

J_041

非負のDCT基底によるホログラムの合成

Synthesis holography by using basis of non-negative discrete cosine transform

成田 皇司† 大坊 真洋†
Koji Narita Masahiro Daibo

1 はじめに

一般的に CGH (Computer Generated Hologram) によるホログラムの計算には時間がかかる。このため、実時間による立体動画像を CGH で作り出すことは容易ではないだろう。

そこで、ホログラフィー技術 [1] と非負の DCT 基底画像とを応用することで、逐次 CGH 計算を行うことなく任意の立体像が再生できる手法を考えた。あらかじめ用意したホログラム要素 (基底ホログラム) によって再生される DCT 基底画像を光学的に重ね合わせることで、逐次 CGH 計算を行うことなく任意の立体像を再生できる手法を提案する。

この手法によって任意の立体像が再生できる可能性を示すために、本研究ではホログラムによって任意の2次元画像の再生が可能であることをシミュレーションで実証する。

2 非負の DCT 基底

JPEG 画像が 64 個の DCT 基底で任意の画像を再現できるように、立体像も異なる複数の DCT 基底から任意の立体像を再生できると考えられる。2次元の再生像について、図1にその概念図を示す。

レーザーによって再生される DCT 基底画像を同時に重ね合わせるとスペックルノイズが大きくなる。そこで、DCT 基底を時間的に分割して重ね合わせる手法を考えた。しかし、光の強度に負値は存在しないので、時間的に分割して画像化した基底を重ね合わせる本手法では、同時性がないために基底の重ね合わせによる減算ができない。

そこで、画像化した DCT 基底の加算のみで原画像を再現することができるような「負値のない DCT 基底」を考える必要があった。

2.1 従来の DCT 基底からの応用

DCT 基底では余弦関数を利用しているので、基底の持つ値の範囲は-1から1となる。DCTの基底を与える式から考えると、余弦関数の負値の部分が基底に負値を与えている。

余弦関数に1を加え、最終的に基底数を4倍に増やすことで、元の画像を再現できる「負値のない DCT 基底」を考えた。通常 $8 \times 8 = 64$ 個の基底に対し、それぞれ2倍の $16 \times 16 = 256$ 個の基底を用意した。

$N_1 \times N_2$ の画素を持つ2次元信号 $x(n_1, n_2)$ に対する DCT-II を考えると、式(1)のようになる。ここで $X^{C(II)}(m_1, m_2)$ は DCT-II の変換係数、 m_1, m_2 は周波数である。図2に基底画像を示す。

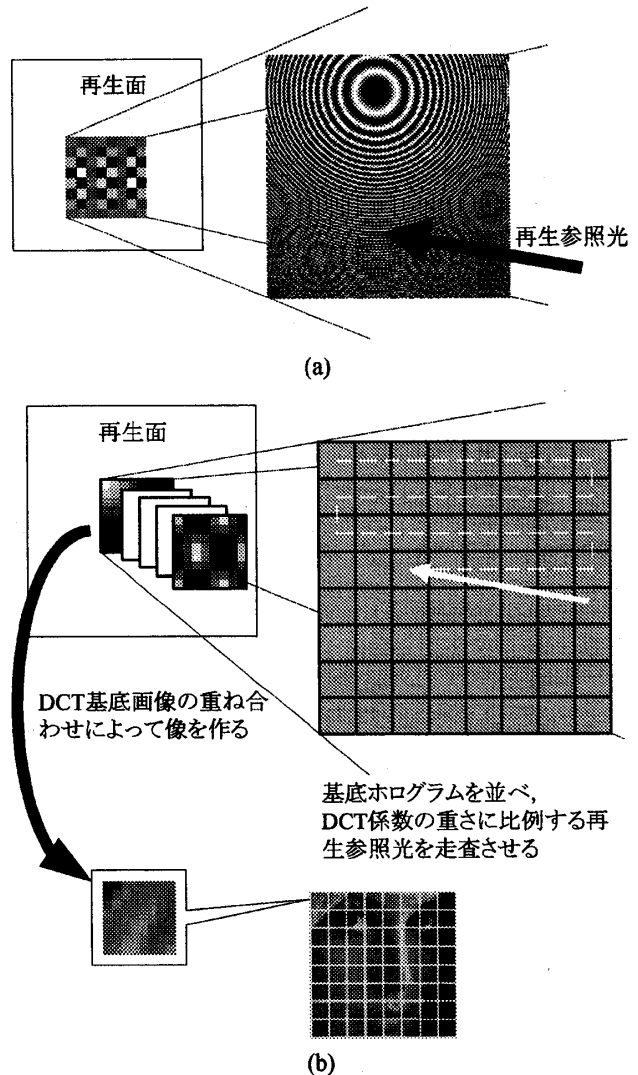


図1 DCT 基底画像の重ね合わせによる再生
(a) 1つの基底ホログラムによる DCT 基底画像の再生 (b) 異なる複数の基底ホログラムの重ね合わせによる任意画像の再生

$$\begin{aligned}
 X^{C(II)}(m_1, m_2) &= \frac{2k_{m_1}k_{m_2}}{\sqrt{(N_1N_2)}} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} x(n_1, n_2) \\
 &\times \left\{ 1 + \cos \left(\frac{(2n_1+1)m_1\pi}{2N_1} \right) \cos \left(\frac{(2n_2+1)m_2\pi}{2N_2} \right) \right\}
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{cases} m_1 = 0, 1, \dots, 2N_1 - 1 \\ m_2 = 0, 1, \dots, 2N_2 - 1 \end{cases}$$

† 岩手大学大学院工学研究科, Graduate School of Engineering, Iwate University

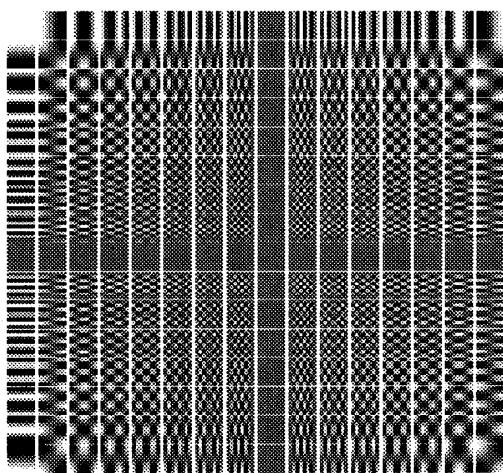


図2 非負の DCT 基底

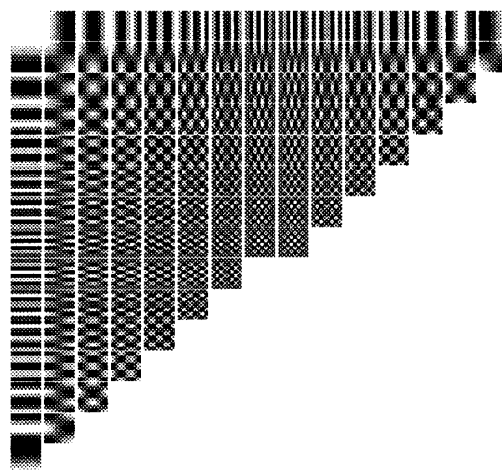


図3 重複する基底を取り除いた非負の DCT 基底

これらの基底には負値がなく全てが加算で表現されるため、直流成分は大きくなるものの交流成分は原画像の情報を含んでいる。

2.2 必要な基底数の削減

全ての基底が直流成分を持っているため、再生像に占める直流成分の割合が交流成分に比べて大きい。基底数を減らすことができれば、直流成分に対する交流成分の比率を大きくすることが可能である。

このため、直流成分しか持たない基底については不要であると考え、削除した。また、非負の DCT 基底をさらに詳しく調べたところ、重複する基底があり、対称性を利用して基底数を半分にすることができた。その結果、必要になる基底は図3のように従来の2倍の個数で済んだ。これらの DCT 基底は式(2)で表すことができる。

$$\begin{aligned}
 X^{C(III)}(m_1, m_2) &= \frac{2k_{m_1}k_{m_2}}{\sqrt{(N_1N_2)}} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} x(n_1, n_2) \\
 &\times \left\{ 1 \pm \cos\left(\frac{(2n_1+1)m_1\pi}{2N_1}\right) \cos\left(\frac{(2n_2+1)m_2\pi}{2N_2}\right) \right\}
 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{cases} m_1 = 0, 1, \dots, N_1-1 \\ m_2 = 0, 1, \dots, N_2-1 \end{cases}$$

3 ホログラム DCT 基底画像の重ね合わせ

非負の DCT 基底画像を重ね合わせた再生結果の一例を図4に示す。これは DCT 基底画像を 1024 画素四方の基底ホログラムによって再生し、全ての基底画像を時間的に分割して重ね合わせたあと、交流成分を 256 階調に正規化したものである。階調レベルの高い部分は光が強め合っており、レベルの低い部分は打ち消し合っている。同時に重ね合わせていないので、スペクルノイズが少なく、入力画像とほぼ同じ再生像が得られた。

また、任意の1点のみ打ち消し合い、そのほかの部分では強め合うような像も再生できることを確認している。

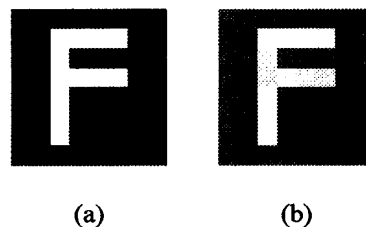


図4 (a) 原画像 (b) ホログラム DCT 基底の重ね合わせによる再生画像

4 考察

非負の2次元 DCT 基底による任意の画像の再生に成功した。さらに拡張した非負の3次元 DCT 基底を用いることで、任意の立体像を作り出せる可能性が高い。

出力結果における直流成分と交流成分との比率は解決すべき問題である。原画像全体の階調レベルが高ければ、再生画像の直流成分が大きくなり、画像全体に占める交流成分の割合が減る。そのため、明暗として認識できる交流成分が直流成分に埋もれ、交流成分が人間の目には認識しづらい可能性がある。

5 まとめ

ホログラムによる立体動画像が実現可能であることを確かめるために、非負の2次元 DCT 基底による任意画像の再生が可能であることをシミュレーションによって実証した。基底数は通常の DCT 基底の2倍であった。これにより事前に要素ホログラム(基底ホログラム)を用意しておけば、ホログラムの計算を逐次実行する必要がなく、高速な DCT 計算だけでホログラムの合成が可能になると考えられる。今後、3次元モデルへ拡張し、さらに光学的実験を行う予定である。

参考文献

- [1] Hariharan, P.: *Optical Holography Principles, techniques, and applications*, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2nd edition (1996).