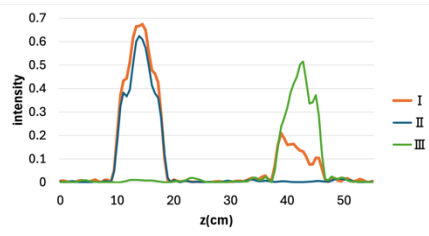


Fig.3 Intensity profile in z direction.

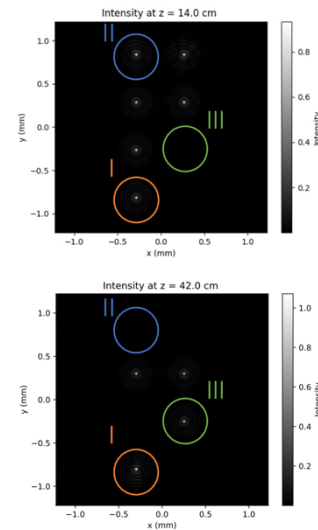


Fig.2 Spatial pattern of coded illumination

参考文献

- (1) A. H. Dorrah *et al.*, "Light sheets for continuous-depth holography and three-dimensional volumetric displays." *Nature Photonics* **17**, 427 (2023).