

円筒波光源計算機ホログラムによる CT 画像の立体表示 Holographic Visualization for CT image using cylindrical wave front

○田村 政裕*, 大坊 真洋*, 田山 典男*

○Masahiro Tamura*, Masahiro Daibo*, Norio Tayama*

*岩手大学工学部

*Faculty of Engineering Iwate University

キーワード : 円筒波 (cylindrical wave front), 畳込み積分 (convolution), フィルター化逆投影法 (Filtered Back Projection), ホログラフィ (holography)

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 真洋,
Tel. : (019)621-6983, Fax. : (019)621-6983, E-mail : daibo@iwate-u.ac.jp

1. はじめに

X 線 CT 装置は, 医療診断, 工業製品の非破壊検査に使われている. X 線 CT 画像を立体的に再生する手段として, 現在はコンピュータグラフィクス (CG) によってモニタ上に表示されるのが一般的である. しかし CG は視差効果がなく, 心理的に立体を感じるものであり, 生理的な立体感が得られない. 一方ホログラムならば同時に多方向からの立体画像を再生することができる. ホログラムは実際の物体と同じ波面を再現することができるので自然に立体を表示することが出来る.

ホログラムを作成する方法として計算機ホログラフィ (CGH) がある. CGH は実際の光の干渉現象を利用して作成するのではな

く, 計算で求めることができる. しかし X 線 CT 画像を再生するためには, 膨大な CT の計算と CGH を処理しなければならない. そこで本論文では, X 線 CT から得られたデータを CGH に変換するために, CT の X 線投影線に対応した直線状の円筒波線光源から直接的にホログラムを生成し, CT 画像を立体表示する方法について述べる.

2. 原理

ホログラムは物体から放射される物体光と参照光との干渉縞を記録するものである. 計算機ホログラムは, ホログラムを実際の光の干渉現象を利用して作成するのではなく, 計算によって求める. この計算機ホログラムを CT と組み合わせ, 3 次元 CT の結果を空間

に立体表示することを試みる．CT スキャンされた投影データをホログラムに変換する方法として，物体の個々の点から放射される点光源からの変換があるが，本報告ではCT スキャンするX線経路に沿って放射される線光源からのホログラムへの変換方法について述べる．線光源からホログラムの計算が変換することにより，ホログラムの計算が簡単になり，従来よりも短時間で生成できると考えられる．それは直線状に均一に光る光源を仮定し，それを投影データの値に対応する強度で発光させ，参照光と干渉させてホログラム面に記録する．それによって従来必要であった投影データから仮想物体を生成する過程が不必要となる．

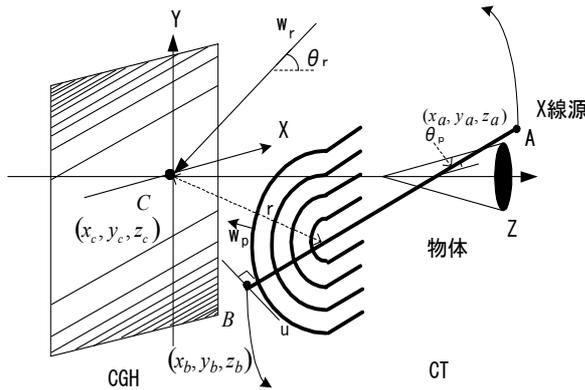


図1 CT と CGH のモデル

CT のアルゴリズムとして FBP (Filtered Back Projection) を採用する．FBP は，X 線 CT によって得られた投影データ p に再構成関数 $H(t)$ とをコンボリューションし逆投影する方法である．図1において，点AはX線光源，点BはX線ディテクターの位置である．ABは投影の際にx軸を中心に角度 θ_p だけ回転しておりC点のz座標は0とする．ABに沿ってX線投影した投影値を $P(\theta_p, t)$ とする

と再構成関数 $H(t)$ とのコンボリューション $q(u, \theta_p)$ は式(1)で表される．

$$q(u, \theta_p) = \int_{-\infty}^{\infty} H_\varepsilon(u-t)p(\theta_p, t)dt \quad (1)$$

そして $q(u, \theta_p)$ の振幅でX線経路に軸を有する円筒波 W_p と，axisした平面波の参照光 W_r (2)をホログラム面で干渉させる．ここで k は波数である． A_r は参照光の振幅で ϕ_0 は初期位相である．

$$W_p(u, \theta_p, r) = \frac{q(u, \theta_p)}{\sqrt{r}} \exp\{i(kr + \phi_0)\} \quad (2)$$

$$W_r(\theta_r, y_c) = A_r \exp(iky_c) \quad (3)$$

ホログラム $h(x_c, y_c)$ は振幅の2乗の絶対値を記録する．その成分の中の直流成分を除去し有効成分の $\Re(W_p W_r^*)$ を記録する．ここで \Re は実数部を意味する．

$$h(x_c, y_c) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \Re(W_p W_r^*) d\theta_p \quad (4)$$

そしてX線の投影経路とホログラムの位置関係を決めておくことにより式(5)のホログラムの位相 Ψ はあらかじめ計算することが可能である．

$$h(u, \theta_p) = \frac{A_r}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{q(u, \theta_p)}{\sqrt{r}} \cos\left\{\frac{2\pi}{\lambda}(r - y_c \sin\theta_r) + \phi_0\right\} d\theta_p \quad (5)$$

ホログラムの濃度は投影値 $P(\theta_p, t)$ と再構成関数 $H(t)$ とコンボリューションした $q(u, \theta_p)$ と Ψ を掛け算してそれらの総和によって得られる．それが式(6)である．

$$h(k) \approx \sum_{j=1}^N \Psi_j(H \otimes p(j)) \quad (6)$$

使用した再構成関数は式(7)で表され，この関数の形を図2に示す．

$$H(t\Delta u) = \frac{2}{\pi^2(\Delta u)^2(1-4n^2)} \quad (7)$$

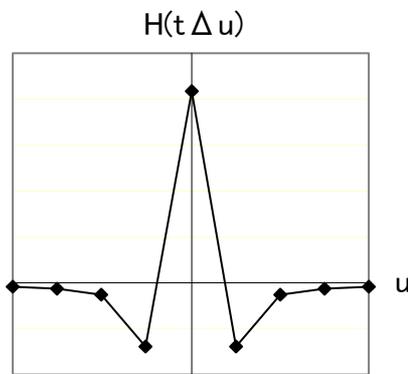


図 2 再構成関数

3. 結果

コンボリューションにより得られた値を振幅とする、X線投影経路を軸とした円筒波光源から発生する円筒波と、参照光をホログラム面で干渉させ、記録していく。始めにCTの部分シュミレーションした。小円の画像をCTスキャンし逆投影した結果を図3に示す。図3の左上の原画像を、様々な角度から投影した投影データと再構成関数とコンボリューションし、逆投影した様子を示す。左下が9方向、右下が180方向から逆投影した画像である。投影方向数を増加するほど、再構成された画像の再現性が向上する。シュミレーション実験に用いた原画像(barbara, 128×128画素)を図4に示す。これを256画素の幅で、刻み角度1度で180方向から投影し、投影データを得た。投影データにFBP法によるCTを施し、再構成した画像を図5に示す。図5は比較用として示しており、実際にはこの過程は不要である。投影データに再構成関数を畳込み積分し、その線群を物体光源として、平面波の参照光と干渉させたホログラムを生成した。線群を構

成している各々の線から発せられる物体光は円筒波である。そして、ホログラムを再生した時の再生像をシュミレーションした結果が図6である。画像の所々にボケが生じており現時点では再現性は十分でない。

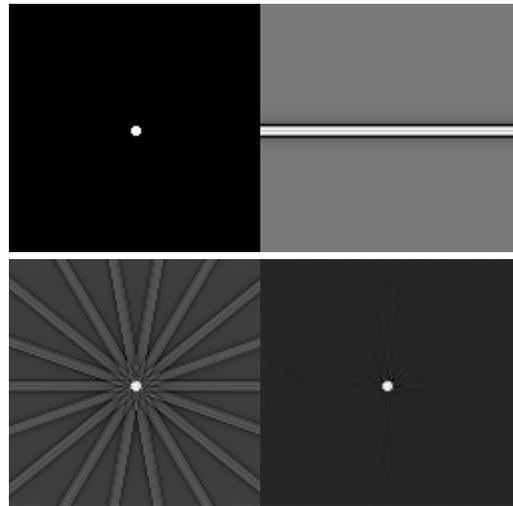


図 3 CTによる小円の再構成



図 4 原画像(Barbara 128×128)



図5 FBP法によるCTの再構成画像



図6 投影データからホログラムに変換し、そのホログラムを数値計算で再生した画像

4. 考察

図6に現れているボケは物体光の初期位相をすべて0としているため、次で位相が合う場所が周期的に発生しコントラストの劣化を引き起こしていると思われる。一つの直線をコンボリューションしたデータからホログラムを生成

し再生した結果を図7に示す。方まで周期的な濃度値の振動が続いている様子がわかる。これを改善するため考えられる方法としては、物体光の初期位相をそれぞれ違う値に振り分ける方法を検討している。

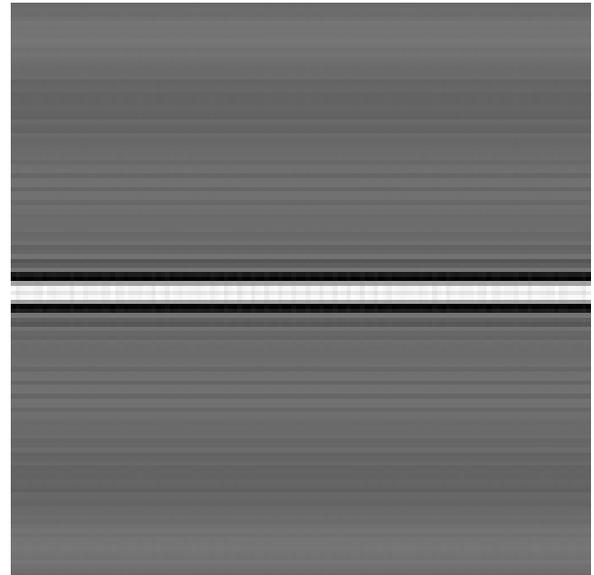


図7 遠方まで振動減衰することによるコントラストの劣化

5. むすび

物体の内部構造を空間に立体的に表出させるために、X線投影データをホログラムへ変換する方法を提案した。X線投影データは、その経路に沿って物体の濃度の積分値を反映している。通常のCTは、X線投影データを再構成関数と畳込み積分し、次に再構成面へ逆投影することによって、断面画像を得ている。この逆投影を線状光源によるホログラムに置き換えた。線状光源の位置は、X線の投影経路に対応しており、その光源の明るさを、X線投影データの畳込み積分値に比例させた。これにより、X線投影データからホログラムを効率よく生成することが可能とな

ると考えられる。今後は、再生画像のボケの原因究明と画像改善を行ない、原画像とのホログラム再生像の誤差を定量的に評価する予定である。

参考文献

- 1) M. Daibo, N. Tayama, "Visualization of x-ray computer tomography using computer generated holography," SPIE Proc, vol. 3457, pp. 134-145, 1998.
- 2) 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-II, vol. J82-D-II, no. 9, pp. 1420-1428, 1999.