

3次元離散コサイン変換による基底ホログラム Bases Hologram for based on 3D Discrete Cosine Transform

○柏 恭介*, 小原 泰平*, 大坊 真洋*, 田山 典男* (岩手大学)

○Kyosuke Kashiwa*, Taihei Obara*, Masahiro Daibo*, Norio tayama*

*岩手大学工学部

*Faculty of Engineering Iwate University

キーワード : 計算機ホログラフィ(Computer Generated Holography), 離散コサイン変換(Discrete Cosine Transform), 基底ホログラム(Bases hologram)

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

1. はじめに

物体を立体的に表現する方法の一つにホログラムがある。ホログラムは、実際の物体と等価な波面を再現するので、人間の眼でそれを見る際、とても自然である。また、視点の角度を移動させても連続的な像を認識することができ、立体視には理想的である。

ホログラフィのひとつに計算機ホログラフィ(CGH)がある。CGHはホログラムを実際に光の干渉現象によって生成するのではなく、計算によってホログラムを数値データとして求めるものである。しかしCGHは、物体の標本点とホログラムの標本点の全組み合わせを計算する必要があり、膨大な情報量を処理しなければならない。この問題を解決するために、離散コサイン変換(DCT)の基底に対応したホログラム(基底ホログラム)の概念(Fig. 1)を提案している。低周波成分の基底ホログラムからホログラムを合成することによって情報量を圧縮できる。

これまでの本研究室での2次元DCTによる情報圧縮の実験では、計算量を全体計算した時の、およそ20%まで削減することが可能であることがわかっている。しかし、実際に立体画像を処理する場合のように2次元の基底だと奥行きの方を考えると基底を何枚もスライスしたような基底の取り方をしないと十分に物体を再現できない。

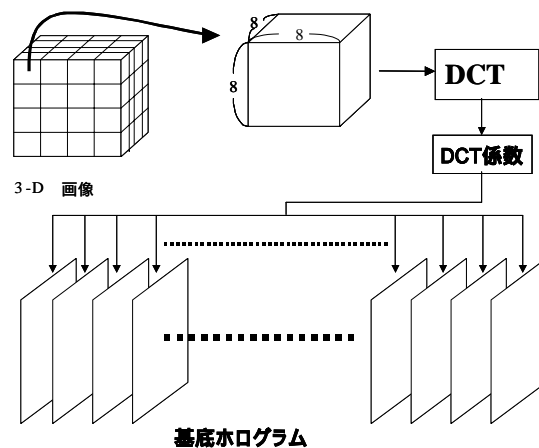


Fig. 1 基底ホログラム生成の流れ

そこで、基底自体が奥行きを持っている 3次元基底を用いることで、さらなる情報圧縮が可能ではないかと考えた。本論文では 3次元 DCT の基底から、それに対応する基底ホログラムを求め、それから 3次元物体再生する計算機シミュレーションの結果について報告する。

2. 計算機ホログラム の情報量圧縮の原理

まず、 $8 \times 8 \times 8$ 画素の 3次元 DCT の基底画像 (Fig. 2) を求める。3次元の DCT 基底画像には、 $8 \times 8 \times 8$ の画像が 512種類存在する。これをホログラムへ変換し、512種類の基底画像のホログラムを求め、メモリに保存しておく、このホログラムを“基底ホログラム”と呼んでいる。画像信号に DCT を行うと、一般的に低周波に値が集中する。人間の眼は低周波の変化には敏感であるが、高周波の変化には鈍感である。これを利用すると DCT で変換した信号を元の画像に再生する際には低周波部分の基底を主に使用することで画像の再生が可能となる。また、人間の眼は上下左右の変化に比べ前後の変化に鈍感であるので Fig. 2 上の f_z 軸の成分は、 f_x 軸、 f_y 軸の成分に比べて、より低い低周波部分の基底で十分であると推測される。このことから処理実行時に必要な分だけの基底ホログラムをメモリから取り出しそれに対応した DCT 係数を掛け合わせてホログラムを合成することで、情報量の大幅な削減が可能となり、また再生画像も現画像に近いものが得られ

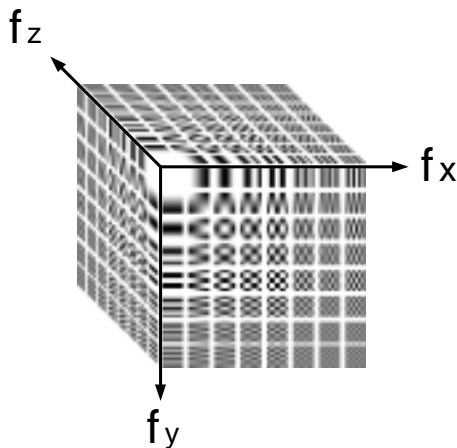


Fig. 2 $8 \times 8 \times 8$ の DCT 基底

ると思われる。さらに、基底ホログラムを一度計算してしまえば、DCT 係数の値を変化させるだけで、どのような画像に対してもホログラムの生成が可能となる。

3次元 DCT は式(1)で示される。

$$X_{m_1 m_2 m_3} = \frac{2\sqrt{2}k_{m_1} k_{m_2} k_{m_3}}{\sqrt{N_1 N_2 N_3}} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} \sum_{n_3=0}^{N_3-1} p_{n_1 n_2 n_3} b_{1m_1 n_1} b_{2m_2 n_2} b_{3m_3 n_3} \quad (1)$$

ただし

$$b_{1m_1 n_1} = \cos \left[\frac{(2n_1 + 1)m_1 \pi}{2N_1} \right] \quad (2)$$

$$b_{2m_2 n_2} = \cos \left[\frac{(2n_2 + 1)m_2 \pi}{2N_2} \right] \quad (3)$$

$$b_{3m_3 n_3} = \cos \left[\frac{(2n_3 + 1)m_3 \pi}{2N_3} \right] \quad (4)$$

$$k_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & j = 1, 2, 3, \dots, N-1 \\ 1, & j = 0 \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 $N_1 \times N_2 \times N_3$: 3次元画像のボクセル数、 X :DCT 係数、 p :画像濃度、 b :コサイン関数のサンプル値である。

式(1)を、行列表現すると式(6)となる。

$$\mathbf{X} = \Delta^{-1} \mathbf{B} \mathbf{P} \quad (6)$$

ここで、 \mathbf{X} は DCT 係数ベクトル、 \mathbf{P} はボクセル濃度ベクトル、 \mathbf{B} は DCT 基底行列である。 Δ^{-1} は基底ホログラムの重み係数を行列にしたもので、これを本研究室では“基底ホログラム量子化行列”と呼んでいる。これにより、圧縮率の調整が可能となる。

DCT の逆変換式は式(7)のようになる。

$$\mathbf{P} = \mathbf{B}^T \Delta \mathbf{X} \quad (7)$$

次に、CGH の変換式は式(8)のようになる。

$$h_{1112} = \sum_{n_1=0}^{L_1-1} \sum_{n_2=0}^{L_2-1} \sum_{n_3=0}^{L_3-1} \frac{\cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} (r - y_{1112} \sin \theta) + \phi_{n_1 n_2 n_3} \right)}{r} \cdot p_{n_1 n_2 n_3} \quad (8)$$

ただし、

$$r = \sqrt{(x_{n1n2n3} - x_{l1l2})^2 + (y_{n1n2n3} - y_{l1l2})^2 + (z_{n1n2n3} - z_{l1l2})^2} \quad (9)$$

ここで $L_1 \times L_2 \times L_3$: 3次元画像のボクセル数、
 $l1, l2$: ホログラムの標本点の座標、
 $n1, n2, n3$: 3次元画像の標本点の座標、
 p_{n1n2n3} : 3次元画像の点光源から発せられる物体光の振幅、
 r : 3次元画像の標本点とホログラムの標本点間の距離、
 ϕ_{n1n2n3} : 画像の初期位相、
 λ : レーザ光の波長、 θ : 参照光のオフセット角度である。式(8)を行列表現し、式(10)となる。

$$\mathbf{h} = \Psi \mathbf{P} \quad (10)$$

ここで、 \mathbf{h} は、ホログラムベクトルであり、
 \mathbf{P} は、画像濃度ベクトルである。そして、 Ψ
は、位相行列である。

そして、DCT の式(7)とホログラムの式(10)とを組み合わせると式(10)が得られる。

$$\mathbf{h} = \mathbf{G} \Delta \mathbf{X} \quad (11)$$

ただし、

$$\mathbf{G} = \Psi \mathbf{B}^T \quad (12)$$

ここで \mathbf{G} は、基底ホログラム行列を示している。これはあらかじめ計算可能である。

3. 計算結果及び考察

3次元DCTの基底の1例($x=4, y=4, z=4$)を Fig. 3 に示す。このような512種類の基底から基底ホログラムを生成し、必要な分だけDCT係数をかけ合わせて全体のホログラムを合成する。

Fig. 3 や Fig. 4 を見るとわかるように3次元の基底には奥行きがある。したがって、2次元の基底と比べて、同じ立体画像を扱った場合、計算する基底の数が少なく済む。また、低周波部分の基底(Fig. 4 (a))に比べて、高周波部分の基底(Fig. 4 (b))は非常に複雑な構造を持っている。実際にこのような複雑な構造を持っている物体は数少ないと思われる。2次元DCTによる情報圧縮の時と同様に、多くの場合は高周波部分の基底は大幅に削減してホログラムを生成しても十分な再生画像を得られると予想できる。また、先に述べたように人間の眼は前後の変化に鈍感なので、奥行きに関してはサンプリング

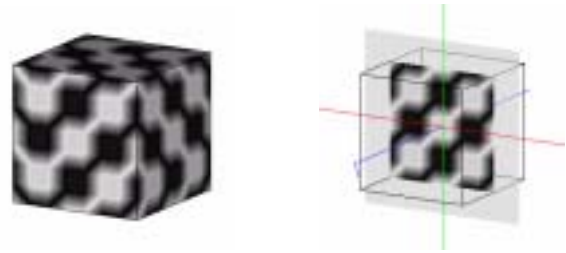
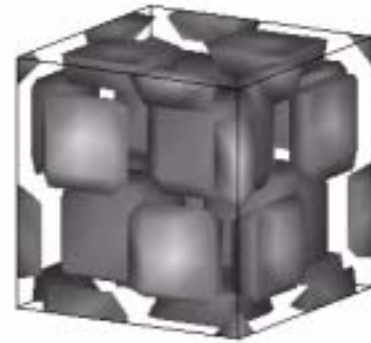


Fig. 3 3次元DCT基底の1例とその断面



(a) 低周波部分の基底の1例
($x=3, y=3, z=3$)

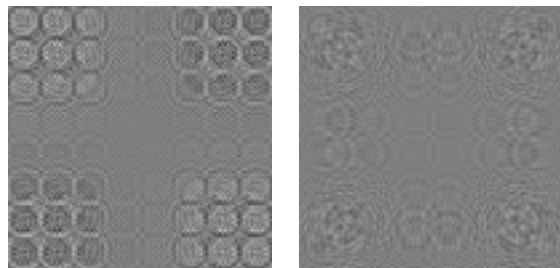


(b) 高周波部分の基底の1例
($x=7, y=7, z=7$)

Fig. 4 低周波部分と高周波部分

の基底の比較
感覚を長くするなど、さらに計算量の削減が可能ではないかと推測される。これらの3次元DCTに対応した基底ホログラムの1例($x=1, y=1, z=1, x=5, y=5, z=5$)を Fig. 5 に示す。画像を再生するには、このような基底ホログラムにDCT係数をかけあわせて全体のホログラムを合成し再生する。Fig. 6 は

$x=1,y=1,z=1$ と $x=5,y=5,z=5$ の 3次元基底画像と、それに対応した基底ホログラム再生を比較したものである。見て分かるように、多少の歪みは見られるものの、基底を十分に再生していることがわかる。



($x=1,y=1,z=1$) ($x=5,y=5,z=5$)
Fig. 5 基底ホログラムの一例

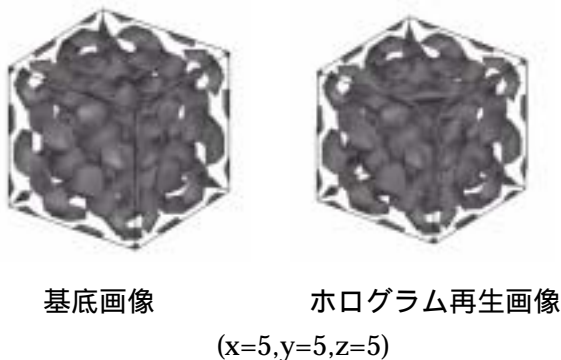
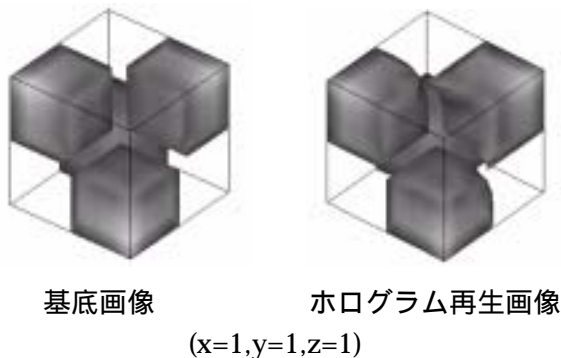


Fig. 6 基底とホログラム再生との比較

4. おわりに

本研究では情報圧縮の目的のために 3次元 DCT 基底による基底ホログラムを提案した。また、基底ホログラムから元の 3次元基底画像を再生するシミュレーション実験を行った。従来の 2次元 DCT 基底を使った方法より高い圧縮率が期待できる。

今後の研究課題としては、今回計算した基

底ホログラムを用い、3次元画像に情報量圧縮を行い、実際の画像と処理後の再生画像を比較するシミュレーション実験、および評価を行う予定である。

参考文献

- [1] 大坊真洋, 田山典男, "計算機ホログラムと X 線計算機断層法を統合した 3次元可視化," 電子情報通信学会論文誌 D- , vol.J82-D- , no.9, pp.1420-1428, 1999.
- [2] 小原泰平,大坊真洋,田山典男(岩手大学),"Data Compression Algorithm for Computer Generated Holography," IEEE 講演論文集,SENDAISECTION,2A-18, pp.32,2002.