

シヨートノート

CT 画像を考慮した 3 次元表示の陰影付け†

仁 木 登** 吉 村 文 夫** 高 橋 義 造**

CT 画像データ群を用いて臓器等の形状や位置関係をディスプレイ装置により 3 次元表示することは医学診断の上から非常に有用である。この 3 次元表示の目的は立体感を出すことと、人体内部等を透視する半透明表示を行うことであるが、このためには、陰影付けがとくに重要になる。従来、陰影付けの方法として、Phong モデルがよく知られているが、上記の目的に対しては十分でない。そこで、Phong モデルの光源数を複数にし、透過光成分を付加した新しい陰影付けモデルを考案し、その簡易な計算法を提案した。この方法を計算機内で発生したファントムに適用した結果、立体感と透明感にすぐれた表示を得ることができた。

1. ま え が き

断面情報を与える CT 画像データ群を用いて臓器等の形状や位置関係を明確にする 3 次元表示は医学診断において有用であり、各種の方法が研究されているが^{1)~4)}、まだ実用にいたっていない。われわれは濃淡表示のディスプレイ装置を用いて CT 画像の 3 次元表示を行う方法を研究中である。この 3 次元表示を実行するには境界抽出、境界面の表現法、隠面除去、陰影付け等の一連の処理過程が必要であるが、われわれはまず、立体感のすぐれた表示、人体内部等を透視するときに必要とされる半透明表示を実現するための陰影付けの手法を研究した。従来、陰影付けモデルとして Phong モデル⁵⁾がよく知られているが、上記の目的に対しては十分でない。そこで、Phong モデルを改良した新しい陰影付けモデルを考案した。この方法の特徴は Phong モデルの光源数を複数にし、透過光成分を付加したことである。また、これを計算するための簡便な計算法を求めた。本モデルの有効性を検証するため、計算機内で発生したファントムの 3 次元表示を行った結果、立体感がすぐれ、良質な半透明表示が可能で、この半透明表示を用いて内部構造も同時に表示できることが確認された。

2. Phong の陰影付けモデルとその改良

Phong の陰影付けモデルでは輝度 S_p は次式で与え

られる。

$$S_p = d + C \cos i + W_{(i)} \cos^n S \quad (1)$$

i : 入射光と接線方向との間の角度

S : 反射光と視線方向との間の角度 (図 1)

第 1 項は乱反射成分、第 2 項は cosine law 成分、第 3 項の $W_{(i)}$ と n は材質に関する項目である。式 (1) は全反射型の陰影付けモデルである。なお、半透明表示を行うのに物体の手前面の S_p と後面の S_p の線形和を用いているが、これでは、透過光成分を考えていないので実効的でない。そこで次の二つの改良を行った。

(i) 光源数の複数化

光源が 1 方向のみの場合、光線が物体によってさえぎられたりするので、物体の形状を十分に示しにくい。そこで、光を二、三方向から同時に照射して陰影を付けると表示する物体の形状が鮮明になり、立体感のすぐれた表示を得ることができる。このとき、光源の照射方向が問題となるが、一つの効果的な方法は光源を視線の反対側に置くことである。これにより、表示する物体の輪郭と背景が鮮明に区別され、物体の影の部分が強調される。その結果、奥行感が生じることになる。この方法は背景の輝度をかえるだけでよく、とくに演算を必要としないので有効である。

(ii) 透過光成分の付加

半透明物体としたとき透過光成分を考えなければならぬ。入射光 I 、反射光 I_r および透過光 I_t の関係を図 1 に示す。入射光と反射光の強度比を反射率 R とし、入射光と屈折光の強度比を透過率 T とすると、 $R + T = 1$ となる。

入射光と透過光 I_t の関係は次式となる。

† Illumination for Shaded Display of 3 Dimensional CT Images by NOBORU NIKI, FUMIO YOSHIMURA and YOSHIZO TAKAHASHI (Faculty of Engineering, University of Tokushima).

** 徳島大学工学部情報工学科

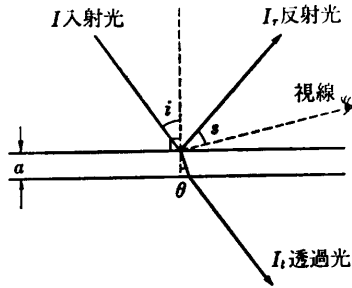


図 1 光の反射と屈折

Fig. 1 Reflection and refraction of light.

$$I_t = I \cdot T^2 \cdot F \quad (2)$$

ここに、 F は物体の吸収による光の減衰率を示す。単位距離当りの光の減衰率を K とし、指数関数的法則に従って減衰すると F と K の関係は次式となる。

$$F = K^{a/\cos\theta} \quad (3)$$

すると、陰影付けモデルは次式で表される。

$$S_m = d + \sum_{j=1}^M C_j \cos i_j + \sum_{j=1}^M W(i_j) \cos^2 S_j + S_t \quad (4)$$

半透明表示をしないときには第 4 項は不要である。透過光成分は $S_t = I_t$ の関係となる。

半透明表示する物体はシャボン玉のような均一の薄い膜で構成されていると考える。また、光学的には物体による光の屈折を考慮しなければならないが、半透明物体とその内部物体の位置関係を表示するというわれわれの目的に対しては、内部物体の形状が歪んだり、位置関係がずれるような屈折現象は無視するほうがよい。

視覚にはいる全透過光を厳密に計算せずに、近似的に求めるため、視線の反対側に仮想的な光源を置き、物体を透過してくる光量を式(2)によって計算する方法を採る。この方法は、光の反射と屈折をシミュレートし光線を 1 本 1 本追跡して計算する膨大な計算量を必要とせず効果的である。半透明表示を用いて内部構造を表示するとき、透過光が内部物体により遮断されることがある。この場合は、遮断物体の反射光を光源として透過してくる光量を計算するようにする。以上が新しい陰影付けモデルによる 3 次元表示の方法である。

3. ファントムの表示

陰影付けモデルの有効性を示すために、計算機内で発生したファントム(球、円錐、6 面体)の 3 次元表示

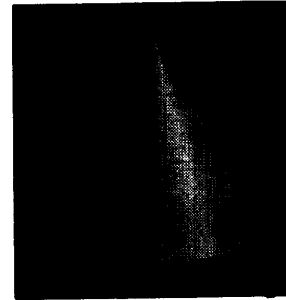
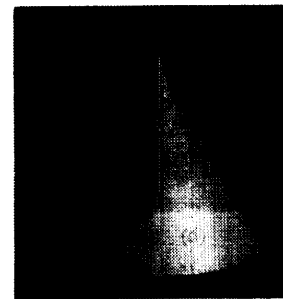
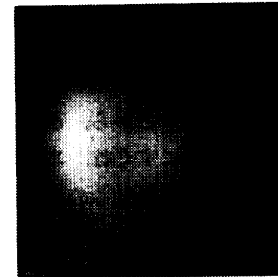


図 2 Phong モデルによる円錐の表示

Fig. 2 Result using Phong's model.



(a) cone

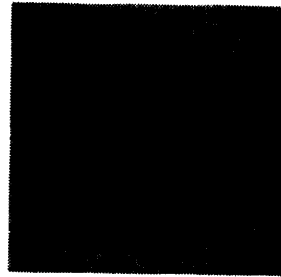


(b) sphere

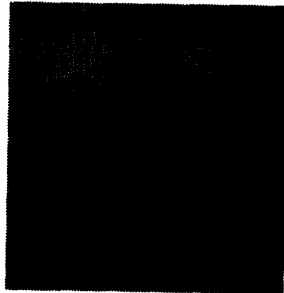
図 3 提案したモデルによる円錐、球の表示

Fig. 3 Results using proposed model.

を行った。表示には 320×320 の画像マトリクス、濃淡レベル 256 段階のディスプレイ装置を用いた。まず、従来の Phong モデルによる円錐の表示例を図 2 に示す。図 3 は提案した方法による円錐、球の表示例である。図 3 の (a) は図 2 の背景値を変えた例であり、簡単な操作により立体感が得られることがわかる。図 3 の (b) は背景値を変えて、光を 2 方向とした表示例であり、さらに立体感がよくなる。次に、この方法による 6 面体、円錐についての半透明表示の例を図 4 に示す。各例において、透明感と立体感がでていることが確認される。また、この半透明表示を用いた内部物体の表示例を図 5 に示す。これは、6 面体を半透明表示し、その内部に球を表示した例である。この結



(a) cube



(b) cone

図 4 提案したモデルによる透明感のある 6 面体、円錐の表示

Fig. 4 Results using proposed model with transparency.

果、外面物体とその内部物体の形状および位置関係が正確に認識でき、以上のことから、改良した陰影付けモデルが立体感・透明感にすぐれ、半透明表示が内部物体の形状および位置関係を知るのに有効なことが示された。

4. あとがき

ここでは、立体感のすぐれた表示、人体内部等を透視するとき使用する半透明表示のために、Phongモデルを改良し、光源数を複数にし、透過光成分を付加した。計算機内で発生したファントムに適用した結果、立体感と透明感にすぐれた表示を得た。今後、この陰影付けモデルを用いて実際の CT 画像による肝臓等の臓器の 3 次元表示を試みる予定である。

謝辞 日頃、ご指導いただく、東芝総合研究所井上多門氏、東芝那須工場 CT 技術部山岸義雄部長、朝比奈清敬課長に謝意を表す。

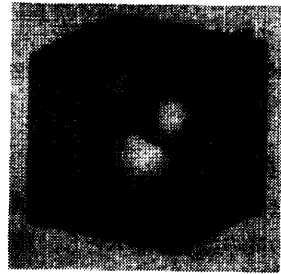
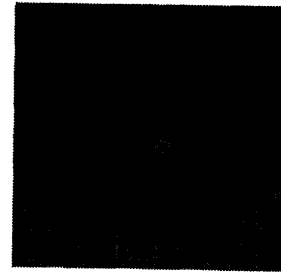


図 5 提案したモデルによる透明な 6 面体とその中の球の表示

Fig. 5 Results of putting spheres into transparent cube using proposed model.

参考文献

- 1) Herman, G. T. and Liu, H. K.: Three-Dimensional Display of Human Organs from Computer Tomogram, *Comput. Gr. Image Process.*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-21 (1979).
- 2) 湊, 前川, 向井, 米倉, 山本, 石井, 桑原, 鳥塚: ECT イメージの立体表示, 日本 ME 学会誌, Vol. 20, No. 2, pp. 109-112 (1982).
- 3) 萬, 横井, 鶴岡, 三宅: 円柱座標系データ構造による頭部 CT 像の 3 次元表示, 情報処理, Vol. 23, No. 5, pp. 516-521 (1982).
- 4) 横井, 鳥脇, 福村: X線 CT 像の 3 次元表示に関するサーベイ, 情報処理学会コンピュータビジョン研資, 18-5 (1982).
- 5) Bui-Tuong, P.: Illumination for Computer Generated Pictures, *Comm. ACM*, Vol. 18, No. 6, pp. 311-317 (1975).
- 6) Whitted, T.: An Improved Illumination Model for Shaded Display, *Comm. ACM*, Vol. 23, No. 6, pp. 343-349 (1980).

(昭和 58 年 4 月 25 日受付)

(昭和 58 年 7 月 19 日採録)