

(49) 近接写真測量を用いた密集市街地の建物平面の自動抽出

Automatic Estimation of Plane of Building Surface in Dense Urban Area by Using Close-range Photogrammetry

黒川雄太¹・須崎純一²

Yuta Kurokawa and Junichi Susaki

抄録：密集市街地にて建物の精細な 3 次元モデルを作成するには、安価で可搬性に富む近接写真測量による計測が適していると考えられる。しかし、近接写真測量による 3 次元モデリングは、標定と形状モデリング作業に多大な労力を要するという課題がある。そこで、本研究では、建物平面に含まれる看板等の平面領域の 3 次元座標を、ステレオ画像から自動抽出する方法を提案する。まず、RGB 輝度値に基づく領域拡張法を利用し、画像中における平面領域を推定する。次に、SIFT の利用により画像間のパスポイントを自動探索することで、標定を行う。最後に、共線条件に基づき推定平面の 3 次元座標を得る。本手法を京都高台寺周辺の密集建物群を対象に撮影した画像を用いて検証したところ、窓や扉、看板などの平面領域を抽出することができた。

キーワード：近接写真測量，モデリング，領域拡張法，パスポイント，3 次元座標

Keywords : close-range photogrammetry, modeling, region-growing, passpoint, three-dimensional coordinate

1. 背景

近年、防災や景観シミュレーションを行う際に必要なデータとして、建物の精細な 3 次元モデルの需要が高まっている。その中で、建物が密集する地域を対象とするモデル作成の例は少なく、密集しているがゆえに困難とされ、今後そうした地域でのモデリングの需要が見込める¹⁾。3 次元モデリングの方法は利用目的や対象区域によって大別されるが、機材の搬入が難しい密集市街地では、安価で可搬性に富み比較的扱いやすいという点で、デジタルカメラによる近接写真測量が適切であると考えられる。しかしながら、近接写真測量による 3 次元モデリングは手動による作業が多く、多大な労力を要するという課題がある。中でも、解析段階での写真のマッチングと形状モデリングでの労力が大きく、省力化することで作業効率を高めることが求められている²⁾。

近年の研究により、画像処理における画像認識の精度が向上した結果、デジタル写真測量の自動化が実用

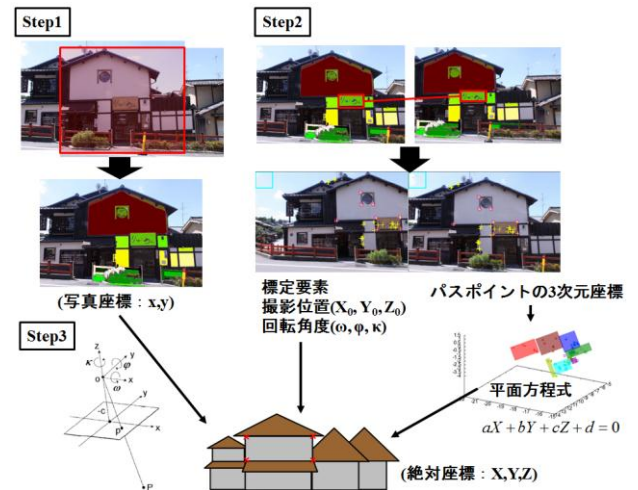
的になりつつあるが、3 次元モデリング作業全体の自動化は難しいとされている。部分的な自動化の例としては、Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)による画像処理技術を利用した 3 次元座標計測の自動化が挙げられる^{3,4)}。ところが、形状モデリング作業に関しては、簡易に行う為のソフトの開発も進んではいるが、手動による図化が依然として基本となっている⁵⁾。Topcon 製のソフトウェア『Image Master』を用いた場合、まずデジタルカメラで撮影された画像を取り込み、2 枚以上の画像間で対応点(パスポイント)を 6 点以上抽出する。そしてステレオペア毎にバンドル標定計算がなされ、カメラの撮影位置と回転角度(標定要素)が判明する。それにより、ステレオ画像上の任意の点の 3 次元座標が計算可能となり、建物の幅や高さなどの情報が得られる。計測された 3 次元座標データから、対象物の輪郭などの形状を 3 次元で表現する際には、計測した点群を手動で結線しており、この労力を避けることはできない。対象建物数や画像内に写りこむ障害物数が多くなるほど、労力は膨大になる。

1：非会員 京都大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 空間情報学講座

(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-1-209, Tel :075-383-3302, E-mail : kurokawa.yuta.73m@st.kyoto-u.ac.jp)

2：正会員 京都大学大学院 准教授 工学研究科社会基盤工学専攻 空間情報学講座

このような背景を鑑みると、デジタル近接写真測量による自動3次元モデリングに求められる、形状モデリング段階での省力化の方法を提案することは大変有意義であるといえる。一般的に、建物は壁面や屋根を基本に、扉や窓、看板、庇など様々な構成要素から成り立っている。現実要求されるモデルを生成するには、こうした様々な構成要素を所要の精度内で正確に抽出しなければならない。この点に注目し、本研究では、建物を構成する壁面と看板等の平面領域の3次元座標を、デジタルカメラで撮影したステレオ画像から自動で抽出する方法について提案し、その有効性について検討した。



図－1 提案手法のフローチャート

2. 方法

図－1に示すように、本論文で提案する建物における平面の抽出方法は、大きく3段階に分けられる。

(1) ステレオ画像における平面領域推定

まず、ステレオ画像において、RGB輝度値をもとに平面領域の推定を行う(Step1)。これは、隣接する画素間でのRGB輝度値を比較し、類似度に応じて統合していく領域拡張法をとる。この方法を用いて、1枚の画像で領域分割したものを図－2に示す。このままでは、空や道路など、モデリングに不必要な部分まで抽出してしまう。そこで、画像全体を対象に行うのではなく、隣り合うステレオペアどうしでオーバーラップ範囲を算出し、その範囲のみ領域推定を行う。オーバーラップ範囲の算出には、相関係数(式1)を用いる。また、閾値を定めて平面領域の小さなものは除去する。

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (式1)$$

$(x, y) = \{(x_i, y_i)\} (i=1,2,\dots,n)$ $\bar{x}, \bar{y}$: 相加平均



図－2 RGB類似度による領域分割

(2) パスポイントの自動探索

次に、推定した平面領域内でパスポイントを自動探索する(Step2)。Step1で推定した平面領域はRGB輝度値とオーバーラップ範囲の情報から、隣接画像間における対応付けは可能である。この対応付けされた平面範囲内にて、画像間のパスポイントの探索を行う。SIFTによる既存のアルゴリズムを用いて画像毎に特徴点を算出し、その特徴点における特徴量を比較することで、パスポイントを抽出する⁴⁾。この処理をステレオペアにおける複数の推定平面に適用することで、多数のパスポイントが得られる。このパスポイントを用いて標定計算を行い、標定要素とパスポイントの3次元座標を算出する。

(3) 推定平面領域の3次元座標計算

最後に標定要素とパスポイントの3次元座標を利用し、推定平面の3次元座標を算出する(Step3)。まず、Step2から得られた推定平面領域毎のパスポイントの3次元座標を用いて、各平面の方程式を算出する。この際、建物の正面にあたる主平面方向を推定し、一定値以上の傾斜を持つ平面については平面の法線を補正する。そして、Step2で得られた標定要素とこの平面方程式を利用し、カメラの撮影位置とステレオ画像、そして対象点が一直線上に並ぶ共線条件を用いることで、ステレオ画像内における平面領域の3次元座標を求めることができる。

3. 検証

京都市東山区高台寺周辺における伝統的木造建物群を対象に検証を行った。Canon製のカメラ『EOS kiss X3』を用いて、建物に対してほぼ正面から、写真を連続して13枚撮影した。1枚の画像における縦×横の幅は、1867×2800画素であった。また、SOKKIA製トータルステーション『SET3 50RX』のノンプリズムモードを用いて、現地での3次元座標を計測した。オーバーラップ範囲内で平面領域を推定した結果を図-3に示す。領域拡張法における隣接画素間の統合条件は、(1)隣接画素間で、Red, Green, Blueそれぞれの輝度値の差が40以内であることと、(2)すでに統合済みの平面における平均輝度値を算出し、輝度値の差が40以内であることの2つを同時に満たすこととした。これらの閾値は経験的に決定した。次に、各ペアの推定平面上からは数十点のパスポイントが抽出された。その3次元座標から、平面を推定したのち、これらのパスポイントを精度の高い順に10点に絞り、標定要素を算出した。最後に、Step3に従い、建物を構成する一定面積を有する平面領域を抽出した(図-4)。中でも比較的是っきりと平面領域が抽出されたステレオペアの結果を図-5に示す。そのうち、看板の端点の3次元座標を得ることができた(図中の赤色の×印)。この結果を、現地での実測値の3次元座標と比較したところ、RMSEは20.7 cmであった。なお、表-1は隣接ペア毎にオ

ーバーラップ範囲から求めたずれ幅と標定精度結果である。

4. まとめ

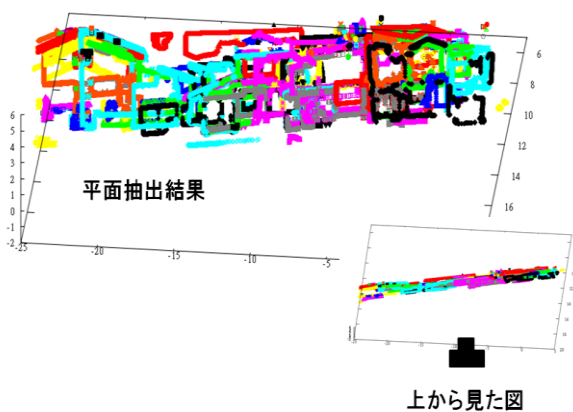
今回の研究では、ステレオ画像から建物の構成要素を自動で抽出する方法を提案した。建物の平面を点群の3次元座標のみで推定するのは困難であるとされているのに対し、本研究の抽出方法には、画像の持つRGB輝度値の情報と、隣接画像間におけるオーバーラップ、また、実物と画像間で成り立つ共線条件を利用した。京都の高台寺周辺の建物群を対象に検証を行ったところ、窓や扉、看板、板壁、底などの建物壁面を構成する一定面積を有する平面に対しては、ほぼ全て抽出できた。ここから、密集地域における効率のよい3次元モデリングのための足掛かりになると考えられる。しかしながら抽出精度は、明瞭に抽出されたステレオペアにおける結果であっても20 cmを超えた。景観シミュレーションなどに求められるモデルの精度は規模にもよるが、密集していない都市の建物に対しては誤差が1 %以内の研究例もある。今回対象とした建物群の高さはせいぜい7~9 mであるため、そのレベルの精度を目指すためには、少なくとも誤差10 cm以内が妥当であると考えられる。したがって、現段階では、おおまかな構成は抽出できても精度の高いモデリングには応用できないため、精度向上のための改善が必要であると考えられる。具体的な課題としては、RGB輝度値に頼る平面の抽出では、日照条件によっては過剰に統合もしくは分割してしまい、平面領域を確定できない個所がいくつかみられた。また、パスポイントの3次元座標から大まかな平面を推定するが、パスポイントが少ない平面では、平面推定に誤差が生じやすい。したがって、今後はRGB輝度値では判別できない平面領域の抽出手段と、パスポイントを画像全体、とくに対象建物に疎らに分散させる方法について、検討を進める必要がある。



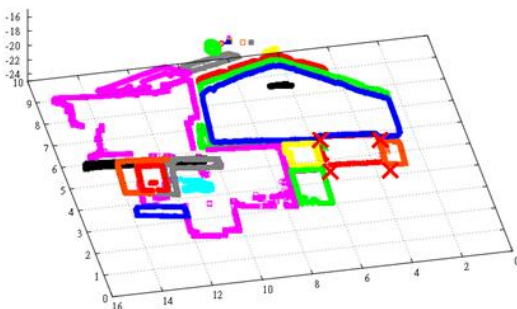
図－3 ペア毎の平面領域の推定結果

表－1 ステレオペア毎のずれ幅と標定精度

ペア番号	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13
上下[画素]	-81	95	79	135	55	-37	5	61	0	100	0	-16
左右[画素]	668	662	752	935	790	912	532	714	500	700	600	703
相関係数	0.776	0.788	0.763	0.715	0.783	0.844	0.810	0.740	0.697	0.667	0.788	0.747
縦視差[画素]	1.00	1.03	0.81	0.96	1.46	1.50	1.66	1.09	1.47	1.00	1.03	0.81
RMSE[画素]	0.47	0.51	0.39	0.35	0.69	0.62	0.82	0.85	0.75	0.47	0.51	0.39



図－4 全体の平面領域抽出結果(3次元座標)



図－5 平面領域抽出結果(ステレオペア 1-2)

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「写真測量を用いた密集市街地の3次元建造物モデリングのための自動標定システムの構築」)を受けて実施した。

参考文献

- 1) 葛城桂子，渡辺俊：『景観シミュレーションのための建築物の3次元形態の再現性』，日本建築学会大会学術講演梗概，F-1，分冊，pp953-954，2000.
- 2) 小田真彰：デジタル近接写真測量による市街地の三次元モデリング—京都・ハノイを事例として—，京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻，修士論文，2010.
- 3) Lowe, David G. : Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp. 91-110, 2004.
- 4) Fujiyoshi, H. : Extraction of feature based on Gradient-HOG and SIFT-, Information Processing Society, Research Reports, CVIM 160, pp. 211-224, 2007.
- 5) 村井俊治，近津博文，『「デジタル写真測量の理論と実践」文化財の保存管理におけるデジタル情報の活用』，(社)日本測量協会，2004.