

空中写真からの建物輪郭形状抽出における欠落エッジ補完方式

前川 友樹, 中條 雅裕, 荒木 俊輔, 研崎 賢一

Edge Completion Method in Extracting of the Buildings Contour Edge from Aerial Photographs

Yuki MAEKAWA, Masahiro NAKAJO, Shunsuke ARAKI

and Ken'ichi KAKIZAKI

Abstract: The aim of our investigation is to generate a 3D landscape model consisting of a digital surface model(DSM) and a surface texture for adding details. Our DSM extraction system uses the contour shape consisting of extracted edge of buildings from an aerial photograph. However, by reason of missing the part of the edge of the building contour, adjacent regions with different heights are connected and we cannot obtain accurately the height of buildings. In this paper, we show an edge complementing system using Hough transform to split connected adjacent regions.

Keywords: 数値地表モデル(digital surface model), ステレオマッチング(stereo matching), 空中写真(aerial photograph), エッジ抽出(edge detection), 輪郭抽出(contour extraction)

1. はじめに

CG や VR で用いられる 3 次元の都市景観モデルは、街づくり計画や景観シミュレーション、また津波や洪水といった災害に対するシミュレーションに利用でき非常に有用である。我々は、都市部など多くの人工構造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を進めている。

我々の研究[1]は、地物形状を利用した高速で地物形状をより精細に DSM に反映できる手法である。しかし、空中写真から地物形状を抽出する過程でエッジが一部途切れ、隣接する高さの異なる領域同士が繋がり、

繋がった領域の一部に本来とは異なる高さを割り当てる問題が発生した。

本稿では、途切れたエッジを補完することで適切に分割された領域を抽出する手法として、画像内の直線を検出する Hough 変換を用いたエッジ補完手法を提案し、試作したエッジ補完システムの評価を行う。

2. 建物輪郭形状の抽出

都市部の空中写真上でビルや民家等の建物形状とは、屋上や屋根など上空から見下ろした際の形状である。またこれらの形状は明瞭な輪郭線で囲まれた領域として表れやすい。そこで我々のシステム[1]は、空中写真のエッジ抽出処理をもとにエッジで囲まれた領域を形状特徴として抽出し、Feature-Based ステレオマッチングにより DSM 抽出を行っている。

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

2.1. エッジ抽出

画像内におけるエッジとは「ある領域と他の領域との間に存在する境界線」であり、エッジ抽出時に最少 1 ピクセルの幅を持つ曲線として表現される。我々は、比較的色変化の小さい境界線でも検出可能な Sobel フィルタでエッジ検出を行っている。しかし、Sobel フィルタによるエッジ検出結果は図 1 のようにある程度幅を持って検出される。エッジ抽出は通常エッジ強度に対して閾値を設け、閾値以上の強度を持つエッジ点をエッジとして抽出する。このため、閾値を高く設定するとエッジの幅は小さくなるが、図 2 の左側にある小さな山型のエッジなどの色変化の小さい境界線をエッジとして検出できない。一方で閾値を小さく設定すると、エッジの幅が大きくなるが、色変化が小さくエッジ強度がなだらかな山型となる境界線でもエッジとして抽出しうる。

そこで、図 2 を用いて最適なエッジがどこにあたるか図 2 中のエッジ強度の中での最適なエッジ点は山型の頂点と考えられる。そこで我々は、エッジ強度勾配の頂点を結ぶ稜線を最適な幅 1 ピクセルのエッジとし検出するシステムを考案した。結果の図 3 では山型の大小によらずエッジが 1 ピクセルの幅で表される。

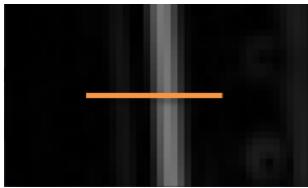


図 1:エッジ強度マップ

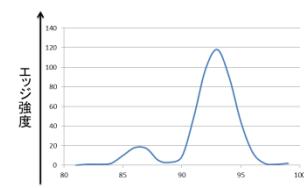


図 2:エッジ強度勾配例



図 3 エッジ抽出結果

2.2. ラベリング処理による形状抽出

エッジ抽出画像図 3 に対するラベリング処理により、エッジで囲まれた個々の領域を形状特徴として抽出する。この時、領域の境界線となるエッジ点はどちらかの領域の一部であると考え、エッジ点を隣接する領域に統合する処理を行っている。このとき、以下の理由により輝度の高い方の領域にエッジ点を統合している。

- 主に高さを得たい領域は屋上や屋根である
 - 日光や影により屋上等は輝度が高くなりやすい
 - 境界線を含む領域はマッチングが安定しやすい
- 黒のエッジにより形状抽出された図 4 にこの処理を行うと、エッジが各領域に統合された形状抽出結果図 5 が得られる。この処理により、図 4 において丸部のような形状の輪郭線以外のエッジは周辺領域に統合され形状抽出結果に影響を与えないという特徴が現れる。



図 4:処理前の地物領域

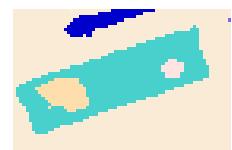


図 5:処理後の地物領域

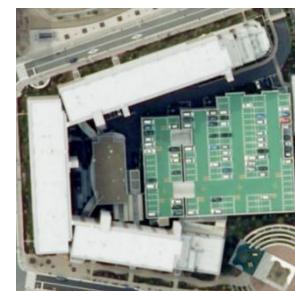


図 6:空中写真元画像



図 7:ラベリング画像

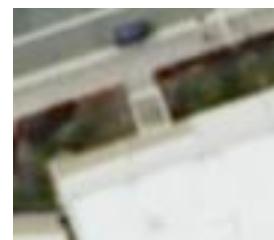


図 8:元画像拡大図

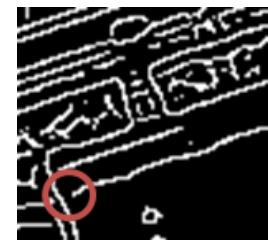


図 9:拡大図エッジ抽出

2.3. 既存の建物輪郭抽出の問題点

我々の研究[1]における形状抽出の際、図 8についてエッジ抽出を行うと図 9 丸部のように建物屋上の輪郭エッジの一部が途切れる現象を確認した。ラベリング結果図 7 を元の空中写真図 6 と比べると、建物の屋上と脇の道路等の隣接し高さが異なる領域同士が繋がり、一つの形状特徴として検出している。ステレオマッチング時に視差の異なる複数の領域をまとめて処理することでミスマッチが発生し、本来高さのない道路に隣接する屋根の高さを割り当てる等の現象を確認した。従来システムでは、色変化の小さい境界線のエッジ抽出精度が悪いために発生したと考え、2.1 節の手法により対応していたが、依然としてエッジが途切れる部分があったため、途切れたエッジを補完し適切に分割された建物形状を取得する手法の研究・開発を行った。

3. 建物輪郭エッジの補完手法

エッジ補完システムの構築にあたり、補完する建物輪郭線及びそのエッジ抽出画像について考察し、図 10 に示す 3 つの特徴が見られることを確認した。

1. 建物輪郭線は主に直線で構成される
2. エッジの一部が途切れた時、その周囲には途切れたエッジに関連するエッジが存在する
3. エッジの途切れた部分は端点として表れる

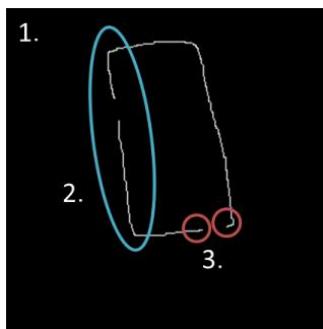


図 10：建物輪郭線の特徴

そこで我々は、エッジが途切れた部分にエッジを補完する線を加えることで領域を適切に分割する手法を

考案した。特徴 1 より補完する線は直線とし、特徴 2, 3 より途切れたエッジを周辺の既存エッジ点より推測できる Hough 変換[2]が利用できると考え、Hough 変換を用いた建物輪郭エッジ補完システムを提案する。

3.1. Hough 変換対象点群の設定

図 10 の特徴 2 より、Hough 変換時に参照するエッジ点群を抽出する手法を 2 種類考案した。

1. エッジ端点を中心とした矩形領域内エッジ点群
端点周辺のエッジは途切れたエッジを補完する直線の一部である可能性が高いため、端点を中心とする矩形領域内のエッジ点を抽出する
2. 端点に連結するエッジ点群
端点につながるエッジ点は途切れた建物輪郭エッジの一部であるため、着目した端点に繋がるエッジ点群を抽出する

3.2. エッジ端点と投票空間を利用した直線の検出

3.1 節で得たエッジ点群を用い Hough 変換を行う際、通常は図 11 に示す直線を表すパラメータ(ρ, θ)の投票空間全体の中で投票数が最多となる直線を検出する。しかし、図 12 に示す例の丸で囲まれた端点を補完する直線を検出する際、投票数が最多の直線では横に伸びる直線を検出してしまう。そこで我々は、端点を含む直線を以下に示す手法により抽出した。

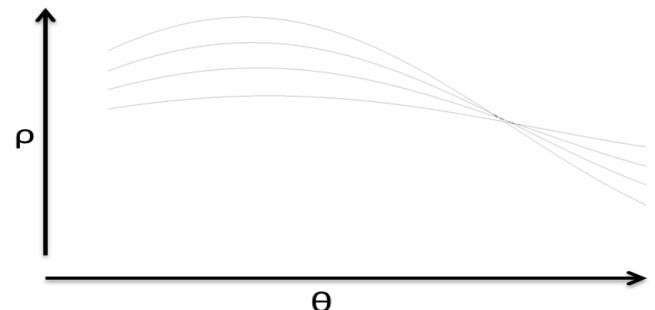


図 11:Hough 投票空間

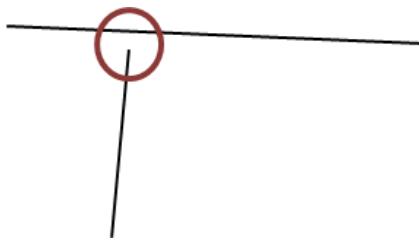


図 12:意図しない直線を検出する例

途切れたエッジの端点周辺で Hough 変換による投票処理を行うと、図 11 のような投票空間が得られる。この時、ある 1 点を通る直線の候補は投票空間内では 1 本の曲線で表され、投票空間内での複数の曲線が重なった交点の (ρ, θ) が表す直線が画像に適した直線となる。そこで我々は、端点を通る直線群を表す投票空間内の曲線上を探索し、投票数が最多となる直線を検出することで端点を通る最適な直線を検出した。

3.3. 検出した直線を用いたエッジ補完

3.2 節で得た直線をもとに、端点から直線を延長するようにエッジ補完処理を行う。このとき、他のエッジと交わるまで直線の延長を行うと、広い屋上や河川などでノイズ等の影響で飛び出したエッジ端点による補完直線が他のエッジと交わらずに長い直線で補完され、誤って分割される現象を確認した。2.2 節より、輪郭線以外のエッジは形状特徴抽出に影響を与えないため、本稿ではある一定長の長さの直線補完を行い、途中で他のエッジに交わっても貫いて直線補完を行う。

4. エッジ補完システムの試作と検証

試作したエッジ補完システムの処理結果を示す。

形状抽出結果の図 13 及び図 14 は、補完処理を行った前である図 7 に比べ図 6 に見られる建物形状がよく表現されている。手法 2 について DSM 抽出をした結果、補完前図 15 と補完後図 16 の DSM を比較すると、補完後は建物形状がよく DSM に反映され、建物形状ごとに高さが算出されている。



図 13:補完手法 1 でのラベリング画像



図 14:補完手法 2 でのラベリング画像



図 15:補完前の DSM

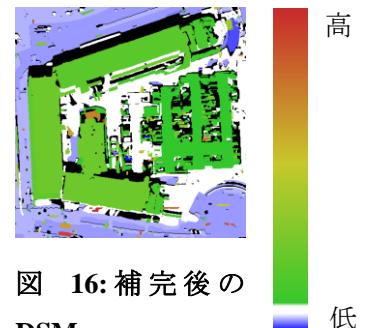


図 16:補完後の DSM

5. おわりに

建物輪郭のエッジが途切れることにより、建物輪郭形状が正しく抽出できないという問題に対し、本稿では既存のエッジ点群をもとにした Hough 変換によるエッジ補完手法を提案し、Hough 変換による直線で途切れたエッジが補完され、適切に分割された建物形状を取得できたことを確認した。今後はノイズにより生じた端点の影響を低減する手法や処理の高速化について研究を進めて行きたい。

参考文献

- [1] 前川 友樹, 荒木 俊輔, 砧崎 賢一, “ステレオ空中写真による高速DSM抽出に向けて,”地理情報システム学会講演論文集, Vol.20, F-5:データ取得, 2011.
- [2] R. Duda and P. Hart, "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures," Comm. ACM, Vol. 15, pp. 11-15, 1972.