

航空写真からの広域 3 次元都市モデルの建物単位の生成*

5E-03

神谷俊之 古川久雄 宮崎陽司 國枝和雄†

NEC インターネットシステム研究所‡

1. はじめに

近年、ITS やエリアマーケティングなど地図・空間データを用いたシステムの応用が広く進められつつある。また、日本・米国においても GIS の標準化が進められるなど国土空間データ基盤は高度情報通信社会における重要な基盤データとして認識されてきている。

現在進められている国土空間データ基盤の整備は、主としてデジタル地図や航空写真・衛星画像など 2 次元情報を対象としている。しかし、都市部における空間基盤としては建物の高さなどの 3 次元情報を持つ「3 次元都市モデル」の構築が様々な分野において期待されている。例えば、都市計画や景観分析など地方自治・公共分野、あるいは次世代携帯電話における基地局配置のための電波伝播予測などへの利用が考えられる。

しかし、現状では、その 3 次元モデル作成のためのデータ取得やモデル製作のためには、現地における建物高さの計測や、3 次元 CG ソフトを用いた多くの手作業を行う必要があり、多大な時間とコストがかかる。住宅 1 軒の簡単なモデルを作り、3 次元モデル空間の適切な位置に配置するのに 30 分かかるとしても、数千軒、数万軒の建物から成り立つ都市の街並みを再現するには数千時間を必要とする。

本研究で目標とするのは、都市景観予測や電波伝播、あるいは 3 次元道案内システムなど多様な用途に共通に使える広い範囲の 3 次元都市モデル

を安価に生成するシステムである。電波伝播などでは建物の形状、特に高さの精度が必要であるし、道案内では建物外壁の色・テクスチャなども重要な情報である。また、都市景観を対象にする場合には低コストで、人手をかけずに多くの地域をカバーできることが重要である。これらを実現するために (1) 航空写真からのステレオマッチングにより、広い範囲の建物の高さを精度よく求める手法、(2) 建物形状・地図との位置合わせ、建物壁面のテクスチャ編集などを容易に行えるツールの開発、(3) 建物単位での管理を行うデータベースの整備を行った。

また、3 次元都市モデルをリアルなものにするには、実際の建物の壁面テクスチャをモデルに貼り付けることが有効であるため、必要に応じてデータベース中のモデルを指定して壁面テクスチャを修正し、モデルをアップデートするためのツールを開発した。

生成された都市モデルは、市販のデジタル地図をベースに、緯度・経度と共にデータベースで管理される。これにより必要な範囲を任意に指定して任意視点で 3 次元 CG をリアルタイムに生成することが可能である他、住所のデータベースとマッチングを行うことにより、住所から建物 3 次元形状へのアクセスなどが可能となる。

2. 都市の 3 次元モデリング

都市など広域の 3 次元モデルを作る試みとして、カーナビゲーションソフトにおける経路の 3 次元表示、電子地図ソフトにおける立体表示機能、GIS の 3 次元表示機能拡張の取り組みなどが行われている。例えば、(株)ゼンリンの Zi: [IV] では、階

*Reconstruction of building block level 3D urban landscape from aerial photograph.

†Toshiyuki Kamiya, Hisao Furukawa, Yoji Miyazaki, Kazuo Kunieda

‡Internet Systems Research Laboratories, NEC Corporation

数情報をもつ建物に関してはその階数情報に従い、それ以外の建物に関しては一定の高さを与えるという形で都市景観の3次元モデルを表示している。このような3次元表示は、都市全体の大まかな様子を確認することはできるが、建物高さの正確性やリアリティという面では不十分である。

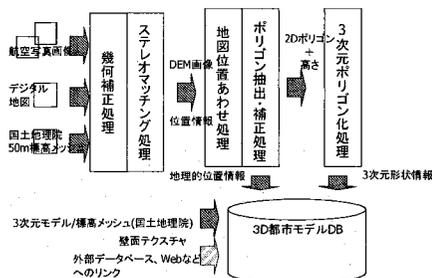


図1 本システムのデータフロー

本研究では、広域の都市モデルを生成する手段として航空写真のステレオマッチング処理によって高さを抽出し、詳細なデジタル地図と位置合わせを行うことで、建物レベルの詳細度で精度高いデータを自動生成する。また、航空写真を正射影変換（オルソ化）して建物・道路などにマッピングすることによって上空から見たときのリアリティを向上するとともに、都市モデル空間をウォークスルーした時のリアリティ向上のため、必要に応じて簡単に建物側面のテクスチャを貼り付けられる仕組みを設けた。本研究におけるデータ処理プロセスを図1に、また本システムで生成された3次元都市モデルの例を図2に示す。

本システムでの3次元モデル生成処理は以下のように行われる。

(1) ステレオ画像幾何補正&マッチング処理

画像からステレオ画像処理によって、奥行き情報を画素値として持つ画像、すなわちDEM(Digital Elevation Model)画像を生成する。(詳細後述)

(2) 地図位置合わせ、ポリゴン抽出・補正処理

通常、ステレオ画像処理によって生成されたDEM画像は多くの誤差やノイズを含むので、ポリゴン化のためには補正を行う必要がある。本システム

では、デジタル地図との位置合わせ及び高さ・形状の補正処理を簡単に行うため専用のツールを開発した。

(3) 3Dポリゴン化・DB登録処理

補正後のDEM画像の建物形状データ、及び高さ情報から3次元モデルを生成し、建物単位でデータベースに登録する。データベースに格納後、建物・領域単位で指定することで自由に建物の選択、修正が可能である。

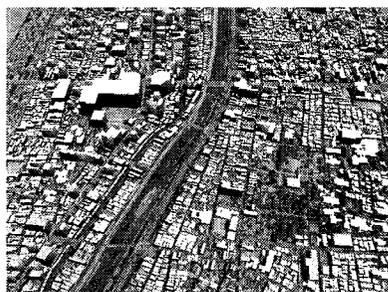


図2 本システムで生成した都市モデル(一部)

3. 航空写真からの高さ抽出とオルソ化変換

測量用の航空写真撮影では、飛行コースに沿って、連続的に各々の写真が60%以上重なり合うよう撮影する。そのため連続する画像の重複範囲についてステレオ画像処理を行うことで隙間無く地表の高さを求めることができる。一枚の画像は地表解像度25cmの場合、約2.5km×2.5km(約10000×10000画素)であり、大都市中心部をカバーするには100枚程度の撮影が必要である。図3に航空写真からのマッチング処理の流れを示す。

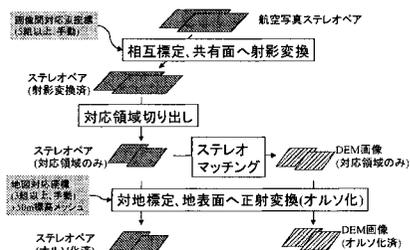


図3 ステレオマッチングの処理の流れ

相互評定処理：ステレオ処理の対象となる画像組は飛行経路に沿って撮影された 2 枚でありほぼ並行しているが、飛行機の姿勢、飛行経路のぶれ、スキャン時のずれなどにより、傾き、スキャンラインのずれが生じている。これに対して、レンズ焦点距離 (既知) と手動で与える各画像の撮影時の中心 (レンズ中心) 及び、画像相互の対応点の組を与えることで、L 画像、R 画像を共通面に射影する。これにより、それぞれの画像上での同一点を、画像上の同一スキャンライン上に移し、ステレオマッチング処理が可能となる。また、この際に同時にオーバーラップ領域を推定し、ステレオマッチング処理を行う画像領域を切り出す処理を行う。

ステレオマッチング処理：本システムでのステレオマッチングは、対象領域が 5000×9000 画素程度と大きく、多くの処理時間を要する。このため、マッチング処理では一台のサーバマシンで画像の分割処理及びマッチング後の合成処理を行い、複数のクライアントマシンで分割画像ごとに細かな位置合わせ処理を行った後、マッチング処理を行うクライアントサーバ構成を採用した。ステレオ処理結果画像の例を図 4 に示す。

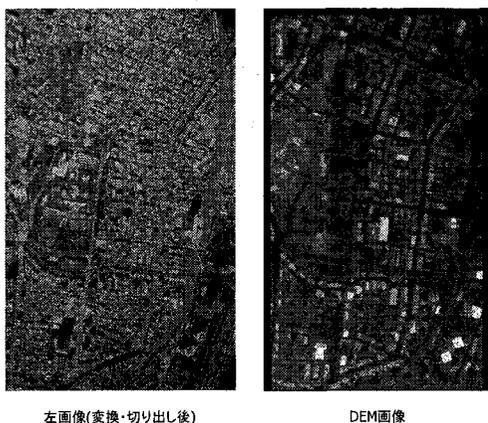


図 4 ステレオマッチング結果

対地評定・オルソ化処理：ステレオマッチング処

理の結果得られる DEM 画像は、相互評定処理の共通面における奥行き情報を与える画像である。この平面は必ずしも地面に対して鉛直ではないため、「高さ (標高)」情報を求めるためには、3 次元的位置が既知な実際の地点と画像中の点との対応を与えることによって、DEM 画像を「高さ」画像に変換する必要がある。また、画像中の建物は画像中心から離れるに従って、また標高が高い地点、高い建物ほど画像中心から外側に傾いて写っている。これを各画素の DEM 値を参照することで、画素ごとの 3 次元的位置を求め、DEM 画像、テクスチャ画像の正射画像変換 (オルソ化) を行っている。処理は L 画像、R 画像それぞれについて行い、一方の画像でのみ隠れ領域となっている部分領域について統合処理を行うことで変換後のテクスチャの抜けを減らしている。DEM 画像、テクスチャ画像についてのオルソ化の例を図 5、図 6 に示す。

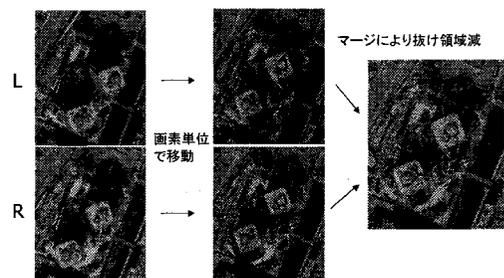


図 5 L 画像、R 画像のマージ処理

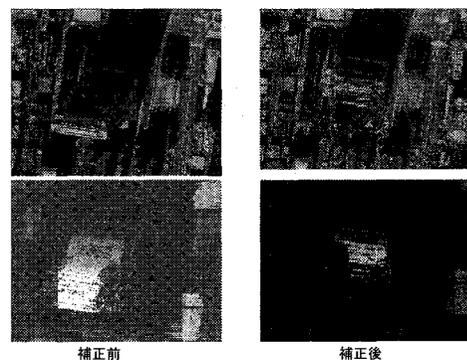


図 6 DEM 画像のオルソ化補正処理

4. 3D ポリゴン DB と側面テクスチャ編集

地図とのマッチング：DEM 画像はラスター画像であり、3次元 CG として表現可能なモデルとするためには、建物の輪郭を抽出し、各建物に高さを与える必要がある。DEM 画像のみから建物を抽出する手法に関しては多くの研究が行われている [1][2][3]が、広い地域を安定的に処理することは困難である。一方、2次元建物形状に関しては、詳細なベクトル地図データが作成・販売されている。本システムでは、低コスト、一定以上の品質という目標のため、市販の2次元地図を利用し、高さ情報について DEM からの情報を用いる。また、地図とマッチングすることにより各建物単位に緯度・経度を基準として生成する ID を付与している。建物高さは建物の2次元形状に含まれる画素値の平均値を用いる。DEM 画像と地図を対応付けるためには位置合わせの処理が必要となるが、オルソ化処理の際の緯度経度情報を初期位置として、画像と地図中の対応付け機能を持つツールを開発した。画像中の手で与えた数点の対応点組から対応が線形であると仮定して変換行列を求め、地図を変形することで単一の画像中では十分な精度で位置合わせが可能である。位置合わせが完了したポリゴンデータはデフォルトの壁面テクスチャと共にデータベースに蓄積される。

側面テクスチャ修正手法:3次元地図による道案内などの用途には都市空間、特にビルの外観をリアルに再現するため、建物側面テクスチャが必要となる。しかし、都市に含まれる全ての建物側面テクスチャを予め用意するのは膨大なコストを要し困難である。また住宅地等外観があまり手掛かりとならない建物まで一律にテクスチャを用意する必要はないと考えられる。そのため、データベース中のテクスチャを容易に貼りかえられるツールのみを予め用意し、必要な建物についてデジタルカメラによって個々に撮影・切出しを行うものとした。

本ツールはデータベースから任意の建物を指

定してダウンロードし、デジカメで撮影した建物画像を利用し、壁面テクスチャを修正して、データベースに修正後のデータを保存することが可能である。

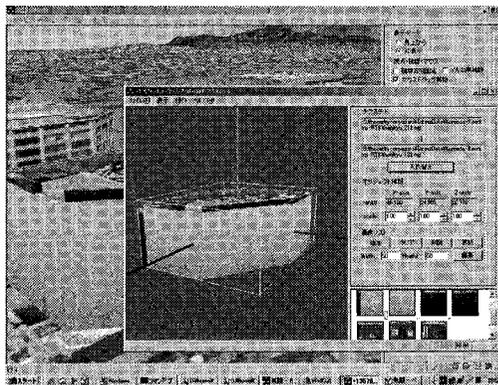


図7 側面テクスチャ編集ツール

5. まとめと今後の課題

本研究では、一定以上の精度・リアリティを持った都市の広域3次元モデルを低コストで生成することを目的として、航空写真から建物ごとの高さを抽出し、3次元モデル化する手法を開発した。今後は、ステレオマッチング処理の精度向上、建物形状の抽出手法開発、および生成した3次元データを用いる各種アプリケーションの開発を進めていく。

参考文献

- [1]史、柴崎：解像度の異なる高解像度衛星画像から建物の自動抽出に関する研究。日本写真測量学会 秋季学術講演会，日本写真測量学会，1997。
- [2] L. Gabet, et al.: Automatic generation of high resolution urban zone digital elevation models, ISPRS J. of P & RS, Vol. 52, No. 1, 1997
- [3]C. Vestri, et al.:Using Robust Methods for Automatic Extraction of Buildings, Vision and Pattern Recognition Conference, 2001
- [4] 石原、森：“新版測量学 応用編”、丸善、1965