

# 光のデジタル信号処理

松島 恭治

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

ホログラフィをデジタル的に扱う技術が近年発達しつつあり、空間的な広がりを持つ光波に対して音響や画像のデジタル信号処理と同様の過程が実現できる見通しが立ってきた。これにより新たな映像技術や光学素子の可能性が開けつつある。これらの A/D, D/A 変換の手法や、CPU や GPGPU を用いた信号処理について我々の取り組みを中心に報告する。

## 1. はじめに

立体写真としてよく知られているホログラムの作製過程は、(a)光波の記録、(b)光波の再生の 2 段階に分けられる。(a)と(b)をつなぐ記録媒体としては高解像度の写真フィルムが従来用いられており、光波情報はフィルム乳剤の黒化度の 2 次元パターン(干渉縞)としてアナログ的に記録されている。

しかしながら、近年の撮像デバイスの高解像度化により、そのパターンをデジタル情報として直接的に記録することが可能になってきた。この技術はデジタルホログラフィ(Digital Holography; 以下 DH)と呼ばれる。一方、仮想的な物体の光波を数値的に求め、それを描画・表示することにより光学再生像を得る技術は計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram; 以下 CGH)として知られている。CGH の作製には高い解像度が要求されるが、こちら

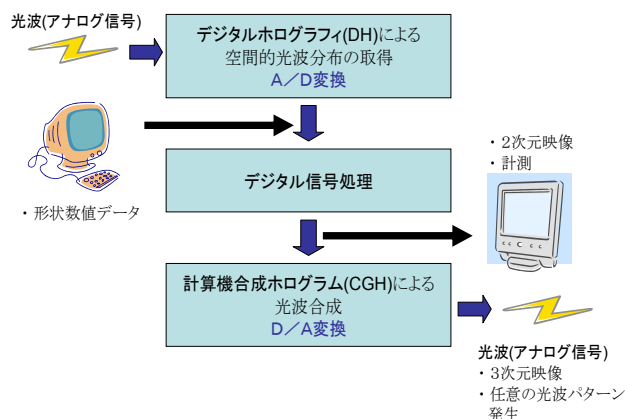


図 1 光のデジタル信号処理の概念

も近年の微細加工技術の進展により波長程度の解像度で描画する技術が比較的安価に利用可能になりつつある。

これらの技術を連続して利用すると、図 1 に示したように (a)空間的光波分布をデジタル的に記録する A/D 変換、計算機によるそのデータの処理、(b)処理したデータを再び光として再生する D/A 変換が可能になる。すなわち、音響信号や画像信号に対して確立されているデジタル信号処理の全過程が位相を含む空間的光波分布に対して行えることになり、今後の発展が期待できる。すでに、必ずしもこれらの全過程を通して実施しなくても、一部の過程のみを行うことにより、従来にない種々の有用な効果が得られることがわかって来た。

## 2. デジタルホログラフィによる光波信号の取得とそれを用いた画像処理

デジタルカメラではレンズを用いた結像により光強度分布の 2 次元パターンを記録するのに対して、DH では被写

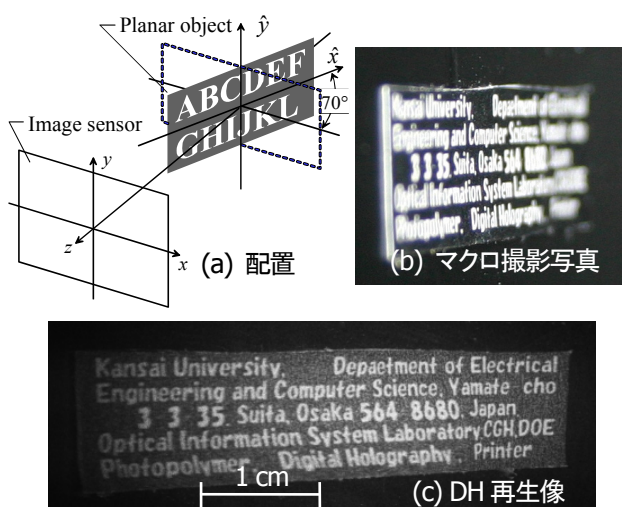


図 2 デジタルホログラフィによる斜面像の再生<sup>[1]</sup>

体をコヒーレント光源で照明して参照光との干渉縞を記録する。これを 3 回繰り返す位相シフト法を用いると光強度のみならず位相の情報をも取得することができる。結果として得られる画像は複素画像となり、位相情報を含むため回折伝搬計算処理を施すことができる。

#### 斜面像の再生

図 2 は非平行平面間の回折伝搬計算を用いた数値再生例である。この実験では(a)に示したように撮像デバイスに対して垂直近くまで傾けて配置した大きさ4cm×1cmの板に文字を描いてある。これを通常のカメラでマクロ撮影すると、被写界深度が不足するため(b)のようにボケた写真になる。それに対して、DH で撮像し回転変換<sup>[2]</sup>を行うと、(c)に示すような鮮明な再生像が得られる。

#### 撮影後のピント位置変更

図 3 は DH 撮影後にピント位置を変更した例である。ここでは被写体は 3 cm 毎に 3 段の深さを持っている。(b)では「K」の文字に、また(c)では「LASER」の文字にピント位置を変更している。この様に、DH では伝搬計算を行うことにより、複素振幅像のピント位置を任意の注視点に移動することができる。

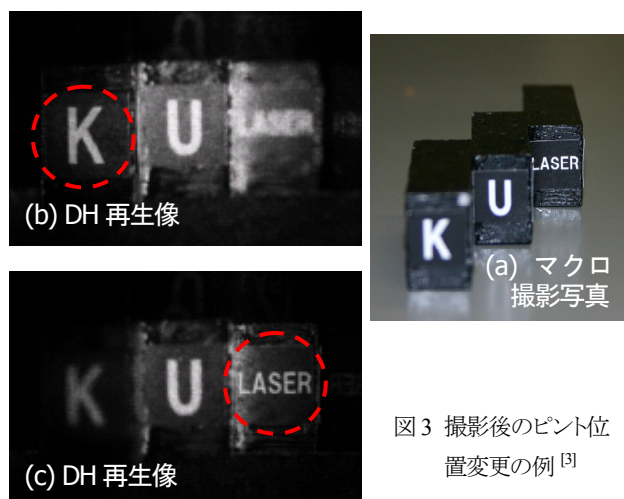


図 3 撮影後のピント位置変更の例<sup>[3]</sup>

#### 自由視点画像

回折伝搬計算時にマスク処理を行うことにより 1 枚の複素画像から任意の異なった視点位置での画像を再生した例が図 4 である。

### 3. 計算機合成ホログラムによる光波再生

光のデジタル信号処理において D/A 変換を担うのが CGH である。CGH の技術を用いると、任意の光波が再生できる。ここでは数値的に合成した仮想的な光波の合成例を図 5 に示す。(a)と(b)は仮想物体の光波を数値合成し光波として再生した例<sup>[4, 5]</sup>。(c)はレーザービームをビーム整形した例<sup>[6]</sup>である。

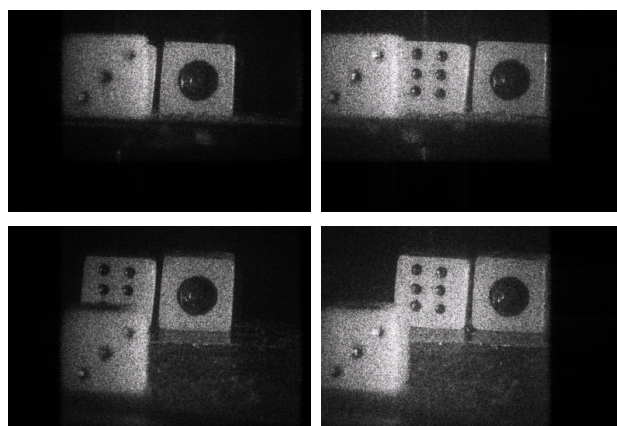


図 4 自由視点画像の例<sup>[3]</sup>

### 4. 信号処理

現時点での信号処理としては光波の回折伝搬計算が大半であり、それをいかに短時間で精度よく行えるかが鍵となる。これについては近年のマルチコア CPU のみならず、GPU の利用が進んでいる。GPU を利用することにより信号処理の時間を数分の 1 以下に短縮できる。

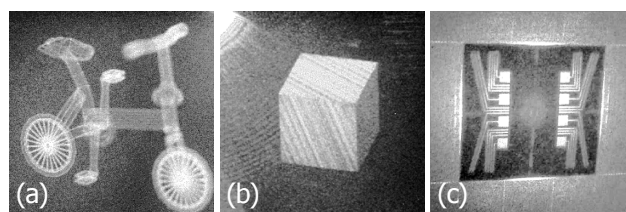


図 5 計算機合成ホログラムの光学再生像の例<sup>[4-6]</sup>

### 5. まとめ

光のデジタル信号処理において、A/D、D/A 変換の手法を中心に我々の取り組みを紹介した。

#### 参考文献

- [1] K. Matsushima: "Formulation of the Rotational Transformation of Wave Fields and Their Application to Digital Holography", *Appl. Opt.*, **47**, D110-D116(2008).
- [2] K. Matsushima, et al.: "Fast Calculation Method for Optical Diffraction on Tilted Planes Using the Angular Spectrum of Plane Waves", *J. Opt. Soc. Am.*, **A20**, 1755-1762(2003).
- [3] T. Nakatsuji, K. Matsushima: "Free-Viewpoint Images Captured Using Phase-Shifting Synthetic Aperture Digital Holography", *Appl. Opt.*, **47**, D136-D143(2008).
- [4] 松島, 中原他: "レーザー直接描画装置で作製した大規模で高品質な全方向視差計算機合成ホログラム", 3 次元画像コンファレンス 2007, 109-112(2007).
- [5] K. Matsushima: "Computer-Generated Holograms for Three-Dimensional Surface Objects with Shade and Texture", *Appl. Opt.*, **44**, 4607-4614(2005).
- [6] 松島, 森村: "反復最適化アルゴリズムを用いた任意形状ビーム整形用回折光学素子の設計", *レーザー研究*, **35**, 299-308(2007).