

## (30) 航空写真からの建物数の自動推定

須崎 純一<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-1-206)

E-mail: susaki.junichi.3r@kyoto-u.ac.jp

本論文では、被災直後の迅速な被害状況把握を念頭に置いて、航空写真から建物数を推定する手法を提案する。提案手法では、航空写真から領域の2次元形状を反映する「長方形指数」を用いて初期の領域分割結果を得る。次に、ステレオ写真から生成された3次元座標点群に対しフィルタリング処理を実施し、地盤面と非地盤面データに分離する。最後に非地盤面データ `susaki.junichi.3r@kyoto-u.ac.jp` に対し、2次元の領域の形状を反映する「長方形指数」と「正方形指数」を組み合わせると同一建物に属すると推定される複数領域を統合する。検証の結果、良好に領域を統合できている事例は確認できたものの、一部の影領域が除去できずに残り、過剰推定する傾向が確認された。今後は2次元に加えて3次元の領域の形状を反映した指標を開発し、統合の精度を高めていく。

**Key Words** : 建物数, 領域分割, 領域統合, 航空写真

### 1. 序論

被災直後に被害状況を把握する際には、人工衛星や航空機を使って上空から広範囲の計測が行われる。衛星搭載型合成開口レーダ (Synthetic aperture radar: SAR) を用いた解析手法も報告されるようになってきたものの、建物単位はもちろんのこと街区単位の解析であっても光学画像・航空写真の方が被災状況を把握しやすく、実利用に適している。その反面、航空写真を用いた被災街区や建物の特定においては目視による手作業が多く、処理速度や広域展開の面で課題が残っている。被災直後に迅速にステレオ航空写真から被災建物を抽出する手法も多数報告されているが、その多くは建物面積である。事前に建物の輪郭のデータが存在していれば、被災建物数の推定は難しくない。しかし建物輪郭データがない中では、特に建物間隔が狭い密集市街地では個別建物の認識自体が困難になり、それに伴い建物数の推定も困難になる。地震工学者の話では、被災状況の推定では建物面積よりも建物数の推定が重要であるため、その技術の確立が望まれる。よって、本研究の全体的な枠組みでは、被災前の航空写真に対し建物数を推定し、被災後の航空写真を用いて被災棟数を推定する2段階の処理を想定している。本論文では、その一部の処理として、航空写真からの2次元建物境界線データの自動生成を試みる。

### 2. 方法

#### (1) 概要

図-1 に提案手法のフローチャートを示す。最初に2次元画像として航空写真から「長方形指数」を用いて初期の領域分割を試みる。この結果、建物の屋根だけでなく、道路や植樹等の地物が抽出される。次に、ステレオ写真から写真測量の処理を通じて3次元座標を持つ点群を生成する。続いて、3次元点群に対しフィルタリング処理を実施し、地盤面と非地盤面データに分離する。更に非地盤面データに対し、「長方形指数」と「正方形指数」を組み合わせると同一建物に属すると推定される複数領域を統合する。最終的に影領域を除去する。以下、紙面の都合上、領域分割と領域統合に絞って説明する。

#### (2) 領域分割

これまでに多数の領域分割手法が提案されているが、本研究では影領域が存在しても頑健に機能するSusaki<sup>1)</sup>の手法を利用するものとする。以下、その概要を記す。輝度値の分散が大きいテクスチャを持つ屋根も抽出するため、輝度値を少数個の値に離散化した上で領域分割を試みる。離散化する輝度値の幅は、異なる分散の程度に対応するために複数用意する。また長方形に近い領域を優先的に抽出するため、式(1)で表される長方形指数と呼ぶ指数 $R$ を計算する。

$$R = (\text{領域面積}) / (\text{領域を取り囲む長方形の面積}) \quad (1)$$

### (3) 領域統合

第2.2節の時点で得られた領域は、同一の建物であっても屋根単位で分割されたり、あるいは影によって屋根や建物自体が更に複数の領域に分割されたりしている。例えば、図-2(a)に示すように、同一建物から2つの領域 $\alpha$ と $\beta$ が抽出され、他の領域（領域 $\gamma$ や $\delta$ ）と誤って統合することなく2つの領域を統合することを考える。影の影響にせよ、領域 $\alpha$ と $\beta$ のテクスチャの違いにせよ、このような事態は多々発生する。

今、領域 $\alpha$ に着目して考えると、領域 $\alpha$ 周辺に存在する領域（領域 $\alpha'$  ( $\alpha' \in A$ ) とする)を探し、各々と領域 $\alpha$ を連結した領域を仮想する。ここで第1の仮定として「建物は長方形に近い形状を示す」ものとする。その仮想領域の長方形指数 $R(\alpha, \alpha')$ が最も高くなる組合せが最も建物らしい領域を実現すると考えて、その時の $\alpha'$ を $\alpha_{pair}$ として採用する (式(2))。

$$\alpha_{pair} = \arg \max_{\alpha'} R(\alpha, \alpha' | \alpha' \in A) \quad (2)$$

$$s.t. R(\alpha, \alpha' | \alpha' \in A) \geq T_{merge} \quad (3)$$

ここで、 $T_{merge}$ は統合における長方形指数の閾値を表す。もし式(3)を満足しない場合には統合は行われない。

次に、図-2(b)に示すように、2つの建物が存在し、各々が2つの領域（領域 $\alpha$ と $\beta$ 、領域 $\gamma$ と $\delta$ ）に分割されると仮定する。この場合でも領域 $\alpha$ と $\beta$ を統合したいが、式(2)に従って統合すると領域 $\alpha$ と $\gamma$ の組合せの方が、領域 $\alpha$ と $\beta$ よりも高い長方形指数を示すことも十分にあり得る。このような誤った組合せを避けるために、第2の仮定として「建物は長方形の中でもより正方形に近い形状を示す」とする。ここで、式(1)と同様の発想から、式(4)に示す正方形指数 $S$ を利用する。

$$S = (\text{領域面積}) / (\text{領域を取り囲む正方形の面積}) \quad (4)$$

そして、長方形指数と正方形指数を足し合わせた統合指数 $I$ を利用する (式(5))。

$$I = R + S \quad (5)$$

これに伴い、式(2)を $I$ を使って書き直して、式(6)が得られる。

$$\alpha_{pair} = \arg \max_{\alpha'} I(\alpha, \alpha' | \alpha' \in A) \quad (6)$$

$$s.t. I(\alpha, \alpha' | \alpha' \in A) \geq T_{merge} \quad (7)$$

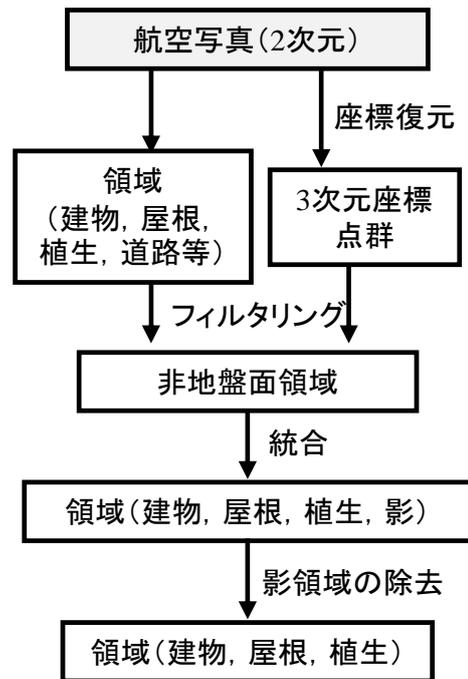


図-1 提案手法のフローチャート

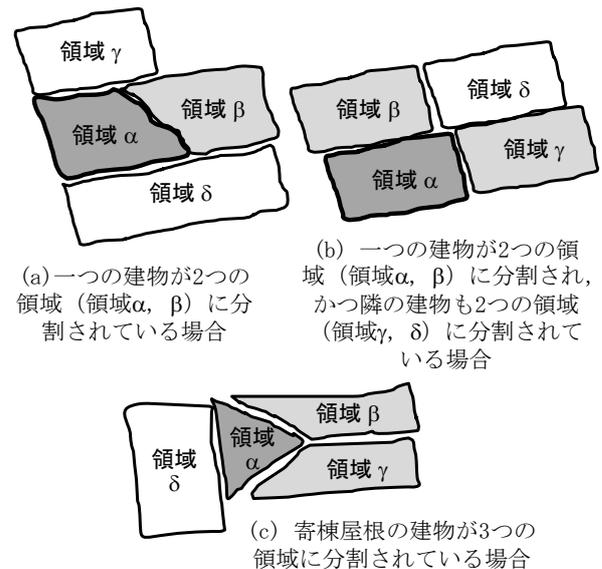


図-2 領域の統合

ここで、 $T_{merge}$ は統合指数の閾値を表す。もし式(7)を満足しない場合には統合は行われない。

第2の仮定に基づく式(5)ではなく、単に式(4)を利用すれば良いようにも思える。しかしながら予備実験では、例えば長方形の建物が連続して立ち並ぶ街区において、正方形指数だけでは隣接する本来の組合せとは異なる組合せ事例が多数発生した。一方、式(5)の指標が最も安定していることが判明したため、式(5)を採用した。

最後に、図-2(c)に示すような寄棟屋根の建物における領域の統合を考える。一つの寄棟屋根の屋根ごとに領域領域 $\alpha, \beta, \gamma$ が分割されて抽出されているが、同様の結果が多々発生する。提案手法ではこのような寄棟屋根に関する領域を統合し、寄棟屋根の建物の輪郭を推定することを目指す。一度に複数領域を統合する可能性を検討すると組合せ数が大幅に増加するため、計算時間もそれに伴い大幅に増加すると予想される。そのため、領域の統合候補の探索を2回繰り返すこととする。領域 $\alpha$ に対する統合相手の一度目の探索では、式(7)で示す条件を満足すれば領域 $\beta$ あるいは $\gamma$ が候補になり得る。二度目の探索を実施し、同様に式(7)で示す条件を満足すれば、一度目で統合されなかった領域も含めて統合が完成する可能性が出てくる。本提案手法では、このような枠組みで領域を統合していき、最終的に建物単位での抽出を目指す。

ただ、領域の統合が完了した時点でも影領域が残る。そのため、後処理として、予めトレーニングデータを取得して影領域の輝度値の平均値、分散・共分散行列を計算し、影領域を除去する。また植生領域の除去は困難であるので、本研究では対象外とする。

### 3. 実験

今回、東日本大震災以前の2009年5月15日に撮影された宮城県名取市閑上地区の1 km × 0.75 kmの画像を使用した。50 cm解像度に処理されている。

初期の領域分割結果はSusakiのアルゴリズム[5]を利用した。3次元点群の生成では既存ソフトウェアを使用した。2枚以上の画像に存在するタイポイントの自動取得及びDigital surface model (DSM)の生成は“Match-AT 5.4”<sup>2)</sup>と“Match-T 5.4”<sup>3)</sup>を各々利用した。正射投影画像は国土地理院が発行している50 mメッシュのDigital elevation model (DEM)<sup>4)</sup>を利用した。フィルタリングはSusakiのアルゴリズム<sup>5)</sup>を利用した。

設定したパラメータは以下の通りである。領域分割で使用したエッジに関する閾値 $d_{edge, min}$ と $d_{edge, max}$ は、文献[5]に示されている値に従い、各々5画素、20画素に設定した。複数のトレーニングサンプルを用いて確認した結果、低い正方形指数(0.4未満)を持つ領域または小領域(200画素未満: 50 m<sup>2</sup>未満に相当)で、赤バンドの輝度値が低い(DN70未満)場合には影領域と判定して除去した。対象地域のうちの特定範囲(200 m × 150 m: 図-3)に対し検証を行った。200画素未満の小領域は検証の対象外とした。使用画像と抽出結果を図-3に、検証結果を表-1に示す。

表-1 抽出精度の検証結果

	建物	非建物	計	Prec.
推定領域	107	39	146	73%

	推定領域	該当領域なし	計	Recall
既存建物	85	9	94	90%

### 4. 考察

図-3(c)と図-3(d)からは提案手法の統合が効果的であることが分かる。2つの領域に分割されていた単一建物(平屋根や切妻屋根の建物)もまた3つの領域に分割されたいた寄棟屋根の建物も、長方形指数と正方形指数を組み合わせた指数によって良好に統合されている。初期の領域分割の時点では、本来長方形の建物も長方形を崩したような形状の領域として抽出されていたり、あるいは一部が欠損したりしていることもある。提案手法はこのような領域分割結果に対しても、安定的に統合処理を進めることが可能である。

一方、表-1は94棟の建物のうち、少なくとも1つ以上の領域を含む建物が85棟、全く領域を含まない建物が9棟あったことを示している。また、抽出された領域は全部で146あり、そのうち建物に該当するものは107、それ以外のは39あったことを示している。建物の抽出漏れは少なかったものの、全体的に過剰推定していることが分かる。また、建物に該当してはいるものの統合されないままの領域も多数残っていることが判明した。やはり2次元の領域の形状を反映する指標に頼った統合には限界があり、3次元建物モデルを念頭に置きながら3次元座標を用いた3次元形状を反映する指標の開発が望まれる。

初期の領域分割の結果(図-3(b))には、道路や河川、空き地等も含まれており、このような領域分割結果から建物だけを抽出することは困難である。したがって、今回領域の統合の前に3次元点群に対しフィルタリングを適用し、1 km × 0.75 kmの対象地域全体に対してフィルタリングが良好であった。しかしながら、一部の橋梁や道路、特に建物に起因する道路上の影が非地盤面領域として誤って残っている。これらの領域が除去できなかったために、建物数が過剰推定されている。この不十分なフィルタリング結果は、航空写真から生成されるDSMの鉛直方向の精度(一般的に±50 cm)に影響を受けていると言える。一般的に航空機レーザ(一般的に±15 cm)よりも鉛直方向の精度が悪く、特に建物等の地物

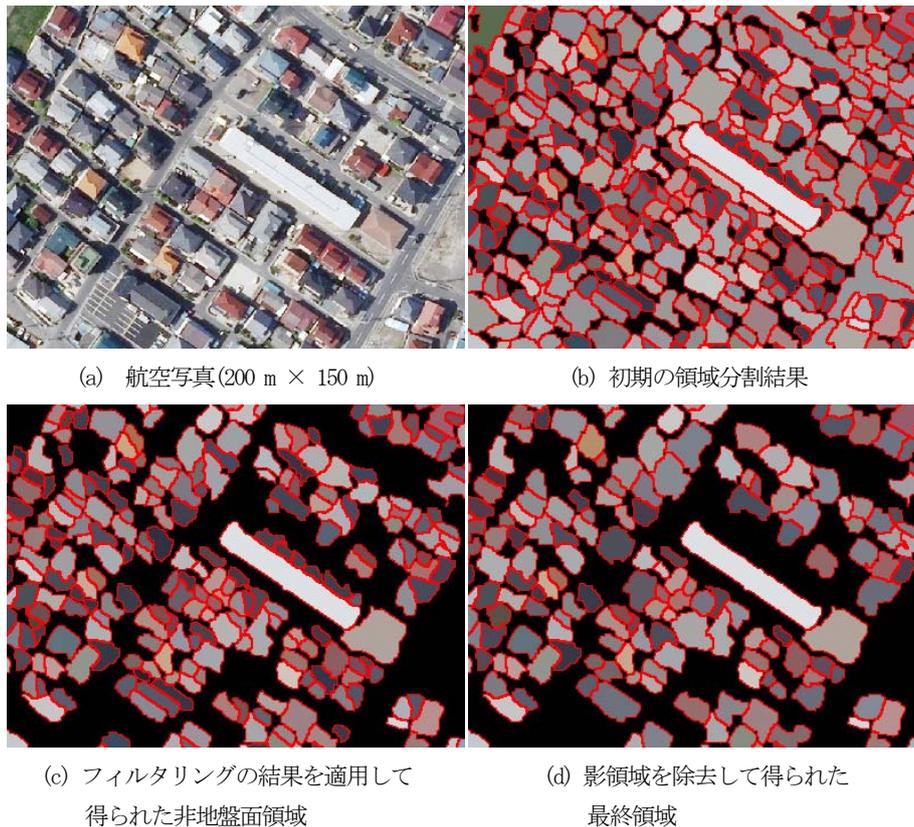


図-3 領域の統合の一例

の境界線付近の精度が極端に悪いことが知られている。建物数推定精度の向上のためには、フィルタリングの方法の改善に加えて、航空機レーザデータの使用も検討すべきである。

## 5. まとめ

本論文では、被災直後の迅速な被害状況把握を念頭に置いて、航空写真から建物数を推定する手法を提案した。提案手法では、3次元座標点群に対するフィルタリング結果を活用して、2次元画像の領域分割結果から非地盤面領域を選別した。その領域群に対し「長方形指数」と「正方形指数」を組み合わせると同一建物に属すると推定される複数領域を統合した。検証の結果、一部の影領域が除去できずに残り、建物数を過剰推定する傾向が判明した。また提案手法では2次元の形状を反映する指数が統合の決め手であり、今後は2次元の領域の形状

に加えて3次元座標を活用した統合判定基準の有用性を検討していく予定である。

謝辞：本研究は、(財)日本建設情報総合センターの研究助成(研究課題「航空写真を用いた迅速な被災建物自動抽出手法の開発」)を受けて実施した。

## 参考文献

- 1) Susaki, J. "Segmentation of shadowed buildings in dense urban areas from aerial photographs", *Remote Sensing*, vol. 4, pp.911-933, 2012.
- 2) Inpho, Match-AT DSM, available at [http://www.inpho.de/index.php?seite=index\\_match-at](http://www.inpho.de/index.php?seite=index_match-at) (accessed on Mar. 12, 2014).
- 3) Inpho, Match-T DSM, available at [http://www.inpho.de/index.php?seite=index\\_match-t](http://www.inpho.de/index.php?seite=index_match-t) (accessed on Mar. 12, 2014).
- 4) 50-m DEM, Geospatial Information Authority of Japan, available at <http://www.gsi.go.jp/geoinfo/dmap/dem50m-index.html> (accessed on Mar. 12, 2014).
- 5) Susaki, J. "Adaptive slope filtering of airborne LiDAR data in urban areas for digital terrain model (DTM) Generation", *Remote Sensing*, vol. 4, pp.1804-1819, 2012.