

研究速報

数値地図を利用した広域都市 3 次元モデル構築

上原 将文^{†*} (学生員) 全 炳東[†] (正員)

Construction of Wide Area Urban Scene Model Using Digital Map

Masafumi UEHARA^{†*}, Student Memberand Heitou ZEN[†], Regular Member[†] 東京商船大学交通電子制御工学講座, 東京都

Department of Electronics and Control, Tokyo University of Mercantile Marine, Tokyo, 135-8533 Japan

* 現在, インクリメントビー (株)

あらまし 既存の 2 次元数値地図と動きステレオによる 3 次元計測結果を対応づけ, 都市景観を 3 次元モデル化する手法を提案する. 屋外で撮影された映像に提案手法を適用し, 従来よりも視覚的に精度の高い都市景観モデルが構築できることを確認した.

キーワード 動きステレオ, EPI 解析, 数値地図, テクスチャマッピング, DP マッチング

1. ま え が き

都市景観の 3 次元モデルは, 都市工学, 道路交通など広い分野で必要とされる重要な情報源である [1], [2]. しかし現状では, その作成や維持・更新に膨大なコストを要するため, 効率的な作成・維持方法が望まれており, いくつかの手法が提案されている [3]. 納富らは車載カメラから撮影した動画を解析することによる都市景観のモデル化手法を提案している [6]. この方法では EPI を利用しているため, 奥行が計測できる点は動画像上のエッジ部分に偏ること, 車両の走行に伴う画像のぶれを完全に除去できないこと, などから, 最終的なモデルの品質は十分とはいえなかった. この論文では, 動画像解析による奥行計測と, 既存の大縮尺数値地図を統合することにより, 都市景観をモデル化する手法を提案する. ナビゲーションシステムや地図ソフトウェアの普及に伴い, 数値地図は年々大縮尺化 (詳細化) の傾向にある. 詳細な地図上では, 個々の家屋の位置はもとより, その外形も表現されている (図 1 参照). ここで提案する手法は, 納富らの手法によって得られる計測結果と, 既存の大縮尺数値地図との対応付けを行うことにより, 都市景観の 3 次元モデルを構築する. 都市部の実画像に対する実験・評価を行い, 有効性を確認した. また既存地図と現状が一致しない部分, すわなち地図に更新を要する建物の検出が可能なことも確認した.

2. 動画像解析によるモデル構築

カメラ経路から対象となる建物までの奥行情報は

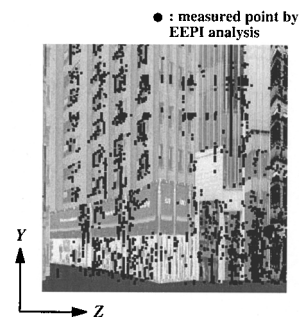
EPI 解析 [4], [5] を拡張した EEPI 解析 [6] を用いて行う. また, 建物テクスチャは撮影された連続画像の両端 1 画素を時系列方向にそれぞれ並べた画像 (スリット画像) を適用する. これら二つの情報を統合したものを奥行マップと呼ぶ (図 2 (a)). この奥行マップは, カメラ経路を基準とした帯状のデータとなり, 各画素が 3 次元情報とテクスチャ情報をもった構造になる. 例えば, 図 2 (a) において黒点の部分が, EEPI 解析によって 3 次元情報が求まっている画素を示している. これら 3 次元情報とテクスチャ情報を利用して, 図 2 (b) のように, 都市景観の 3 次元モデルが作成できる.

しかし, 屋外では道路脇の植込みやガードレール・電柱などが存在し, 建物だけの 3 次元情報を正確に獲



図 1 数値地図の例

Fig. 1 An example of 2D digital map.



(a) 奥行マップの例



(b) モデル構築結果

図 2 動画像解析によるモデル構築

Fig. 2 Modeling by mobile observation.

得することは困難である．また，EEPI 解析では特徴点の軌跡の傾きを計算するために，濃度変化の著しい部分（建物と建物の境目・窓など）は 3 次元情報が密に得られるが，変化の比較的なだらかな部分では荒く計測される．これらの理由から，EEPI 解析のみの精度の高いモデル構築は困難であった．そこで次章から，EEPI 解析により得られた 3 次元情報に加え，数値地図の情報を利用するための手法について述べる．

3. 既存数値地図の利用

3.1 地図からの建物境界部分の検出

本研究では，約 1/2500 の大縮尺数値地図を使用しているため，建物と建物の境界部分が正確に表現できる．そこでハイブリッド型のカーナビゲーションシステムによって獲得された車両走行軌跡を数値地図に重ね合わせ，その軌跡に対して道路に面した建物の角の点から垂線を下す．この垂線と車両軌跡との交点を記録し，建物の境界パターンを作成する（図 3）．図 3 下は建物境界の 1 次元パターンを示し，黒点が建物境界部分を表す．黒点と黒点の間の太線部分が建物の存在部分を表している．

3.2 動画解析結果からの建物境界候補の検出

一方，EEPI 解析による 3 次元計測点は，EEPI 解析の特徴から縦方向のエッジ部分で獲得される．建物の縦エッジは，窓や扉，建物と建物の境界部分などに相当し，カメラパス方向（ Z 方向）を軸とした計測点のヒストグラムを作成すると，ピークとなる部分に建物の境界が含まれている可能性が高いと考えることができる．また， X 軸方向（カメラパスから垂直方向）の計測点数のヒストグラムを作成すると，ピーク付近の距離が建物の道路に面した部分であるということが出来る（図 4）．したがって，まず X 軸方向のヒストグラムを利用して道路に面した部分の計測点のみを取り出し，その後 Z 軸方向のヒストグラムから建物の境界候補のパターンを作成する．図 4 下が建物境界候補パターンを示し，黒点が建物境界候補部分を表す．

3.1 で数値地図から作成した建物の境界パターンと，3.2 で作成した EEPI 解析による建物境界候補パターンとのマッチングを行い，3 次元計測点のヒストグラムのピーク部のうち，建物の境界部分がどこであるかを判定する．マッチングには DP マッチング法を使用した．DP マッチングを利用した映像情報と 2 次元地図との対応付けには [7] が報告されている．本研究では，EPI 解析による奥行き値と数値地図による建物の境界位置をマッチングを行うことで正確な建物境界

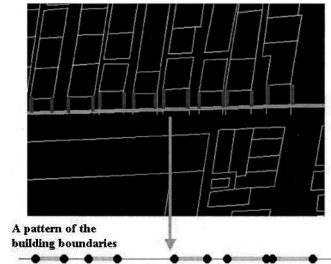


図 3 地図からの建物境界パターン作成
Fig. 3 A pattern of building boundaries created from a digital map.

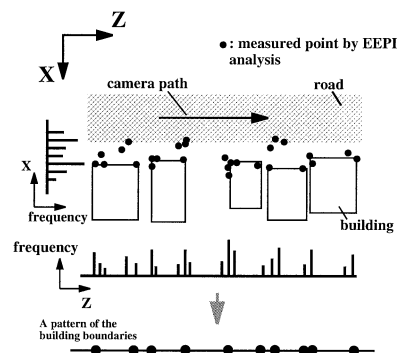


図 4 3 次元計測点からの建物境界候補パターン作成
Fig. 4 A pattern of building boundaries created from a histogram of 3D measured points.

位置を求めている．

4. 実験結果

街中を走行する車両から撮影した連続画像を使用し て実験を行った．

まず EEPI 解析とスリット画像作成を行い，奥行マップを作成した．作成した奥行マップを図 5 に示す．また $X-Z$ 平面上の 3 次元計測点のヒストグラムを図 5 に示す．ヒストグラムのピークにあたる観測経路から約 5～7 メートル付近が道路に面した建物表面部であることを推測することができる．

次に，DP マッチングによるスリット画像の建物分割結果を図 6 に示す．図中の直線は，マッチングを行った後の建物境界パターンを示している．その下の灰色の部分が建物が存在すると判断されたセグメントである．

図 7 にモデル構築結果を示す．(a)，(b) とともに，上側が実際の映像，下側がそのモデル部分である．

本モデル構築結果は，交差する二つの道路をモデル

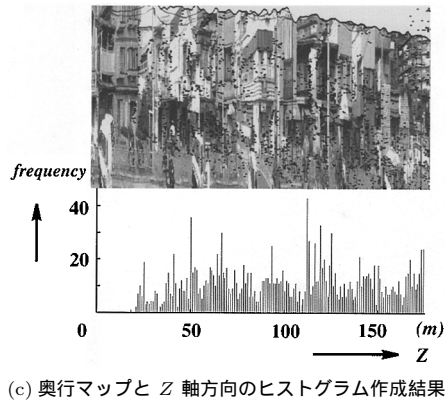
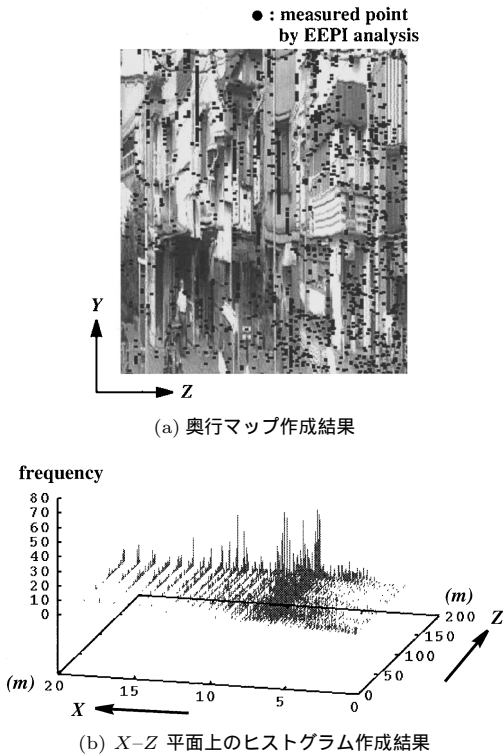


図5 3次元計測点のヒストグラム作成結果
Fig. 5 Histogram of 3D measured data.

化したものであるが、モデルに地図情報を付加することにより、複数経路の交差点部分においての対応付けが容易となっている。また図8は、構築されたモデルを上空から眺めたものであるが、建物上面のテクスチャがなく、建物高さも均一となっている。これを解決すべく、現在航空写真のステレオ解析結果との統合処理に取り組んでいる。

都市のように変化の激しい対象をモデル化する場合、

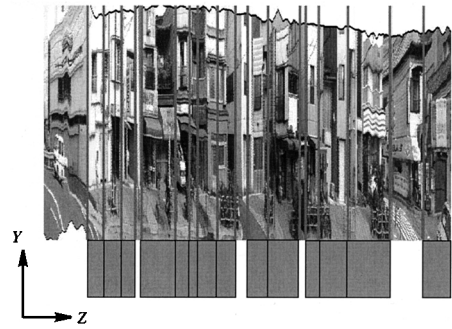


図6 DP マッチングによる建物分割結果
Fig. 6 Result of building division.



(a) 一経路を眺望したとき



(b) 交差点付近



図7 モデル構築結果
Fig. 7 Result of creating 3D city model.



図 8 モデルを上空から眺めた結果
Fig. 8 Bird's-eye model.

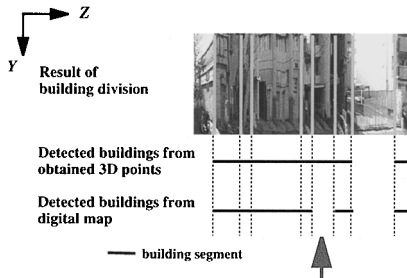


図 9 現状と地図の一致しない建物の検出
Fig. 9 Detection of non existence buildings on a map.

その更新処理も重要な課題である．図 9 は 3 次元計測結果と地図との「差分」結果を示している．この図において、図の上段は DP マッチングによる建物分割結果、中段は 3 次元計測点によって建物が存在すると判断された箇所、下段が数値地図による建物部分を示しており（太線部分が建物が存在するセグメントを表している）、矢印部分が地図には載っていない建物が現状では建物が存在している部分を示している．今後、この方法による効率的なモデル（地図）更新についても、検討を加える予定である．

5. む す び

本論文では、既存の 2 次元数値地図を利用すること

で都市景観の 3 次元モデルを作成する手法について述べた．従来の動画像解析を利用する手法により得られた 3 次元情報に数値地図の建物位置情報を対応づけ、動画像から作成したスリット時空間画像からそれぞれの建物に合ったテクスチャの切出しを行った．本手法を実際の屋外環境に適用した結果、都市景観モデルが構築されることを確認した．

現在、同一経路を一定時間間隔をあけて複数回撮影することで、路上駐車車両や歩行者などを取り除いたモデル構築を行っている一方、現在の結果と建物高さ情報の融合についても研究を進めている．また、様々な状況において実験を行い、モデル更新についての定量的評価も進める予定である．

文 献

- [1] 榎原和彦（編著）、小谷通泰、土橋正彦、山中英生、吉川耕司（著）、都市・公共土木の CG プレゼンテーションデザイン・コミュニケーションと合意形成のメディア、学芸出版社、京都、1997.
- [2] 向井利光、“VR の交通環境シミュレーションシステム” 情処学論, vol.39, no.1, pp.142-151, Jan. 1998.
- [3] M. Pollefeys, M. Vergauwen, and L.V. Gool, “Automatic 3D modeling from image sequence,” Proc. ISPRS, vol.XXXIII, PartB5, July 2000.
- [4] 山本正信, “連続ステレオ画像からの 3 次元情報の抽出,” 信学論 (D), vol.J69-D, no.11, pp.1631-1638, Nov. 1986.
- [5] R. Bolles, H. Baker, and D. Marimont, “Epipolar plane image analysis: An approach to determining structure from motion,” Int. J. Computer Vision, vol.1, pp.7-55, 1987.
- [6] 納富幹人, 小澤史朗, 全 炳東, “移動体観測による都市モデル構築,” 信学論 (D-II), vol.J81-D-II, no.5, pp.872-879, May 1998.
- [7] 川崎 洋, 谷田部智之, 池内克史, 坂内正夫, “実世界映像の自動構造化によるインタラクティブ利用,” 信学論 (D-II), vol.J82-D-II, no.10, pp.1561-1571, Oct. 1999.
(平成 12 年 10 月 2 日受付, 13 年 2 月 5 日再受付)