

CDドライブを用いたフレネルホログラムの描画法の開発

奈良工業高等専門学校 電子制御工学科 ○武田真明 ◎西田茂生

要旨

現在フレネルホログラムを作製するためにはリソグラフィ法やEB露光法などがある。しかし、これらの方法は高価で、時間がかかるなどの問題がある。本研究では安価かつ短時間でホログラムを作製するために微小なピットを打ち込むことが可能なCDに計算機合成フレネルホログラムの位相分布データを音楽データとして書き込む方法を提案する。実験によりピットの幅を変化させることで干渉縞が変化することを確認した。

1. 緒言

近年、3次元空間を再現する技術である仮想現実（VR）や複合現実（MR）などが流行の兆しを見せている。それに伴い、3次元空間を再現するディスプレイなどの動画再生機器が自動車、ゲーム、医療、映画業界など様々な市場に多く出てきている。3D再生技術の一つにホログラフィがある。ホログラフィは実際に存在する物体と同様の見え方を実現することができるため、現在普及しつつある錯覚を利用した3D再生技術と比較すると目と脳への影響が少ないことが特徴である。しかし、現在のホログラムの技術に使用されている機器の多くは研究目的であり、高価である。そのため、日常生活への応用は進んでいない。そこで、本研究では安価で、手軽に誰もがホログラフィの技術に触れられるようにすることを目的とした。これを実現するためには、身近にあるもので細かな凹凸や格子を持ち、それらを自在に変化させることができるものが必要である。そこで、既に世界中で普及しているCDに着目した。CDのデータ書き込み面には細かなピットと呼ばれる凹凸がある。CDに音楽データやファイルのデータが書き込まれる際はCDドライブ内の波長650nmのレーザによるレーザ光線を強く照射することでCD表面の素材を高温にし、相変化させることでピットを作り出して、データの読み取りを行う際は書き込むときよりも弱いレーザ光線を照射し、反射光の変化を読み取ることでピットの状態を読み取っている。このことから、CDのピットをCDドライブ内のレーザを制御することで自在に変化させることができる。しかし、レーザを直接制御するためのプログラムを作成するには高度な技術と知識が必要であり、難しい。そこで、音楽CDを作成する際に使用する音楽再生ソフトのCD作製機能をする。この方法を用いると、CDに書き込まれる音楽ファイルのデータを変化させることでレーザの制御を行えるため、非常に簡単である。また、これまでも特別なCDドライブ¹⁾を用いたホログラムの作製はあったが、パーソナルコンピュータに内蔵もしくは付属しているCDドライブを用いてホログラムをCDに書き込むことができるようにすると、家庭でも手軽にホログラムを作成することが可能になる。

2. 原理

本研究では、ホログラムの位相分布データをwavファイル化し、CDに書き込む。データを書き込む際にはWindows media player（以下WMP）のCD作製機能を用いる。これにより、高度なレーザの制御プログラムを作成する必要がなくなる。音楽データのファイル形式にはMP3やAAC、wavファイルなどがある。本研究ではwavファイルを用いる。wavファイルは音を量子化し、バイナリ化したものであるから構造が簡単であるため処理を行いやすい。wavファイル化されたデータはWMPによってEFM変換されCDに書き込まれる。EFM変換は8ビット単位のwavファイルのデータを14ビット単位のデータに変換することである。そうすることにより、音楽CDを再生する際に読み取りのミスな

どを軽減できるような仕組みになっている。書き込む際にはEFM変換後のデータの値が1であればレーザの当て方を変化させ、0であればレーザの当て方は変化させないような仕組みになっている。CDの表面上にはFig.1に示すような長さ0.87~3.18 μm 、幅0.5 μm の細かなピットと呼ばれる凹凸が存在する。ピットの大きさは現在ホログラフィ技術で用いられることが多いSLM（空間位相変調器）が35 μm ほどであることからホログラムを作成するには十分な細かさであるといえる。このピットを利用することで光の位相を変調させホログラムの位相データを書き込むことができると考えた。

3. プログラムのアルゴリズム

本研究ではSLM用のホログラムの位相分布データを音楽データに変換するプログラムを作成することが主である。このプログラムは大きく極座標変換、逆EFM変換、オーディオファイル化する処理で構成される。

(1) 極座標変換プログラム

CDにデータを書き込む際にはFig.2の左図のように中心から外側に向かって渦巻き状にデータが書き込まれている。しかし、CDのトラック間距離は1.6 μm であり、非常に小さいので本研究ではFig.2の右図のように複数の円で近似している。近似することで極座標変換の際の数式が簡略化でき、処理速度が速くなる。

また、CDでは、半径が大きくなってもピットの大きさは変化することはない。したがって半径が大きくなればなるほど円周

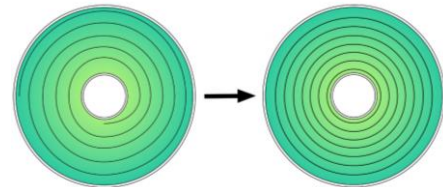


Fig.2 提案した手法

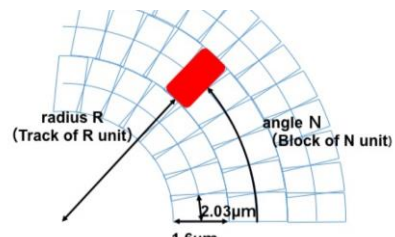


Fig.3 ピットの並びの概略図

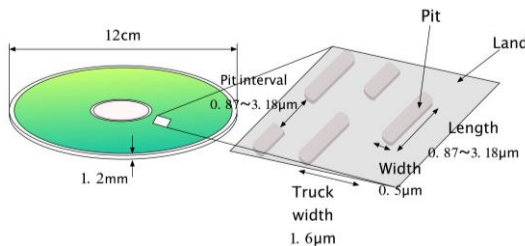


Fig.1 CDの表面

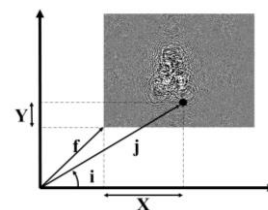


Fig.4 CD用の極座標変換

上に書き込むことのできるピットの数は多くなる。このことから、通常の極座標変換を用いることができないため、CD用の極座標変換の数式を導出した。Fig. 4のようにCDの回転中心からデータを書き始めまでの距離を f 、あるデータを書き込む位置までの距離を j トラック番号、角度方向へ i 番目のピットとすると、ある点に書き込むべきデータは位相分布データの (X, Y) 地点のデータである。

本研究で用いる位相分布データの画像は汎用 SLM に用いられる幅 800[pixel]、高さ 600[pixel] である。この画像を CD 上にできるだけ多く書き込むためには角度が次式の範囲となる。

$$\tan^{-1} \frac{600}{\frac{\sqrt{2}}{2} f} \text{ [rad]} \quad (1)$$

半径方向に j トラック番目の円周に書き込まれるピットの数は、次式となる。

$$\frac{j \times \tan^{-1} \frac{600}{\frac{\sqrt{2}}{2} f}}{2.03} \quad (2)$$

円周方向に i 番目のピットにおける角度は、次式となる。

$$\frac{i \times 2.03}{j \times \tan^{-1} \frac{600}{\frac{\sqrt{2}}{2} f}} \times \tan^{-1} \frac{600}{\frac{\sqrt{2}}{2} f} = \frac{2.03 \times i}{j} \quad (3)$$

以上のことから半径方向に j トラック番号、円周方向に i 番目のピットに書き込まれる画像のデータ座標は次式で得られる。

$$X = j \times \cos \frac{2.03 \times i}{j} \quad (4)$$

$$Y = j \times \sin \frac{2.03 \times i}{j} \quad (5)$$

(2) 逆 EFM 変換

CD にデータが書き込まれる際は EFM 変換後のデータが書き込まれるため、あらかじめ位相分布データを逆 EFM 変換する必要がある。しかし、EFM 変換は CD からデータを読み取る際にミスが起きないための処理であり、変換後のデータにおいて同じデータが最低で 3 つ、最高で 9 つ連なるようになっていく。この制限の影響で完全に位相分布データを再現することはできない。本研究ではできる限り正しい位相分布データを再現するために、Fig. 5 に示すようにデータ 1 つが 7 つのピットに相当するように変換している。Fig. 5 の上の図は EFM 変換前の位相分布データ、中央の図はデータ 1 つが 1 つのピットに相当するようにしている場合のピットの凹凸の断面図である。下の図は新たに考案した近似の場合であり、中央の図と比較するとより上の図の形状に近いものになっている。

また、通常の場合 EFM 変換の際に EFM 変換表に従い、256 のピットのパターンが用意されているが、データ 1 つが 7 つのピットに相当するように変換しているため、Fig. 6 の右図に示す 4 つのパターンを用意した。これにより、処理にかかる時間を短縮することができた。

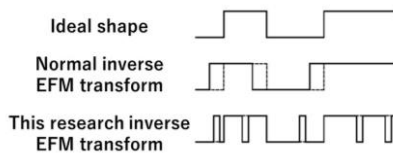


Fig. 5 逆 EFM 変換

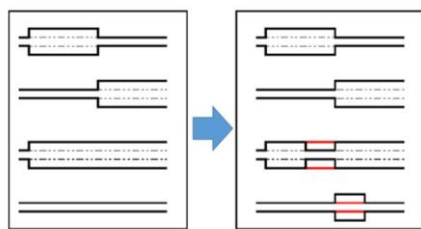


Fig. 6 選択した 4 つのパターン

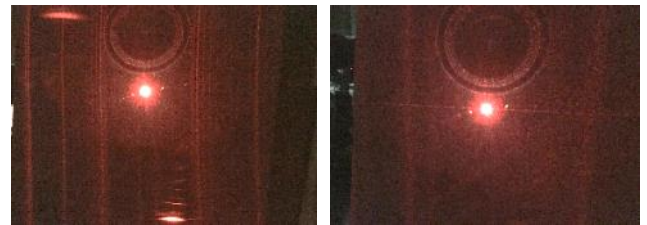
(3) wav ファイル化プログラム

wav ファイルはヘッダ部とデータ部に分けられる。ヘッダファイル部には wav ファイルの再生時間や音質、音楽ファイルの種類などの音楽ファイルの情報を書き込み、データ部には逆 EFM 変換後のデータを書き込む。本研究では位相分布データの画像ファイルが非常に小さいため、15 分間の wav ファイルで充分であったため、ヘッダファイルには 15 分間の wav ファイルであることを記述している。wav ファイル化したファイルは WMP の音楽 CD 作製機能を利用して CD に書き込む。

4. プログラムの検証実験結果と考察

作成したプログラムを検証するために、実際に CD を作製した。作製した CD のデータ記録面に波長 632.8nm のレーザを照射し、反射光から得られる像を観察した。しかし、像を観察しても想定していたものを得ることはできなかった。確認のために入力画像を位相分布データと何も描かれていない白色画像にした場合と比較した。その結果、Fig. 7 のように後者の方は干渉縞が現れたが、前者の方は干渉縞が現れなかった。後者の方において干渉縞が現れた原因は何も描かれていない白色画像においても EFM 変換の影響で小さなピットが書き込まれているためである。以上のことから入力画像を変化させることで CD のピットを変化させることができていることが確認できた。

しかし、想定していた像を得ることはできなかった。原因として考えられることは、CD の描き始める位置やピットの大きさなどの CD のパラメータの値の間違い、または逆 EFM 変換の際の誤差の近似による影響など複数あげられる。中でも、逆 EFM 変換の際の近似による影響が大きいと考えられる。Fig. 7 の左図に示すように入力画像として何も描かれていない白色画像を用いた場合、円周方向の干渉縞がはっきりと現れた。入力画像通りにピットが打ち込まれていた場合だと干渉縞は出ないはずである。このような干渉縞はピットが一定の間隔で書き込まれている際に現れるもので、EFM 変換の制限の影響であることは明らかである。この問題に対する対策法は、本研究で使用した位相分布データは空間位相変調器 (SLM) 用のものであったため、CD 用の位相分布データを作成する方法である。位相分布データを作成する際にすでに逆 EFM 変換の際に出る誤差を考えたうえでの設計をすることで誤差をさらに減らせる可能性がある。



(a) 白色画像の場合 (b) 位相分布データの場合

Fig. 7 干渉縞

5. 結言

本研究ではホログラムの位相分布データを極座標変換、逆 EFM 変換、wav 化変換し、wav 化した位相分布データを WMP の CD 作製機能を用いて書き込む手法を提案した。実際に、極座標変換、逆 EFM 変換、wav 化変換のプログラムを作成した。このプログラムを用いて CD を作製した。その結果、入力画像によって干渉縞を変化させることができた。

しかし、想定していた像を得ることはできなかった。対策として位相分布データを作成する際にすでに逆 EFM 変換の際に出る誤差を考えたうえでの設計をすることで、誤差をさらに減らせる可能性がある。

参考文献

- 1) 坂本, 森島, 臼井: “計算機合成ホログラムを用いた CD-R による立体像表示”, 映像情報メディア雑誌 Vol. 58, No. 4 (2004), pp549-554, 2004.