

ステレオ空中写真による高速 DSM 抽出システムの構築に向けて

前川 友樹, 荒木 俊輔, 碓崎 賢一

Toward a High Performance DSM Extraction System for Stereoscopic Aerial Photograph

Yuki MAEKAWA, Shunsuke ARAKI, Ken'ichi KAKIZAKI

Abstract: The aim of our investigation is to generate a 3D urban model consisting of a digital elevation model, feature models and surface textures for adding detail, since the landscape model is very useful for urban planning and disaster simulation. As the first step toward our goal, we are studying a high performance DSM extraction system from stereoscopic aerial photographs, since their photographs include the essence of the DSM and the texture. In the present paper, we show that a feature-based stereo matching method is used for maintaining the shape of the feature in urban area.

Keywords: DSM(digital surface model), ステレオ(stereo), 空中写真(aerial photograph), 並列処理(parallel processing)

1. はじめに

津波・洪水・土砂崩れなどの災害シミュレーションを行う場合, 対象となる地域の 3 次元モデルは欠かせない. また, 街づくりや景観シミュレーションでは, 臨場感を高めるために建物などの地物にテクスチャが貼られた 3 次元モデルが求められている. 我々は, 特に都市部や住宅地など多くの人工的な地物がある地域を対象とした 3 次元モデルの自動生成システムの研究と開発を進めている.

3 次元モデルの生成には, 地表及び地表上にあるビルや民家などの地物を表現した数値地表モデル(Digital Surface Model: DSM)を利用することができる. 広範囲の DSM を取得する手法としては, 航空

レーザー測量や, 衛星・空中写真のステレオ処理によるものなどがある. 我々は以下のような理由から, レーザー測量ではなく空中写真のステレオ処理を中核とした 3 次元景観モデルの自動生成システムを構築しようとしている.

- 空中写真の撮影は多くの自治体や地域を対象として広く行われている
- 過去の空中写真を利用すれば, それぞれの撮影時期の 3 次元モデルを作成できる
- 空中写真から形状データだけでなくテクスチャデータも取得することが出来る.

本稿では, その中核となる空中写真からの DSM 抽出システムの開発に関する中間報告を行う.

2. ステレオマッチング

撮影対象となる物や領域を異なる視点から撮影した視差画像において, 撮影対象の奥行き情報は視

前川友樹 〒 820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

九州工業大学大学院情報工学府情報創成工学専攻

Phone: 0948-29-7654

E-mail: maekawa@macross.cse.kyutech.ac.jp

差画像間でのずれ，すなわち視差として現れる．この視差画像間の視差を求める手法の一つがステレオマッチングである．撮影コース内で連続する空中写真を視差画像として用いると，2つの写真でオーバーラップしている部分の地物の視差を求めることができ，この視差を比高に変換することで DSM を生成できる．ステレオマッチングは一般的に Area-Based Method と Feature-Based Method の2つに大別される．

2.1. Area-Based Method

Area-Based Method は，片方の視差画像上の基準となるピクセルを中心とした領域と，これに対応するもう一方の視差画像上での領域を求めることで，画像間の領域位置のずれ(=視差)を求める手法である．この領域間の比較には，類似度や相違度を計算する手法がある[2]．

2.2. Feature-Based Method

Feature-Based Method は，一般的に画像から以下のような特徴群を求め，基準となる視差画像上の特徴に対応する領域をもう一方の視差画像上で求めることで，特徴ごとの視差を求める手法である．

- 点
- 線
- 領域

この手法では，特徴ごとに視差を求めて高さを計算するため，各特徴領域内のピクセルには同じ高さが与えられ，地物の形状が DSM に反映される．さらに，全てのピクセルに対して個々に高さを求める Area-Based Method に比べ，Feature-Based Method は抽出した個々の特徴中のピクセルをまとめて処理して高さを与えるため処理時間が短くなる．

2.3. 並列処理による高速化

ステレオマッチング処理は画像間の対応点を求めるために，大量の画像領域に対する大量の比較処理を行うため，計算量が膨大になるという問題がある．一方，ステレオマッチング処理は他の画像処理と同様に，画像領域に対する処理は相互依存性がなく並列に処理できるものが多い．このため，並列処理を効果的に取り入れることにより，処理速度を向上させたり，DSM の品質を向上させるために複数の処理を行わせたりすることができるようになる．特に最近応用が広がりつつある GPU(Graphics Processing Unit)を利用すると，一般的な PC で数百のプロセッサを利用した並列処理を行うことができ，処理速度の大幅な向上が期待される．

3. DSM 抽出システムの構成と試作

景観や災害シミュレーションといった 3 次元モデルの用途を考えたとき，視差画像からの地物形状の抽出はシミュレーションの品質にも関わる重要な要素である．ステレオマッチング処理において，地物自体を特徴として抽出し視差を求めることで地物形状が保たれるのではないかと考えた．一方で都市部における空中写真について，人工的な地物は直線的ではっきりとしたエッジに囲まれた面領域になりやすい．そこで試作システムのステレオマッチング処理は，住宅などの地物が占める面を特徴として利用する Feature-Based Method を基本とし，適切な特徴が取れない領域に対し Area-Based Method を用いた補完処理を行うことで DSM を生成する 2 段階の処理で構成するものとした．

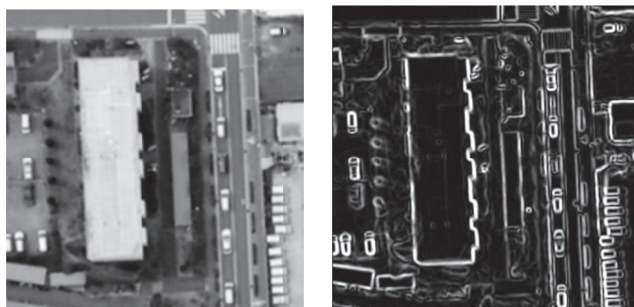
1. 基準となる一方の画像から「面特徴」を抽出
2. 面特徴を利用した Feature-Based Method によるステレオマッチング
3. 対応を取っていない領域に対する Area-Based Method によるステレオマッチング

3.1. Feature-Based Method の検討事項

本節では、Feature-Based Method において考慮すべき事項について検討する。

まず特徴抽出について検討する。Feature-Based Method は抽出された特徴に対して対応する領域の探索を行うため、出力結果は特徴の抽出状況に大きく依存する。図 1(c) と(d)に示すように、エッジ検出[1]と 2 値化を合わせたエッジ抽出処理では、2 値化の閾値によりエッジが途切れることがある。エッジが途切れ隣接する領域と繋がった領域は、視差が異なる領域が 1 つの面として抽出されるため、正しい対応付けができない。この閾値は使用する画像によって変動するため、一意に決めることが難しい。

本システムでは、3.2 節で示すエッジ抽出手法の検討とともに、Feature-Based Method で対応付けを行えなかった領域に対して、Area-Based Method による補完処理を行う。



(a)元画像

(b) Sobel フィルタ処理

(c) 2 値化閾値 90

(d) 2 値化閾値 60

図 1 : 2 値化閾値によるエッジ抽出結果の違い

次に、面特徴の大きさによる多対応問題がある。抽出した面特徴の面積が小さいほど、本来異なる領域とも誤対応をする多対応問題が発生する可能性が増加する。Area-Based Method で用いる比較領域のブロックサイズより明らかに小さい面特徴はこの多対応問題が起こりやすい。

そこで本システムでは、Area-Based Method のブロックサイズより明らかに小さい面特徴の処理を Area-Based Method で処理すること、この多対応問題に対応する。

3.2. 面領域の抽出

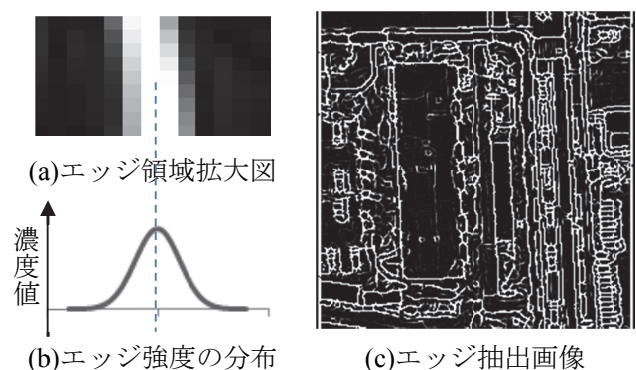
面特徴を以下の 2 ステップで抽出する。

- エッジ検出による面の抽出
- ラベリングによる個々の面の識別

エッジ検出：以下の流れでエッジ抽出を行う。

本システムでのエッジ検出の第一段階には、比較的弱いエッジでも検出できる Sobel フィルタを用いる。図 1 (a)に対し Sobel フィルタを用いたエッジ検出画像を図 1 (b)に示す。

次にエッジ検出画像の極大値を取るピクセルを抽出する。エッジ検出画像のエッジ部分を拡大すると図 2(a)のようになっており、その濃度値は図 2(b)のように山形になっている。このエッジ断面の「もっともエッジらしいピクセル」は極大値のピク



(a)エッジ領域拡大図

(b)エッジ強度の分布

(c)エッジ抽出画像

図 2 : Sobel フィルタによるエッジの特徴と極大値によるエッジ抽出結果

セルであるため、これを抽出してエッジとする。極大値は、両隣のピクセルの濃度値が自分自身の値より低くなる「上に凸」となるピクセルを縦・横・斜め方向に抽出する。図 1(b)のエッジ画像の極大値を抽出したものを図 2(c)に示す。

ラベリング:エッジで囲まれた領域をそれぞれ個々の面として抽出するためラベリング処理を行い、得られた面ごとに対応付けを行う。なお、3.1 節で示した多対応問題への対応により、30 ピクセル以下の面積を持つ面はラベルを削除している。

3.3. Feature-Based Method での対応付け

ラベリングにより抽出した個々の面ごとに、写真間で面形状の比較領域による対応付けを行う。これにより得られた DSM を図 3(a)に示す。

3.4. Area-Based Method での対応付け

Feature-Based Method によるステレオマッチングで対応付けが行われなかった以下の領域に対し、Area-Based Method のブロックマッチングによる対応付けを行う。処理結果を図 3(b)に示す。

- 面特徴抽出時に抽出したエッジ領域
- 面積が小さく対応付けを行わなかった面領域
- Feature-Based Method によるマッチングで対応がない領域として検出された領域

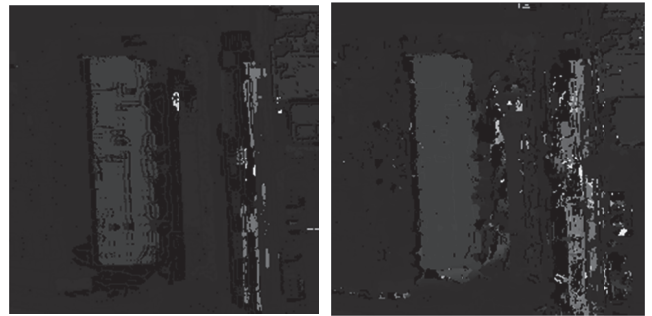
4. 実装結果と検証

図 3(b)に示す出力結果には以下の特徴がある。

- 地物の形状について

図 1(a)と図 3(b)を比較すると、画像中央の建物などの主な人工的な地物の形状を取得し DSM まで形状を保存することができた。一方で、地物の輪郭が崩れている部分がある。これは、本来直線で構成された地物輪郭部のエッジが適切に抽出できてお

らず、面特徴の形状を正しく取得できなかったこと原因である。



(a)Feature-Based Method 処理結果 (b)Area-Based Method 補完処理結果

図 3 : 出力された DSM 画像

5. おわりに

本稿では、空中写真による高速 DSM 抽出システム構築のための、ステレオマッチングシステムの構築方針と評価を示した。今回実装したエッジ抽出手法では、建物等の地物を面特徴として適切に抽出できないことがあり、それが DSM 品質に悪影響を与えることが明らかになった。今後はエッジの連結性等を考慮してエッジ抽出を行うことで、面特徴を適切に抽出できる仕組みを考えてゆく。

参考文献

- [1] 酒井幸市, [改訂版]ディジタル画像処理の基礎と応用~基礎概念から顔画像認識まで~, CQ 出版社, pp.38-41, 2008.
- [2] H. Hirschmuller and D. Scharstein, "Evaluation of Cost Functions for Stereo Matching," Computer Vision and Pattern Recognition, 2007.