

(d) 情報

画像レジストレーションを用いた樹木を含む地表形状に関する研究

Study of recovering three dimensional shape of the field have timber using image registration technique

安仲 啓輔[†] 玉木 徹[†] 金田 和文[†]Keisuke Yasunaka[†] Toru Tamaki[†] Kazufumi Kaneda[†][†] 広島大学大学院 工学研究科 情報工学専攻[†]Dept. of Information Engineering, Hiroshima University

1 背景

現在，世界中には 7000 万個の地雷が埋設されており，埋設国では大きな問題となっている．地雷による被害を減少させるため地雷除去作業が行われているが，地雷原に進入するにあたり地図は必要不可欠であり，またその地図から起伏や土地利用状況が認識できることは，地雷除去作業を効率化においてとても有効である．そこで本研究では，視覚的に認識しやすい立体的な地図の作成を目的とする．

次に予想される地図作成システムについて説明する．まず，デジタルカメラや 3 次元デジタイザなどの機器を搭載した小型ヘリコプターで地雷原上空を飛行し，それぞれ地雷原の画像とおおまかな 3 次元形状を取得する．そして，取得した画像から 3 次元形状を復元し，最終的に復元した 3 次元形状と 3 次元デジタイザのデータの位置合わせを行い，3 次元地図を作成する．2 つの 3 次元データの位置合わせを行う理由は，画像の解像度に比べて 3 次元デジタイザの解像度が低く，3 次元デジタイザのデータを画像から復元した 3 次元形状で補い，3 次元地図の作成を行うためである．

屋外環境 3 次元形状復元手法の関連研究として，北市ら [1] は大学キャンパスの形状復元を行っている．文献 [1] では，地上よりレンジファインダを用いて 3 次元形状を取得している．しかし，本研究では復元対象が地雷原であるため，進入し地上にレンジファインダを設置することは非常に困難である．この問題に対しては，小型ヘリコプターを用いることで解決する．

また，さらなる問題点として，本研究の復元対象は樹木を含むため，画像からの特徴点の抽出が非常に困難であることが挙げられる．それゆえ，本研究では特徴点を必要としない画像レジストレーション [2] を用いる．画像レジストレーションについては次節で述べる．

1.1 画像レジストレーション

画像レジストレーションは異なる方向からの 2 枚の画像に対して，式 (1) を最小化するパラメータを最適化法を用いて推定し，更新することで位置合わせを行い，最終的に運動パラメータ，形状パラメータを求める手法である [2]．

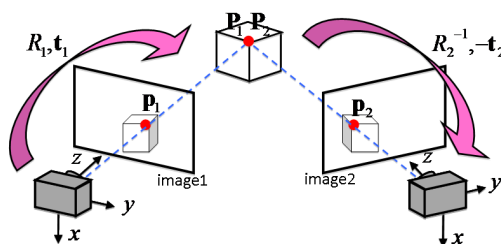


図 1: 画像レジストレーション

$$\sum_{i=1}^N |I_1(p_{1i}) - I_2(p_2(p_{1i}, R_1, t_1, R_2, t_2, B))|^2 \quad (1)$$

ここで， $I_1(p_{1i})$ は画像 I_1 の点 p_{1i} における輝度値， $I_2(p_2)$ は画像 I_2 の点 p_2 における輝度値であり， R_1 と R_2 は回転行列， t_1 と t_2 は並進ベクトルである．この回転行列と並進ベクトルを運動パラメータと呼ぶ．また， B は形状パラメータであり，パラメータを動かすことで形状を変化させる．例えば，楕円体であればパラメータは 3 つの軸長であり， B スプライン曲面では格子状に設置された制御ネットの制御点である．推定する形状によって，パラメータを設計する必要がある．

1.2 実験

運動パラメータ推定にあたり，以下の手順で実装実験を行った．

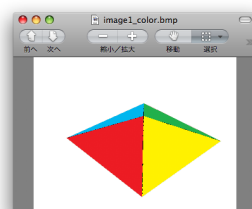


図 2: image1

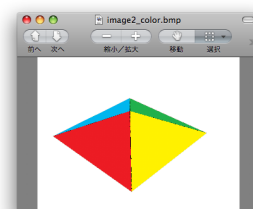


図 3: image2

まず，OpenGL を用いて CG オブジェクトを作成し，対象を異なる 2 方向から眺めた CG 画像を生成する．

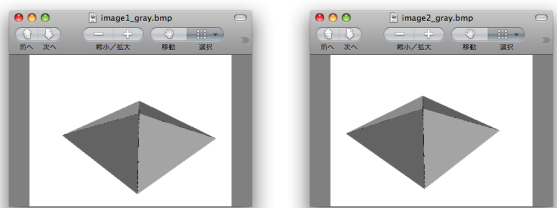


図 4: image1 輝度画像 図 5: image2 輝度画像

次に, gauss-newton 法により, 各運動パラメータを推定, 更新し, そのときの輝度値の差の和を求める. その後, 更新したパラメータから新たな視点からの画像を生成する. この作業を繰り返し, 輝度値の差が設定した閾値を下回ったとき最適であると判断し, そのときの運動パラメータを推定値として採用する.

今回は, CG オブジェクトとして面によって色が異なる四角錐をモデリングし, 2 方向から眺めた CG 画像を作成した. 作成した CG 画像を図 2, 図 3 に示す. また, 実験時に使用した輝度画像を図 4, 図 5 に示す. 画像の大きさは 320×240 であり, 背景は白色である. このときのそれぞれの画像における運動パラメータの値は表 1 のようになっており, 各パラメータの初期値は CG を作る際に与えたパラメータ (真値) に ± 1.00 の範囲で一様乱数を加えたものとした. 以上の条件で異なる初期値の下, 推定を 10 回試行を行った. 次節で実験結果を示す.

表 1: 真値と乱数の最大値

パラメータ	真値	乱数の最大値
R_{1X}	325.00	± 1.00
R_{1Y}	47.00	± 1.00
R_{1Z}	0.00	± 1.00
t_{1X}	30.00	± 1.00
t_{1Y}	30.00	± 1.00
t_{1Z}	30.00	± 1.00
R_{2X}	326.00	± 1.00
R_{2Y}	43.00	± 1.00
R_{2Z}	0.00	± 1.00
t_{2X}	30.00	± 1.00
t_{2Y}	30.00	± 1.00
t_{2Z}	30.00	± 1.00

1.3 実験結果

実験の結果, 推定が成功し推定値が収束したのは 10 回中 8 回であった. 収束した 8 回の推定について, 推定値平均と誤差平均を表 2 に示す. 多くのパラメータは初期値から真値へ近づいているが, パラメータ R_{1X} の誤差平均が初期値で与えた ± 1.00 よりも大きくなっており, うまく推定できていない.

また, 成功時のパラメータ真値から得た画像と各ステップにおける推定値から得た画像との差分画像の例

を図 6 に示す. 輝度値の差が小さいほど黒く表示される. この図からステップが進むごとに輝度差が徐々に減少し, パラメータが初期値から真値へ近づいていることがわかる.

表 2: 推定値平均と誤差平均

パラメータ	推定値平均	誤差平均
R_{1X}	324.24	1.76
R_{1Y}	46.88	0.40
R_{1Z}	-0.30	0.54
t_{1X}	30.01	0.46
t_{1Y}	30.11	0.37
t_{1Z}	30.25	0.67
R_{2X}	325.66	0.66
R_{2Y}	43.06	0.46
R_{2Z}	-0.37	0.38
t_{2X}	29.50	0.51
t_{2Y}	29.58	0.55
t_{2Z}	29.73	0.47

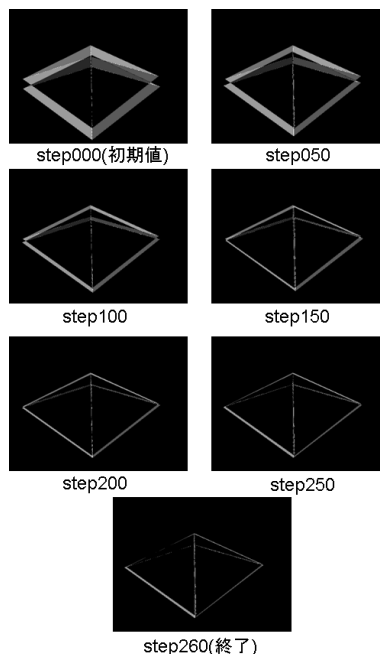


図 6: 成功時の差分画像

2 形状パラメータの設計

関連研究で提案されている楕円体や自由曲面による形状パラメータ設定では, 複雑な形状を表現することは難しい. それゆえ, 新たな形状パラメータの設計をする必要がある. 本研究では, 樹木に対して 3 次元形状を復元したいと考えている. そこで, 樹木の中でも幹や枝など, 比較的形状がはっきりしている部分に注目した. まず, 対象物体の軸を与える. 次にその軸上

の数点で円を発生させる．その円を上底面と下底面とする円錐台をつくる．この円錐台をチューブ状に繋げていくことにより，樹木の幹や枝など歪んだ軸を持った物体にたいしてもパラメータ表現できると考えた．また，隣り合う軸を同一直線上に置くことで，一部の回転体の形状もパラメータとしてカバーできる．本研究では，新たな形状パラメータとして円錐台チューブを提案し，次節で具体的に必要なパラメータについて説明する．

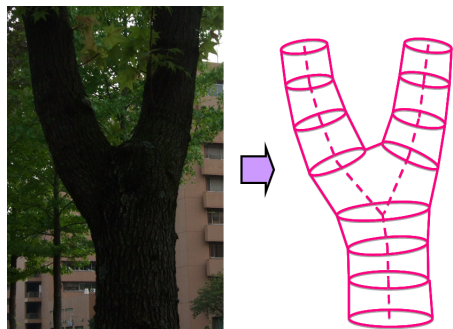


図 7: 樹木へ適用

2.1 円錐台チューブのパラメータ

実際に円錐台チューブを形状パラメータとして適用する場合，具体的にどのようなパラメータが必要になるか検討する．まず，図 8 のような底面の円の中心が原点 $(0,0,0)$ ，頂点が $(0,0,k)$ にある一般的な円錐を考える．このときの円錐側面の方程式を式 (2) に示す．

$$k^2(x^2 + y^2) = r^2(z - k)^2 \tag{2}$$

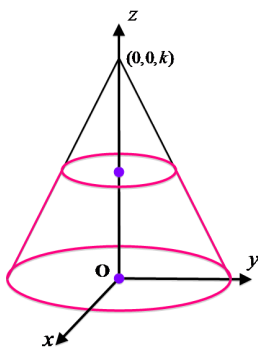


図 8: 円錐

これを踏まえて，円錐台のパラメータを設計する．図 9 のような上底面の円の中心を (x_1, y_1, z_1) ，半径を r_1 ，下底面の円の中心を (x_2, y_2, z_2) ，半径を r_2 とする

円錐台を考える．このときの円錐側面の方程式を式 (3) に示す．

$$k'^2(x'^2 + y'^2) = r_1^2(z' - k')^2 \tag{3}$$

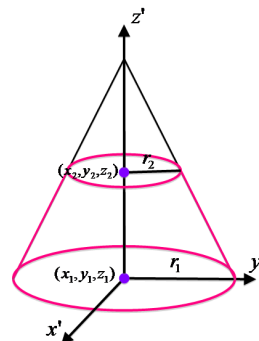


図 9: 円錐台

ここで， x', y', z' はそれぞれ円錐台の下底面の中心を原点とし， $(x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$ を z 軸とする座標系である．ワールド座標系からその座標系への回転を R で表すとすると，それぞれ x', y', z' は

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x - x_1 \\ y - y_1 \\ z - z_1 \end{bmatrix}$$

$$R = Ry(\phi)Rx(\theta)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(-\frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \right)$$

と表現される．また， k' は上底面を底面とする円錐と下底面を底面とする円錐の相似関係から

$$k' = \frac{r_1 \sqrt{((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2)}}{r_1 - r_2}$$

である．

このことから，1 つの円錐台を設定するためにはそれぞれの面での 3 次元座標と半径 4 つのパラメータが 2 組，計 8 つのパラメータが必要であることがわかる．この円錐台をチューブ状に接続していくのだが，それぞれの接続部分では円の中心の 3 次元座標と半径の長さを共有するので， n 個の円錐台の復元には $n+1$ 組の円面があればよく，合計で $4(n+1)$ 個のパラメータが必要になると考えられる．

3 今後の予定

今後は、今回提案した円錐台チューブを用いた形状パラメータを実装し、実験を行う。また、樹木などに適用した場合、枝分かれした部分についての処理について検討する。さらに、物体の軸の抽出についても調査を行う。

参考文献

- [1] 北市 泰寛, 佐藤 智和, 横矢 直和 : 「屋外環境の異種計測データを対象とした動的輪郭法による三次元モデル生成」, 計測自動制御学会 第 72 回パターン計測部会研究会, pp. 21-28, 2007.
- [2] R.Szeliski, "Image mosaicing for tele-reality applications," Technical Report CRL 94/2, Digital Equipment Corporation, Cambridge Research lab., 1994.
- [3] Toru TAMAKI, Masanobu YAMAMOTO, "Calibration Method by Image Registration with Synthetic Image of 3D Model," IEICE TRANS. INF. SYST., VOL.F86-D,NO.5, pp981-985, 2003.
- [4] 関口亮, 杉野貴彦, 玉木徹, 山本正信 : 「画像レジストレーションを用いた楕円体の形状の推定」, 第 4 回情報科学技術フォーラム (FIT2005) 一般講演論文集, I-68, pp.161-162, 2005
- [5] 杉野貴彦, 玉木徹, 山本正信 : 「非剛体レジストレーションを用いた自由曲面の追跡」, 電子情報通信学会 2005 年総合大会, 情報・システムソサイエティ大会講演論文集, p.186, 2005.