動画画像解析による都市空間データの効率的取得と 3次元モデリング手法に関する研究

Efficient Spatial Data Acquisition in Urban Area and 3D Modeling by Image Sequential Analysis

國井 洋一*
Yoichi KUNII

1. 論文要旨

国土空間情報整備の目的から、国土空間データの効率的取得手法が課題となっている。特に人口、資産が集中する都市域に対する空間データの整備は防災、環境、都市再生などにおいても重要な課題である。

現在、空間データの取得には航空写真の利用が主流であるが、最近では人工衛星画像、動画画像、スリーライン・スキャナなどの利用も注目されている。しかし、いずれの方法にしても取得した画像データから建造物などのエンティティの抽出・同定手法、さらにはエンティティに対する3次元データを取得するためのカメラキャリブレーション手法、合意形成の支援を目的とした空間データの3次元表現などの効率化が問題となっている。

従来、画像情報から空間データを取得するためには、抽出されたエンティティに対する特徴点のマッチング処理を行った後、特徴点を線分で結んでエンティティの同定を行い、さらにその特徴点に対する3次元データの算出を行っている。この方法は、基本的には手動により点から線、線から面を構成していくものであるが、上記の過程において線分抽出と線分に対するラインマッチングとを同時に行うことにより作業の自動化が図られると考えられる。

一方、同定されたエンティティに3次元データを与えることによりワイヤフレームモデルやサーフェイス

モデルとして空間データの3次元表現が可能になるが、同定されたエンティティの3次元データを画像から取得する場合にはカメラキャリブレーションを行う必要がある。しかし、カメラキャリブレーションのためにはあらかじめ地上において基準点測量が実施されておかなければならず、この地上基準点測量に多大な時間が取られているのが現状である。

以上の背景より、本研究では都市空間データの効率的取得と3Dモデリング手法の開発を目的として、市街地上空より撮影された動画画像を用いて効率的なラインマッチング手法、地上基準点を必要としないカメラキャリブレーション手法および空間データのモデリング手法について検討を行うこととする。

2. ハイビジョン動画画像

本研究で用いたハイビジョン動画画像は、朝日航洋㈱によりHDTV (High Definition Television) 方式で撮影されたものである。HDTVは1,125本の走査線を持つ映像方式であり、NTSC (525本) やPAL (625本) といった従来方式と比較して高解像度な画像を取得することが可能となる。本研究では、市街地 (神戸市) 上空を飛行したヘリコプターからHDTVカメラによって撮影されたハイビジョン動画画像を使用した。表1に使用したハイビジョン動画画像の諸元、図1に動画画像中の第1フレームを示す。

3. オプティカルフローによるラインマッ チング

本手法は動画画像中の第1、第2フレームに対して線

*東京電機大学理工学部建設環境工学科
〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 44, NO. 3, 2005

表 1 ハイビジョン動画像撮影諸元

対 象 地 域	兵庫県神戸市灘区三宮町周辺
セ ン サ	2/3 インチ 130万画素 CCD
撮 影 高 度	約300m
空間分解能	10cm
焦 点 距 離	2.8～17.6mm
画像解像度	1,920×1,080 (pixel)
フレーム数	50フレーム

分抽出を行った後にオプティカルフロー推定を行い、推定したオプティカルフローを用いて第1フレームにおいて抽出した線分の端点を移動させ、移動させた線分と第2フレームの線分との対応を類似度 (Chiba and Kanade, 1998)によりラインマッチングを行うものである。なお、線分抽出にはCannyオペレータ (Canny, 1986)を用い、オプティカルフロー推定にはLucas-Kanade法 (Lucas and Kanade, 1998)を採用した。図2に線分抽出画像、図3に推定されたオプティカルフローの画像を示す。

図 1 ハイビジョン動画像 (第1フレーム)

図 2 線分抽出画像

図3 オプティカルフロー推定

4. トリフォーカル・テンソルによるラインマッチング

ここでは上記のオプティカルフロー推定によりマッチングされた連続する3フレームにおける対応線分の各端点を用いてトリフォーカル・テンソル (Beardsley, et.al., 1998) を算出し、算出したトリフォーカル・テンソルを用いてオプティカルフローによる手法で対応が得られなかった線分に対する対応線分を算出するものである。

トリフォーカル・テンソルとは異なる視点から撮影されたトリプレット画像の幾何関係を $3 \times 3 \times 3$ のテンソルで表すものでありエビポーラ幾何に基づいた理論によって算出される。トリフォーカル・テンソル T_{ijk} を構成する27個のパラメータを $t_{111} \sim t_{333}$ 、動画像中の第1, 第2, 第3フレームにおける1組の対応点の各画像に対する画像座標を $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$ とすると、以下に示す関係式がトリプレット画像における対応点1組毎に得られる。

$$\begin{aligned}
 & -z_2 z_3 g_{22} + z_2 y_3 g_{23} + y_2 z_3 g_{32} - y_2 y_3 g_{33} = 0 \\
 & z_2 z_3 g_{21} - z_2 x_3 g_{23} - y_2 z_3 g_{31} + y_2 x_3 g_{33} = 0 \\
 & z_2 z_3 g_{12} - z_2 y_3 g_{13} - x_2 z_3 g_{32} + x_2 y_3 g_{33} = 0 \\
 & -z_2 z_3 g_{11} + z_2 x_3 g_{13} + x_2 z_3 g_{31} - x_2 x_3 g_{33} = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

ここに、

$$g_{ij} = x_1 t_{1ij} + y_1 t_{2ij} + z_1 t_{3ij}$$

すなわち、対応点1点に対し上記4個の式が得られるため、7点以上の対応点より28個以上の式を得ることにより27個のパラメータ全てを求めることが可能となる。したがって、前述のオプティカルフローを用いた手法により4本以上の線分に対するラインマッチングを行うことができれば、トリフォーカル・テンソルの算出が可能となる。これにより、第1, 第2フレーム間においてはオプティカルフローにより対応が得られたが、第2, 第3フレーム間においては対応が得られなかった線分の各端点に対し、対応点の算出を行うこととする。図4にオプティカルフローおよびトリフォーカル・テンソルによる動画像解析により得られたラインマッチング画像を示す。

5. エビポーラマッチング

ここではオプティカルフローおよびトリフォーカル・テンソルによるラインマッチングによって対応が得られなかった線分に対し、第1フレームと最終フレームにおいてエビポーラマッチングを行う。すなわち、オプティカルフローおよびトリフォーカル・テンソルによるラインマッチングによって得られた第1フレームと最終フレームに対する対応線分の端点を基準点として相互標定を行い、得られた相互標定要素からエビポーララインを推定し、対応が得られていない第1フレーム上の線分の各端点に対する最終フレームにおける対応点を、エビポーララインの周囲から探索す

図4 動画画像解析によるラインマッチング結果

図5 ラインマッチング結果

ることにより対応線分を取得するものである。なお、本研究ではエッジラインの周囲に対する対応点探索手法として、面積相関法（動体計測研究会，1997），確率的弛緩法（高木，下田，2004），最小二乗マッチング法（Grün，1985）の3手法を用い，ラインマッチングに対する最適な手法の検討も行った。その結果，最小二乗マッチング法がもっとも効率的なマッチングを達成したため，本研究における対応点探索手法として採用することとした。

以上の手法により，本研究で用いたハイビジョン動画画像50フレームに対してラインマッチングを行った。

図5はラインマッチングの結果であるが，第1フレーム画像において抽出された線分のうち不要な線分は効率的に除去され，計1,149本の線分に対するラインマッチングが達成された。

6. 3Dモデリング

本研究におけるモデリング手法ではまずモルフォロジーのオープニング処理（小畑，1996）により，画像中の各エンティティに対する自動抽出を行うこととし，抽出されたエンティティとラインマッチングされた線

(a) 右視点

(b) 左視点

図6 自動作成された都市空間3Dモデル

分との対応づけを行った。次に対応付けられた線分の端点を用いて各エンティティーに対する TIN モデルを発生させることにより、エンティティーの認識が行われる。ここで、第1フレームと最終フレームの画像に対して結合調整法 (Chikatsu and Kunii, 2002) によりカメラキャリブレーションを行い、TIN モデルを発生させる際に用いた線分の端点に対する3次元座標を求める。

以上の処理によって自動作成された都市空間の3次元モデルを図6に示す。

7. 結 論

本研究では都市空間に対する3Dモデルの効率的構築を目的とし、オブティカルフロー推定、トリフォーカル・テンソルおよびエビポーラマッチングを用いた

動画像解析手法によるラインマッチングの自動化を検討し、さらにオープニング処理および TIN モデルを用いることにより3Dモデリングの効率化についても検討を行った。その結果、本研究で提案した動画像解析手法によりラインマッチングが効率的に行われ、さらに都市空間に対する3Dモデリングについても効率化されることが確認された。

以上の結果より、本手法は3次元都市空間モデルの構築に対し有効であると判断され、今後は効率的な空間情報取得手法としての様々な課題に対する応用が期待される。

(受付日2005.4.5, 受理日2005.5.13)

参考文献

- 1) 動体計測研究会編：イメージセンシング，日本測量協会発行，1997

- 2) 高木幹雄, 下田陽久: 新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会発行, 2004
- 3) 小畑秀文: モルフォロジー, コロナ社発行, 1996
- 4) Beardsley, P., Torr, P. and Zisserman, A.: 3D Model Acquisition from Extended Image Sequences, 4th European Conference on Computer Vision, pp.683-695, 1996
- 5) Canny, J.: A Computational Approach to Edge Detection, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, No. 6, pp. 679-697, 1986
- 6) Chiba, N. and Kanade, T.: A Tracker for Broken and Closely-Spaced Lines, Internationals Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 5, pp.676-681, 1998
- 7) Chikatsu, H. and Kunii, Y.: Performance Evaluation of Recent High Resolution Amateur Cameras and Application to Modeling of Historical Structure. Internationals Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 34, Part 5, pp.337-341, 2002
- 8) Grün, A.: Adaptive Least Squares Correlation: A Powerful Image Matching Technique, South Africa Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, Vol. 14, No. 3, pp.175-187, 1985
- 9) Lucas, B.D. and Kanade, T.: An Iterative Image Registration Technique with an Stereo Vision, In DARPA Image Understanding Workshop, pp.121-130, 1981