

DCT 基底ホログラムによる光学合成

Optical image superposition using basis holograms based on discrete cosine transform

石田一敏*, 大坊真洋*

Kazutoshi Ishida*, Masahiro Daibo*

*岩手大学

*Iwate University

キーワード: ホログラフィ (Holography), 離散コサイン変換 (Discrete Cosine Transform), 基底ホログラム (Basis hologram), 基底 (Basis), 位相シフト (Phase-Shifting)

連絡先: 〒020-8551 盛岡市上田4-3-5
岩手大学工学部電気電子工学科大坊研究室
大坊真洋 Tel.: (019)621-6983, E-mail: daibo@iwate-u.ac.jp

1. はじめに

より自然な立体像を表示するための技術は以前から要求されているもののひとつであり, 研究開発が重ねられている. その中でホログラフィ技術は自然な3次元像を得ることができるため, 理想的な3次元表示技術として期待されている.

ホログラフィ技術を利用したより自然な3次元表示技術を実現するために, 本研究室ではDCT(離散コサイン変換: Discrete Cosine Transform) 基底画像を応用することで逐次ホログラムを作成することなく任意の立体像が再生する手法を考案した¹⁾. これはあらかじめ用意した汎用的に利用できる基底ホログラムによって再生されるDCT 基底画像を同位置に重ね合わせさせることで, 任意の立体像を再生する方法である.

そこでこの手法によって任意の立体像が再生できることを示すため, 基底ホログラムによる任意の2次元画像の光学的再生実験を行う. 本研究ではこれまで行ってきたシミュレーション結果をもとに, 光学的な再生実験で技術的検証することを目的としている. その中で今回は基底画像の光学的な合成を行う. 特に, 合成の際に考慮しなければならない光の減算の実現について検証したのでその結果を報告する.

2. 基底ホログラム

2.1 ホログラフィの原理

レーザー光を2つに分け, 片方を物体に当て(物体光), もう片方の光(参照光)と記録面上で重ね合わせることで干渉縞が形成される. その干渉縞をフィルム等の記録媒体に記録する. これをホログラムという. そして, ホログラム

に記録時と同じ参照光で照射すると、被写体が存在した位置に再生像が現れる。この干渉縞には振幅の情報のほかに位相の情報が含まれるので、3次元の像を再生することが可能である。

ホログラムの作成方法は、レーザー等を用いて干渉縞を直接フィルムに記録する方法と、干渉縞を数値計算によって作成するCGH (Computer Generated Hologram) がある。CGH は計算機で干渉縞を作成するので被写体を必要としないという大きな特徴を持つ。そのため、近年ではCGH を利用した方法で多くの研究がなされている。しかしCGH は微細なパターンを大面積で加工する装置が必要となる。そのため実際の3次元像を観察することが難しい。CGH でも光学撮影でもどちらでもホログラムの作成は可能であるが、本研究では光学的検証を行うので、直接記録の方法によってホログラムを作成することにした。

2.2 DCT と基底ホログラム

デジタル画像の情報圧縮でよく使われる手法の1つにDCTがある。DCTは1つの画像を $N_x \times N_y$ 画素のブロックに分割し、その各ブロックごとに効率よく圧縮させる手法である。

DCTには $N_x \times N_y$ 種類の基底が存在し、そのDCT基底画像は、各基底の周波数成分のパターンを表している。例えば、 4×4 画素にブロック化した2次元DCT基底画像は図1のようになる。ここで、この基底画像それぞれに対してホログラムを作成することを考える。これを我々は基底ホログラムと呼んでいる。

DCT基底ホログラムを用いる利点としてまず、DCT基底は入力画像に依存せず固有のものであるので、基底ホログラムも固定化できる。一般的なホログラムでは物体が変わる度に作成し直さなければならないという問題が

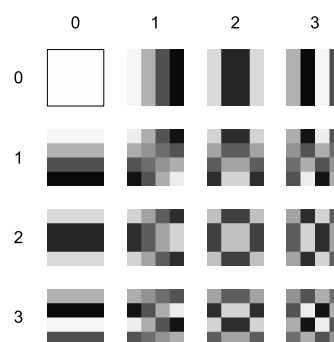


図1 4×4 の2次元DCT基底画像

ある。一方、基底ホログラムは一度作成して基底ホログラムの重みを調整し重ね合わせることで任意の像を合成することができる。つまり、ホログラムを何度でも再利用することが可能である。

また、DCTは低周波領域の成分への電力の集中度が高く、情報を効率よく圧縮できる特徴をもつ。実際、JPEGではDCT基底係数の重みに応じて基底を組み合わせて任意の画像を再現している²⁾。この特徴を用いてDCT係数に応じた再生光を基底ホログラムに照射させることで任意の像ができ、さらにこれを発展させることができれば3次元についても任意の立体像を得られると考えている。

そこで、本研究では2次元のDCT基底画像を用いて基底ホログラムを光学的に撮影し、光学的に合成する実験を行った。

3. 基底ホログラムの記録と再生

3.1 基底画像の記録・再生方法

基底ホログラムを作成するためには、基底画像が必要になる。基底画像は複数の種類が存在し、像を重ね合わせるためにはこれらをすべて同じ条件下で作成しないと行かない。

そこで、被写体となる基底画像を表示するため透過型LCDパネルを出力源として用いることにした。LCDパネルはパソコンに接続し、表

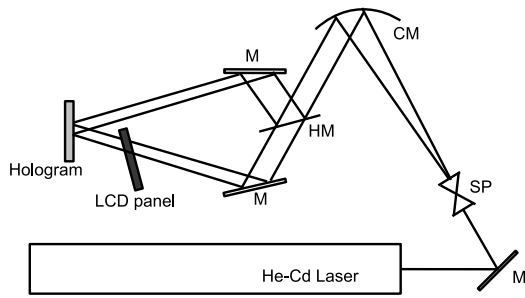


図2 実験に用いた光学系

示したい基底画像を物体光となる光の位置にあわせてパネル上に出力させる。これにより、全て同じ位置に任意の基底画像を表示することが可能となる。

このLCDパネルを用いて基底ホログラムを作成する。実験に用いた光学系を図2に示す。レーザー光はスペシャルフィルタ(SP)で平面波にし、凹面鏡(CM)を用いることで広がった平行光を作り出す。これらをハーフミラー(HM)によって2つに分岐させ、参照光と物体光を得た。物体光はLCDパネルの基底画像を出力させてある部分に照射し、透過させた光をホログラム面上に記録する。今回の実験では、LCDパネルとフィルムまでの距離は約150mmとした。そして、使用したレーザーは波長441.8nmのHe-Cdレーザー、フィルムはFUJIFILMのSilver Halide Holographic Film FHLを利用した。また、再生結果は虚像をカメラにて撮影した。

3.2 単一の基底画像の記録・再生

まず単一の2次元DCT基底画像について記録・再生を行う。本実験では図1における(0,1)基底画像を用いる。そして、出力させる画像の全体の大きさは28 pixel × 28 pixelとし、再生結果を見やすくするために基底画像に最明度で外枠をつけた画像をLCDパネルに出力させた。

再生結果を図3(b)に示す。使用したレーザー

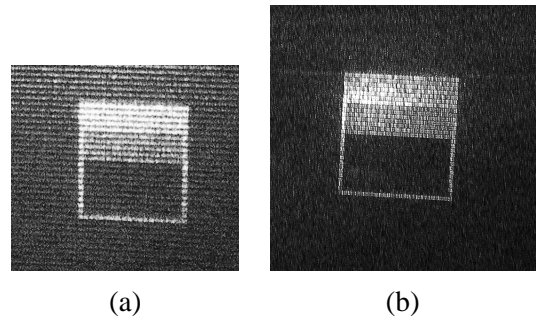


図3 (0,1)基底画像の記録・再生結果：(a)物体光によってLCDパネルに出力された基底画像 (b)光学実験による再生像

の波長とLCDパネルの特性から暗部のコントラストが低いという問題があるが、図3(a)に示したLCDパネルに表示された明度パターンと比較してもほぼ被写体と等しい再生像を得られることができた。

4. DCT 基底画像の重ね合わせ

4.1 基底ホログラムを用いた基底画像の重ね合わせ

次に、複数の基底ホログラムを用いて基底画像を重ね合わせることを考える。図4に基底ホログラムによる基底画像の重ね合わせの概念図を示す。

あらかじめそれぞれの基底画像における基

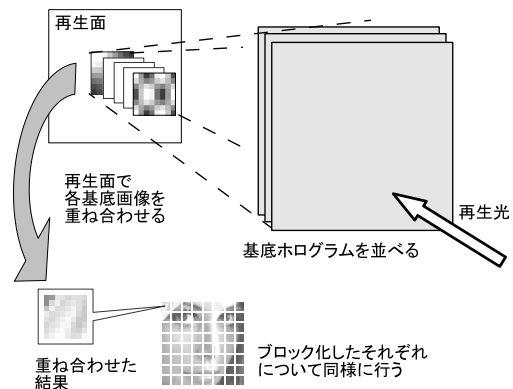


図4 DCT 基底画像の重ねあわせによる再生方法の概念図

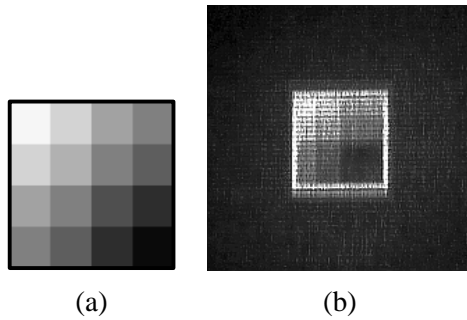


図5 (1, 0), (0, 1) 基底の2つの重ね合わせの再生像 : (a) シミュレーションによる像の強度の重ね合わせ, (b) 光学実験による再生結果

底ホログラム(以後, ホログラム群と呼ぶ)を作成する. そして, それらのホログラム群をDCT係数に応じた分だけ用意し, 同じ位置にホログラム群を並べる. 同位置に重なったホログラム群に再生光を同時に照射させ, 各基底ホログラムから再生される基底画像を再生面上で重ね合わせる. 重ね合わせた結果, 任意の像が再生される. これをDCTを利用するために分割した各ブロックごとに行うことで1つの像が復元される.

この手法により, 画像の重ね合わせの実験を行う. 重ね合わせるための基底画像は図1における(1, 0)基底と(0, 1)基底を使用した. 光学系は単一の基底を撮影した図2の構成と同様である. 記録方法はまず, LCDパネルに(1, 0)基底画像を出力しフィルムに記録する. 次にLCDパネルに出力させる画像を(0, 1)基底画像に変えて, 前と同じ条件で二重露光して記録する.

シミュレーションによる結果を図5(a), 光学実験による再生結果を図5(b)に示す. 2つの画像を同位置に重ねあわせることができている. また, 二重露光で記録しているのでコントラスト比が落ちるという欠点はあるが, 計算による結果とほぼ同一の強度パターンを再現することができた.

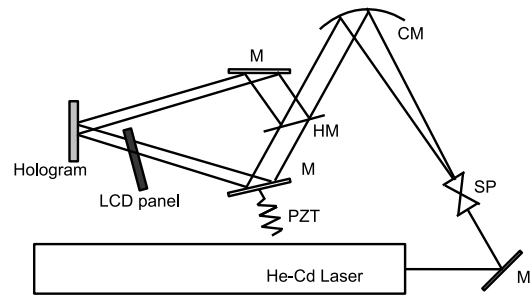


図6 ホログラムの減算のための光学系

4.2 従来のDCT基底への応用

ここで, DCT基底ホログラムを用いて光学的に合成するには考慮すべきことがある. DCT基底は余弦関数を利用しているため負値をもつ. また, DCT係数も負となる場合がある. しかし, 光の強度には負値が存在しない. よって, 出力画像を基底として表現するには負値の重ね合わせ, すなわち減算を光学的に実現する必要がある.

この課題を解決するために, DCT基底値の絶対値を振幅, 正負の区別は相対的な位相差 π を与えて表現することでDCTによる光演算を実現する. 半波長シフトさせると振幅の正負が逆転し, 相対的な位相差 π を作り出せる. これで光の減算が可能となる.

5. 光の減算による像の重ね合わせ

5.1 光学系と記録方法

上記の考え方による光の減算を実現するために, 光学系を図6のように変更する. 図2と基本は同じだが, 物体光側のミラー部分にピエゾアクチュエータ(PZT)を取り付けることで光路長を可変にし, 位相を変化できるようにする. 再生時に正值となる要素には電圧を変化させず, 負値となる要素にはPZTに電圧を加え光路長を半波長分だけ変化させた状態で記録する. そして再生光を照射すると, 電圧を印加しない

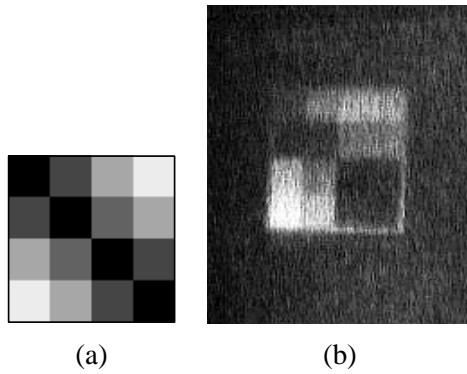


図7 (1, 0), (0, 1) 基底の2つによる基底画像の減算の再生像：(a) シミュレーションによる像の減算結果, (b) 光学実験による再生結果

で記録したものと印加して記録したもので相対的に位相が π だけ変化するのではないかと考えられる。

この方法で光の減算ができることを確認するため、今回は2つの基底画像による減算を行うことを行った。今回は図1における(1, 0)基底画像から(0, 1)基底画像を減算することを考える。まず(1, 0)基底画像を記録し、(0, 1)をPZTで物体光の光路長を半波長変化させ記録した。

5.2 再生結果と考察

シミュレーションによる重ね合わせの結果を図7(a)、光学実験の結果を図7(b)に示す。こちらの結果も二重露光であるのでコントラスト比が落ちてしまうが、同位置に重ね合わせることができた。また、同じ(1, 0)基底画像と(0, 1)基底画像を重ねあわせた図5(b)と図7(b)の再生像を比較すると、図7(b)では減算をしているので同じ明度の部分は打ち消し合って黒になるが、再生結果においても同明度の左上で打ち消すことができている。

このことから、光路長の変化での位相差を利用した光の減算を実現できたと考えられる。

今回の実験では基底画像全体同士の減算を行った。しかし、基底は正值の要素と負値の要

素が混在する。そのため、今後は正負によって分けて撮影を行い基底ホログラムを作成する必要がある。

6. おわりに

2次元DCT基底ホログラムを用いて光学的に合成する実験を行った。

LCDパネルを利用して被写体となる任意の基底画像を同位置に出力させるような光学系を作成した。基底ホログラムから単一の基底画像をほぼ同一の強度パターンで再生させた。また、二重露光をすることで同一面上に2種類の画像を重ね合わせることを実現した。そしてPZTを利用して相対的な位相差を作り、ホログラムによる減算を実現した。これらから、DCT基底ホログラムを用いて任意の像を再現することができることが確定された。

さらにこれを3次元の基底ホログラムに発展させることによって、自然に立体視できるホログラフィックディスプレイなどの立体表示技術に応用できると考えられる。

今後としては、基底数を増やした場合での検証などを行っていく予定である。

参考文献

- 1) OBARA TAIHEI, DAIBOU MASAHIRO, TAYAMA NORIO : Data Compression Algorithm for Computer Generated Holography based on Discrete Cosine Transform., 第45回自動制御連合講演会講演論文集 327/328(2002)
- 2) 越智宏, 黒田英夫 : JPEG & MPEG 図解でわかる画像圧縮技術, 114/121, 日本実業出版社 (1999)
- 3) K. Bromley, M. A. Monahan, F. J. Bryant, and B. J. Thompson : Holographic Subtraction, APPLIED OPTICS vol.10 No.1, 174/181 (1971)
- 4) John F. Ebersole and James C. Wyant : Real-time optical subtraction of photographic imagery for difference detection, APPLIED OPTICS Vol.15 No.4, 871/876 (1976)