高さ情報を利用した航空写真からの建物の自動抽出手法

Automated Building Extraction from Aerial Photographs in 3D Space

史 中超*・柴崎亮介*

Zhongchao SHI, Ryosuke SHIBASAKI

Abstract: An effective automated building extraction method by integrating both the feature-based and area-based stereo matching is addressed in this paper. This new technique aims to improve the efficiency and reliability of the building extraction method introduced in vol. 34, no. 5 of this magazine written by the authors, in which 3D regions based building extraction model was proposed. In this paper, three other building extraction models based on regions, 3D lines and the results of area-based stereo matching are put forward besides former 3D region based model.

1. はじめに

著者らは領域や線分などのステレオマッチングを用いた建物の自動抽出方法を提案した¹⁾。その方法の基本は左右ステレオ写真から抽出された閉じたポリゴン(領域)を用いてステレオマッチングを行い、地面より高い3D領域として建物の屋根を発見する方法であった。しかし、隠蔽やノイズの影響で左右の写真において全ての屋根を領域として検出することは容易ではない。また、屋根を左右の写真で閉じたポリゴンとして検出できても、マッチングの精度などの影響でそれらは建物の屋根であると判断できない場合もある。そのため、単純な3D領域だけにに基づく方法より検出率を一層向上させることは容易ではない。

本研究では文献1)で紹介された建物検出手法の検出率を向上させるために、3D領域だけではなく、領域-線分ペアや3Dライン(線分ペア)も利用して建物の検出を行う。また、本稿では面積相関によるマッチングの結果を用いて建物検出の信頼性を高める方法も提案する。

2. 3D領域に基づく建物検出手法の摘要

著者らが既に発表した建物自動認識手法は大きく、次の部分からなっている(図1を参照)。

- (1) ウェーブレット変換による画像の多重解像度分解(multi-resolution decomposition)と特徴の検出(feature extraction): ガウシアン関数を利用してエッジとコーナーの検出を行った。
- (2) 画像セグメンテーション(image segmentation): 閉じる領域を抽出する領域分割手法(MOBIS)を提案し、ハフ変換を利用した線分検出手法を検討した。
- (3) 特徴に基づくステレオマッチング方法の検討: 領域と線分それぞれの属性(例えば、領域の面積や線分の向きなど)を利用したマッチング方法とマッチング曖昧さの解決方法を提案・検討した。
- (4) 地面高さの推定: 3Dライン(線分ペア)の空間高さ(視差)の投票により地面高さの推定を行った。
- (5) 領域ペア(3D領域)から建物の屋根の検出: 3D空間で地面より一定程度高い領域ペアを建物の屋根とした。

この手法は複雑な航空写真の場合(隠ぺいが多い場合など)には高い抽出率に達することが困難であるという欠点がある。というのはすべての屋根を左右の写

*東京大学生産技術研究所

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 36, NO. 2, 1997

図1 3D領域に基づく建物検出法の流れ

真とも閉じた領域として検出することが非常に難しいからである。また、同一の建物の屋根が左右の写真から閉じた領域として検出されていても、ステレオマッチングによりその二つの領域が必ず対応させられるとは限らない。従って、それに対して改善必要がある。

3. 面積相関と特徴に基づくマッチングの組み合わせによる建物検出システム

3.1 システムの構成

通常、隠ぺいや屋根の色や濃淡の不均一性の影響で、屋根に関する領域分割の結果は以下の三つのケースがあると考えられる（図2を参照）。

- ケース1：写真ペアの両方とも領域として抽出できる。
- ケース2：写真ペアの一枚からしか閉じる領域として抽出できない。
- ケース3：写真ペアの両方とも閉じる領域として抽出できない。

文献1)では、ケース1だけを考慮して、建物の自動検出を行ったが、建物の検出率がそれほど高くないことが欠点であった。それを改善するため、ケース2とケース3も考えるべきである。図3はケース1、2、

図2 屋根に対する領域分割結果の例

3の全てを考慮した建物自動検出システムの流れである。そのうち、特徴の検出や特徴に基づくステレオマッチング法などは著者らが既に提案されたシステム（文献1)）と同じものであるので、本論文では省略する。また、本研究で行った面積相関ステレオマッチングは伝統的な相関関数法と違いはないため、これも本論文では省略する（文献5)を参照）。以下に本システムの中心となった建物の検出モデルを紹介する。

3.2 建物の検出モデル

ここでは、様々な状況に応じた建物の検出方法を「検出モデル」と呼ぶ。

3.2.1 モデル1—建物の屋根が左右写真でそれぞれ領域として抽出できる場合

モデル1の方法は著者らが既に提案した方法である（文献1)）。

3.2.2 モデル2及びモデル3—建物の屋根が片方の写真でのみ領域として抽出された場合

領域分割により建物が片方の写真からのみ閉じた領域として抽出された場合には、もしその片方の写真から抽出した単一の領域の3D空間における高さが分かれば、その高さと地面の高さとを比較することによ

図3 面積相関と特徴に基づくマッチングを利用した建物自動検出の方法（建物検出モデル）

て建物の屋根かそうではないかと簡単に判断できるはずである。単一領域の空間高さは以下の二つの方法から推定できると思われる。

(1) 面積相関による単一領域の空間高さの推定法（モデル2）

まず、面積相関手法によりステレオ写真内の高さの分布を求める。

次に、単一領域を面積相関マッチングによる高さの分布と重ね合わせる。

さらに、単一領域内の全てのピクセル (N とする) のうち、地面から一定程度 (例えば2メートル以上) 高いピクセルを数える (n とする)。このとき、 $n/N > T$ を満たす単一領域を屋根として検出する。ここで、 T 閾値は経験値である。なお、実験では T が80パーセントであれば、単一領域が建物の屋根である可能性が十分高いことが分かった。

最後に、極端な高さを持っているピクセルを除いたピクセルの高さの平均値を屋根の高さとする。ここで、極端な高さを持っているピクセルとは平均高さから大きくずれているピクセルである。

(2) 3Dラインによる単一領域の空間高さの推定法（モデル3）

特徴に基づくステレオマッチング(文献1))により、既に3Dラインの空間高さが分かっているため、図4に示すように単一領域を3Dラインと対応させ、対応された全ての3Dラインの高さの平均値を単一領域の空間高さとする(図中細い線と太い線はそれぞれ領域と3Dラインを表示したのである)。

3.2.3 モデル4—建物が両写真において領域として検出されない場合

両方とも領域として検出できなかった場合（ケース3の場合）、3Dラインを一定の条件により3D空間で

図4 3Dラインを用いた領域高さの推定法

グループ化（つまり、領域化）させ、グループ化された領域の空間高さ（地面の高さ）との比較により建物を検出する。ここで、領域化の際に、以下の条件を満たさなければならない。

- 隣接する3Dラインの空間高さがほぼ同じであること。
- 隣接する3Dラインは平行または垂直でなければならないこと。平行の場合には、線分のzero-crossing 記号が同じでなければならない。また、実際の作業では以上の条件を満たす組み合わせが多いため、本モデルではモデル2と同様に面積相関の結果を利用して建物かそうではないかと再確認する必要がある。この

ような再確認は建物検出の信頼性を向上させる。

3.2.4 モデルの適用手順

本システムでは、図3に示したようにモデルを順番適用し、建物の検出を行う。

モデル1：地面より高い3D領域を建物とする；

モデル2：モデル1から残った領域を面積相関の結果と重ねあわせ、重なる面積が閾値（例えば80%）より大きい領域を建物として検出する；

モデル3：モデル1、2から残った領域を3Dラインと対応させ、地面より高い単一領域を建物とする；

モデル4：隣接の3Dラインを領域化（グループ化）させ、領域化された3Dライングループの空間高さが地面より高ければ、それを建物として検出する。

4. 実験結果

本稿で利用されたテストデータは1/5000縮尺の航空写真である。その画像ペア（1000×1000）の立体視では180軒の建物が判読できた。前述した四つのモデルを順番に実行させ、建物自動検出の実験を行った。その結果の一部分を図5に示す。また、各モデルの検出率などを表1に表す。ここで、建物の屋根の全体の半分以上が検出できれば、検出されたと数えている。また、建物の屋根が、いくつかの独立した建物の候補として検出された場合には、まとめて一つとしている。本実験では、四つのモデルで総数181個建物の候補が検出されたが、そのうち8軒は建物ではないものが建物として検出されてしまった。本実験の建物の検出率は $(181-8)/180$ で、約96パーセントであった。なお、7

表1 面積相関と特徴に基づくステレオマッチングによる建物検出実験の統計結果
(立体視では180軒の建物がある)

	モデル1 (3D領域)	モデル2** (領域と面積相関)		モデル3** (領域と3Dライン)		モデル4** (3Dライン と面積相関)	合計
		左写真	右写真	左写真	右写真		
検出された* 建物候補の数	51+78	23+130	15+148	3+2	2+4	3+6	181
建物ではない 候補の数	2	2	3	0	0	1	8

* 結果表示のa+bでは、aは屋根が完全に検出された建物の数であり、bは屋根が半分または部分的に検出された建物の数である。

**モデル2、3、4の結果は同一の建物の屋根が左右写真から同時に検出された場合である。また、全てのモデルにおいて建物の屋根がいくつかの独立した建物の候補として検出された場合には、まとめて一つとする。

(a) 航空写真 (立体視では180軒の建物が含まれる)

(b) 分割された領域

(c) 投票により地面を構成する3Dライン

(d) 地面より高い3Dライン

(e) 面積相関によるマッチングの結果 (黒は地面より高いピクセル)

(f) 検出された建物候補

図5 高さ情報を利用した建物自動検出の実験例

軒の建物は抽出もれであった。また、この実験の結果によると、複雑な画像の場合や単に3D領域を利用して建物検出を行う場合、建物の検出率はあまり高いことが確認できた（本実験では129/180であった）。

5. ま と め

本稿では、面積相関と特徴に基づくステレオマッチング法により3D空間で効率的に建物の自動検出手法を提案した。本手法は、3D領域の他、単一領域や3Dライン、面積相関によるステレオマッチングの結果のそれぞれの組み合わせにより4種類の自動検出モデルからなっている。実験の結果によると、複雑な航空写真に対しても、本手法によって高い検出率で建物を検出することができる。また、実験の結果では、3Dラインを利用したモデル4による建物検出については、それほど検出数が多くなく、改善の可能性があると思われる（それは本実験で建物検出漏れの主な原因であった）。モデル4の改善は今後の課題として残っている。また、検出された「建物」と実際の建物との形状に違いがあっても、検出したと判定している。そのため、建物の滅失や新築はそれぞれ検出できるものの、滅失した後、ただちに新築され、古い建物の代

わりに新しい建物が建っている場合には十分適用できない。こうした限界を緩和することも今後の課題である。（受付日1997.1.13, 受理日1997.3.7）

参考文献

- 1) 史中超, 柴崎亮介, 高木方隆, 「ウェーブレット変換による画像分割とステレオマッチングを利用した航空写真からの建物の自動検出の試み」, 写真測量とリモートセンシング学会誌 vol. 34, no. 5, 1995, pp. 36-44.
- 2) McKeown, D. M., "Information fusion in cartographic feature extraction from aerial imagery," in: Digital Photogrammetric Systems, Wichmann, 1991, pp. 103-110.
- 3) Z. C. Shi and R. Shibasaki, "Wavelet transform supported image segmentation," Proc. of the 15th ACRS, vol. II, Bangalore, India, 1994, pp. 1-3-1 to 1-3-6.
- 4) Y. T. Liow, T. Pavlidis, "Use of shadows for extracting buildings in aerial images," CVGIP, vol. 49, 1990.
- 5) 高木幹雄, 下田陽久, 「画像解析ハンドブック」, 東京大学出版会, 1991.