

光波振幅分布の非線形量子化による光波データ量削減

Reduction of wave-field data-size by non-linear quantization of amplitude distribution

○増地将哉, 松島恭治, 棟安実治

○Shoya Masuji, Kyoji Matsushima, and Mitsuji Muneyasu

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

E-mail: masuji@laser.ee.kansai-u.ac.jp

In holographic displays and digital holography, the data of light should be stored and transmitted in the form of the sampled wave-field instead of the fringe patterns, because it has several advantages in terms of versatility. However the huge amount of the data size commonly causes a problem. In this paper, we focus on the similarity of the histogram of amplitude distribution of wave-fields and propose a novel technique to reduce the data-size by using nonlinear quantization of amplitude distribution.

1. はじめに

コンピュータホログラフィでは、コンピュータ上で仮想物体からの光波を数値合成し、干渉縞パターンを求め、高解像度計算機合成ホログラム(以下、CGH)を作製する。また、デジタルホログラフィ(以下、DH)では、物体光と参照光を重ね合わせて生じた干渉縞をイメージセンサによって電子的に記録する。近年では、DH によって記録した 3 波長の光波をコンピュータ上に取り込み、カラー高解像度 CGH によって再生することもできるようになっている[1]。

コンピュータホログラフィやデジタルホログラフィでは、光波の情報はデジタルデータとして扱われる。この光波情報の保存やネットワークでの伝送では、汎用性の点で干渉縞よりも光波複素振幅分布を用いたほうが有利である。しかし、そのデータサイズは干渉縞に比べて一般に巨大であり、取り扱いが容易でない。そこで我々は、光波データ量削減のために、光波複素振幅分布の振幅ヒストグラムの類似性に注目し、干渉縞ではなく、光波分布の振幅に非線形量子化を適用してデータ量を削減した場合に再生像が受ける影響について報告している[2]。

しかしながら、振幅と位相の両方を量子化した場合については十分に検討していなかった。そこで、本研究では、光波複素振幅を 1 サンプル点あたり 4~16 ビットでコード化することを想定し、再生像の劣化が少ない最適な振幅・位相量子化ビット数の組み合わせを調べ、実際に高解像度 CGH を作製し確認を行った。

2. 量子化の手法

本研究では、1 サンプル点が実部・虚部二つの単精度浮動小数点数で表される複素振幅を振幅・位相形式に変換し、線形または非線形量子化を行った。一般に振幅分布の方には偏りがあるため、サンプル点の上位 0.01[%]を無視して出現確率の高い範囲を[0,1]に正規化した。様々なタイプの光波分布でこの正規化を行い、階級数 100 としてヒストグラムを求めた結果を Fig.1 に示す。ここで、(A)がポリゴン法で計算したモノクロ仮想物体の光波分布(サンプル点数 64K×64K, 1K=1024), (B)がカラーCGH 用の 3 波長の光波分布(64K×64K)[3], (C)が点光源で計算したワイヤフレームモデルの光波分布(64K×64K), (D)がDH で記録した実物体の光波分布(32K×32K)である。いずれの光波でも振幅分布のヒストグラムはほぼ同じであることがわかる。

そこで、本研究では、小型の 4K×4K サイズ原光波分布の振幅分布で、Lloyd アルゴリズム[4]を用いて量子化パラメータ(量子化閾値と量子化により得られる量子化代表値)を最適化し、その量子化パラメータを用いて(D)の 32K×32K 光波の振幅分布を線形・非線形量子化し、偏りがほとんどない位相分布を線形量子化し光波のコード化を行った。

3. コード化した光波分布の評価

本研究で用いた配置と座標系を Fig.2 に示す。また、光波のパラメータを Table1 に示す。ここで、Fig.2 の光波分布は、3D プリンタで作製した実物体の光波を合成開口 DH により記録したものである。この光波分布を 1 サンプル点あたり 4~16 ビットでコード化してシミュレーション再生し[5]、その画質を評価した。

本研究では、提案手法でコード化した光波分布と、コード化していない原光波分布の数値再生像の PSNR を用いて画質評価を行った。なお、評価範囲は像の周辺に限定している。

振幅分布のみを線形・非線形量子化した光波の

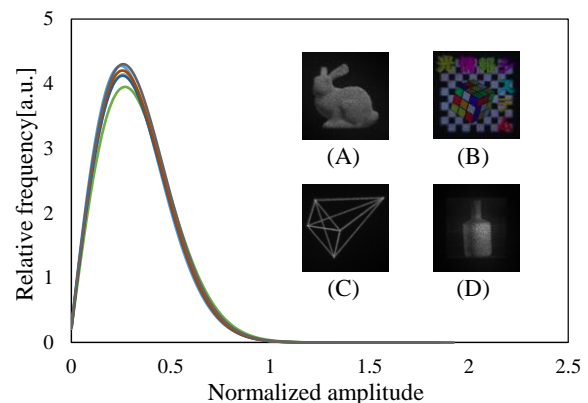


Fig. 1 Amplitude histograms of various object fields.

数値再生像の PSNR を Fig.3 に示す. この結果より全般に非線形量子化が良好な結果を与えることがわかる. 次に, Fig.4 に示すように光波分布の 1 サンプル点を N_t ビットでコード化した. この時, N_t ビットのうち N_a ビットで振幅値を表し, 残りの N_p ビットで位相値を表すことにする. $N_t=4, 6, 8, 16$ ビットとした時の PSNR を Fig.5 に示す. ここで, 横軸は振幅量子化ビット数 N_a であり, 位相量子化ビット数は $N_p=N_t - N_a$ で与えられる. また実線は振幅を非線形量子化した場合, 破線は線形量子化した場合である. 位相は常に線形量子化している. Fig.5 では, 例えば, 1 サンプル点を 8 ビット ($N_t=8$) とした時は, 振幅ビット数 $N_a=3$ で非線形量子化し, 位相ビット数を $N_p=5$ としたときに最高画質 PSNR=42[dB] が得られている.

そこで, この 8 ビット/サンプル点のコード化光波 ($N_t=8, N_a=3$ 非線形, $N_p=5$), および原光波分布を用いて実際に CGH を作製し比較した. 作製した CGH のパラメータを Table 2 に, これらの CGH から得られた光学再生像を Fig.6 に示す. 8 ビットでコード化した場合の再生像(B)は原光波を用いた場合(A)に比べてほとんど劣化が感じられない結果となった.

4. まとめ

光波分布を 1 サンプル点 4, 6, 8, 16 ビットでコード化し, その再生像を評価した. 8 ビット/サンプル点でコード化して実際に CGH を作製し, 光学再生像を確認したところ原光波(64 ビット/サンプル点)とそん色のない再生像が得られた.

5. 謝辞

本研究は, JSPS 科研費 15K00512, および文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成 25 年~平成 29 年)の助成を受けたものである.

6. 参考文献

- [1] 園部徳晃, 土山泰裕, 松島恭治: Optics & Photonics Japan 2016, 1pP26 (2016).
- [2] 増地, 松島, 棟安: 3次元画像コンファレンス 2017, P-2(2017).
- [3] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, Opt. Express **25**, 2016-2030 (2017).
- [4] S. P. Lloyd, IEEE Transactions on Information Theory, **IT-28**, 129-137 (1982).
- [5] 村上和也, 松島恭治: 映像情報メディア学会誌 **65**, 1793-1800 (2011).

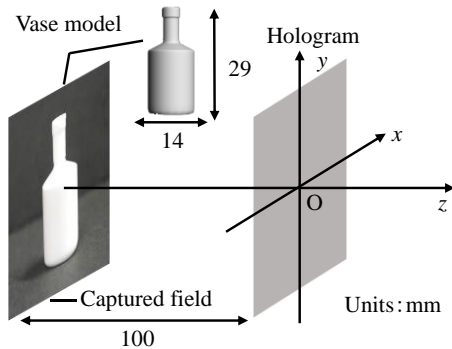
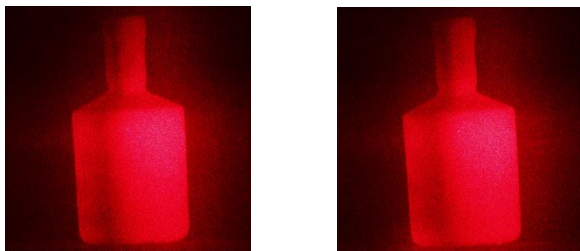


Fig. 2 Geometry used for generating CGHs.



(A) Original wave-field (B) Coded wave-field ($N_a = 3, N_p = 5$)

Fig.6 Optical reconstruction of the created CGH.

Table 1 Parameters of the object field.

Number of samples	32,768 × 32,768
Sampling interval	1.0 μm × 1.0 μm
Wavelength	632.8 nm

Table 2 Parameters used for creating CGHs

Number of pixels	32,768 × 32,768
Pixel pitches	1.0 μm × 1.0 μm
Size of a CGH	32.7 mm × 32.7 mm
Wavelength	632.8 nm

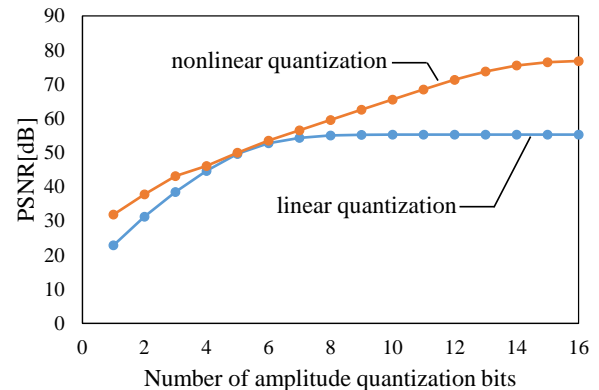


Fig.3 PSNR vs. amplitude quantization bits.

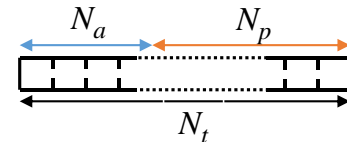


Fig.4 Coding of a complex amplitude.

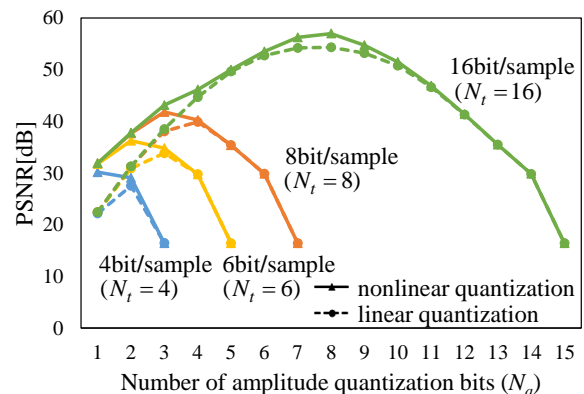


Fig.5 PSNR for various coding.