

(3) 近接写真測量を用いた 建物開口部の抽出手法の開発

黒川 雄太¹・須崎 純一²

¹非会員 近畿日本鉄道株式会社 (〒543-8585 大阪市天王寺区上本町6-1-55)

E-mail: kurokawa.yuta.73m@st.kyoto-u.ac.jp

²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、3次元建物モデルの作成のための、近接写真測量を用いた建物開口部辺の抽出手法を提案する。まず画像間のずれ幅を利用することで、scale invariant feature transform (SIFT) による対応点探索の範囲に制限を設け、パスポイント選定の高速化と誤抽出の低減を試みた。次に、画像から建物開口部領域を抽出し、単写真におけるモデル座標計算を行った。その結果、パスポイントの選定時間を短縮し、約7割の抽出率で、開口部の3次元座標を算出できた。3次元座標の計算結果に関してRMSEは10 cm程度であり、景観・防災分野で利用できる妥当な計測結果が得られたことになる。今後は、開口部から建造物全体へと処理を拡張させ、自動でモデリングを行う手法を構築することで、市街地におけるモデリングをより効率化できると考えられる。

Key Words : 3次元モデリング, 近接写真測量, パスポイント, 標定, 開口部

1. 序論

京都などに多く存在する伝統的建造物群保存地区では、歴史的に価値の高い木造建造物が密集しており、防災分野における建物モデリングの需要が高まっている。防災分野において建物モデリングを延焼シミュレーションに利用する場合、建物内部の火災性状は開口部の形状によって大きく左右されるため、モデルに開口部の情報を付加することができれば、その精度を高めることができる¹⁾。また開口部の計測結果は、再現性の高い3次元モデル作成に利用することができ、デジタル保存等の景観分野におけるモデリングにも役立つと考えられる。

こうしたモデリングのための地上からの効率のよい計測手法として地上型LiDARと近接写真測量が挙げられるが、近接写真測量の方が機器の安価さ、現場作業の簡便さという点で、適した計測方法であるといえる。そこで本研究では、防災・景観分野において利用されるような建物モデルの作成を目的として、京都の密集市街地を対象に近接写真測量を用いた低コストで簡便な計測手法を提案する。

2. 対象地域と撮影方法

本研究における計測対象は、京都市東山区の高台寺周辺の木造建造物群とした。撮影にはCanon製デジタル一眼レフカメラEos Kiss X3を用いた。レンズの焦点距離は最も広角である18 mm、画素数は2800×1867画素に設定した。建物に対して正面から撮影し、撮影位置を建物の並びと平行に移動していき、9棟の家屋を14枚の連続画像に収めた(図-1)。撮影距離は約8 m、カメラ間の距離は約2 mであった。またTopcon製のソフトウェアImage Master Calibを用いて、キャリブレーションを行った。

3. 標定計算の効率化と高速化

本研究では、Scale Invariant Feature Transform (SIFT)²⁾の利用を前提とする。処理時間の短縮、誤抽出の低減を目指すため、隣接画像間におけるオーバーラップから画像間のずれ幅を計算し、対応点探索時に探索範囲を制限することで、パスポイント自動抽出処理の高速化と誤抽出の除去を試みた。なお3枚の画像に共通して写っているバイポイントは、対応点探索後に選択する。最終的に、バ



図-1 現地で撮影した画像

バンドル調整計算時の計算負荷を軽減するため、対応点の絞り込みを行いパスポイントとする。

提案手法で得られたパスポイントを利用し、Topcon製 Image Masterを用いてバンドル調整計算を行う。その際、現地で計測した基準点の位置座標データを加えることで、地上座標における外部標定要素を求めることができる。

(1) SIFTを用いた対応点探索

SIFT では、画像の回転やスケール・照明の変化等に頑健な特徴量を記述する。異なる画像間で算出された各特徴点の特徴量を利用することで、画像間の対応点の自動抽出が可能となる。しかし取得した対応点の中には、異なった点同士を対応させている誤抽出が含まれる。また比較的处理時間を要するが、ある特徴点に対し全ての特徴点を対象に特徴量間距離を計算しているためだと考えられる。そこで、計算の対象となる点の数を絞り込むことで、誤抽出を軽減すると共に、計算処理時間の短縮を図る方法を検討する。

(2) 対応点探索範囲の制限

本研究では、連続した画像において、画像間のオーバ

ーラップが、平行移動した形で現れる。オーバーラップ部分が判明すれば、計算の対象となる点が存在すべき位置範囲が判明する。これによって、候補点を絞り込むことができる。オーバーラップの算出には、画像輝度値のRGB情報3バンドを2組の数値データとした相関係数(correlation coefficient)を利用した。

(3) バンドル調整計算

前節までの過程で、多数の対応点を高速に自動取得することができた。しかし、このままバンドル調整計算を行えば、非常に時間がかかってしまう。そこで対応点を更に絞り込み、パスポイントとしてバンドル調整計算を行う。その際、SIFT で算出される特徴量距離が小さいものから順に選択していき、10～20 点前後に絞り込む。同様にして、タイポイントも 1 点、絞り込んでおく。Image Master によりバンドル調整計算を行い、地上座標における外部標定要素を算出する。その際に必要となる基準点座標は、SOKKIA 製 Total Station (TS) SET350RX を用いて、ノンプリズムモードで計測済みであるとする。今回の計算後における画像ペア毎の残存縦視差の RMSE をは 0.87 画素となった。

(4) 考察

相関係数を用いたオーバーラップの検出により、ステレオペア間のずれ幅を算出し、SIFT による対応点探索範囲を制限することで処理の高速化を試みた。SIFT による探索時に残っていた、異なる建造物上の誤抽出対応点を除去することができた(図-2)。図-2 では、誤抽出を多数低減できたが、一方で側面について誤抽出がみられた。このように、画像全体で統一したずれ幅による探索範囲の設定では、側面を含む領域の誤抽出をすべて除去することができないため、特徴点の位置によってずれ幅や窓幅を可変にするか、別の制約条件を加えることが必要になる。

処理時間については全13ペアに対し約2分となり、1/10 以下と大幅に短縮することができた。全体の標定精度に関しては、残存縦視差のRMSEが0.87画素となり高精度とはいえないが、標定時の目安となる1画素以下であることから、利用価値はあると考えられる。今後は誤抽出を更に除去することで精度の向上を図る必要があると考えられる。

4. 建物開口部モデリングの省力化

前章で求めた外部標定要素を用いて、画像に写り込んでいる建物開口部のモデリングを行う。外部標定要素が決定すれば、ステレオペアにける任意の対応点で、モデルを形成するための3次元座標(モデル座標)を求めることができる。しかしながら、市街地で撮影された画像には、前景障害物等が含まれることにより、必ずしも2枚の画像ともに求めたい対象が写っているとは限らない。このことから、ステレオペア毎にモデル座標を求めるよりも、単画像毎に対象のモデル座標を求める方が、利用価値が高いと考えた。単写真における投影中心・写真上の像・対象物の間に成り立つ共線条件と、開口部が属する平面の情報を利用して、モデル座標の計算を行う方法を提案する。まず、ステレオ画像中における開口部の領域を抽出する。次に、外部標定要素推定の過程で算出されたパスポイントの3次元座標等を利用して、開口部の属する平面を推定する。最後に、共線条件に基づき、開口部のモデル座標を算出する。

(1) ステレオ画像における開口部領域の抽出

対象地域における開口部の特徴としては格子窓や木製扉等が多い。開口部のほとんどが長方形に近似できるため、本研究では長方形要素として検出を行う。しかし、様々な長方形要素が含まれる建造物の写真から、これらの開口部のみを自動で抽出する方法は難しい。また画像輝度値を組み合わせても、似通う輝度値が開口部以外の木製の壁等に現れてくるため、完全な分離は難しい。そこで本研究では、写真に写る開口部の位置情報を手動で加えることで、開口部の長方形領域を抽出する方法を試みた。

はじめに、輝度差からエッジ抽出を行い、2値化した画像から建物の並ぶ方向を推定する。これにより建物に対して垂直な方向のエッジのみを抽出することができる。次に、垂直方向のエッジから開口部辺のエッジ候補を抽出する。最後に、既知として与えられた開口部上の1点を利用し、開口部辺を選択する。これにより、開口部端点の写真座標が得られる。

(2) 開口部が存在する平面の推定

開口部の3次元座標を計算するには、開口部の写真座標の他に、開口部の存在する平面の方程式が必要となる。まず、前章で得られたパスポイントの3次元座標を用いて、開口部平面の法線ベクトルを推定しておく。次に、ステレオペア毎に、対応する各開口部領域内で対応点を1点以上抽出する。外部標定要素が既知であれば、抽出

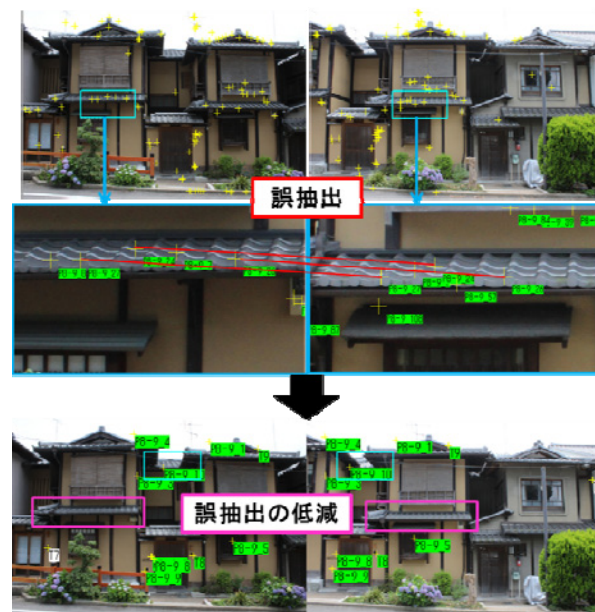


図-2 誤抽出の低減例(Pair8)

した対応点の3次元座標を計算できる。開口部平面は、これらの対応点を通るため、法線ベクトル値と合わせて、平面の方程式を決定することができる。

(3) 建物開口部の3次元座標算出

抽出した開口部領域(図-3)から各開口部の写真座標が得られる。今回は開口部四隅の4点の写真座標を利用する。また、推定した開口部の平面方程式を用いて、単写真におけるモデル座標計算を行うことで、開口部四隅の3次元座標が得られることになる。抽出された開口部と、前章で推定したカメラ座標とTSによる実測値の座標を図-4に示した。これらの位置関係から、おおよそ正しい開口部の位置座標を推定できたことがわかる。開口部辺長における26本の辺長実測値と推定値の比較を行い、誤差の大きな2辺以外においてRMSEを求めると、9.6 cmとなり、景観や防災シミュレーションを行うためのモデリングを想定した場合においては、妥当な推定結果といえる。

(4) 考察

開口部とカメラの位置関係、開口部の形状等、定性的にみて現実らしい開口部の座標が得られたといえる。密集市街地においては、各々の建造物壁面が同一平面とみなせることが多いため、開口部を構成する点が同一平面上にあることや、全体について主平面に平行な開口部平面を形成していることも、現実らしい点といえる。また、複数画像に対して開口部が写り込んでいる場合、どの単写真を利用するかによって、算出される開口部座標が異なる。これは言い換えれば、いずれかの写真で開口部領



図3 提案手法による開口部の抽出結果

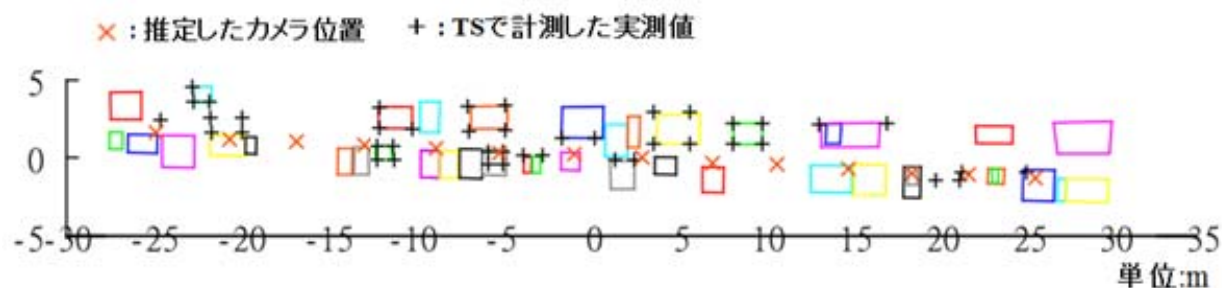


図4 推定したカメラ位置とTSによる実測値との位置関係

域が抽出されていれば、3次元座標を算出できることを示している。景観シミュレーションに求められるモデルの精度については、規模にもよるが、密集していない都市の建造物に対しては、誤差が1%以内を目安とした研究例が存在する¹⁾。今回対象とした建造物群の高さはせいぜい7~9mであるため、密集市街地での計測という点を加味しても誤差が10cm以内であれば、妥当な推定結果であるといえる。さらに、延焼シミュレーションを行う際には概算値を入力していることを考えると、十分な精度で計測を行うことができたといえる。

5. まとめ

本研究では、景観・防災分野において利用されるような建物モデルの作成を目的として、京都の密集市街地を対象に近接写真測量を用いた低コストで簡便な開口部計測手法の構築に取り組んだ。具体的には、パスポイントの選定を含む標定作業の高速化、また、単写真から簡便に建物開口部の3次元座標を算出する方法を提案し、モデリング作業における座標推定の効率化に取り組んだ。以上の処理を組み合わせることで、近接写真測量を用いた3次元座標計算までの作業全体を1つの流れとした計測手法の提案を行った。

標定作業の高速化については、SIFTを用いた対応点自動探索アルゴリズムに、ステレオペア間のオーバーラップから算出した画像間のずれ幅を用いて推定した探索範囲の制限を設けることで、誤抽出の除去と高速化を実

現できた。処理時間については探索範囲を設けない場合と比較して、約94%と大きく短縮された。

建物開口部の抽出によるモデリング作業の効率化については、撮影画像から抽出した開口部領域と、パスポイント3次元座標から推定した開口部平面を、単写真におけるモデル座標計算に組み込むことで、簡便に現実らしい開口部の3次元座標を算出することができた。本手法のように単写真に写ってさえいれば、開口部の座標が得られることは、実際の計測に応用した場合に有効であるといえる。また、開口部辺がうまく推定できたものに関して、実測値の値と比較した定量的な精度はRMSEが10cm以下となり、景観・延焼シミュレーションを想定したモデリングへの応用が期待できることがわかった。

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) 独立行政法人建築研究所：Epistula,BRI NEWS Vol.41 市街地火災の延焼シミュレーション,2008.
- 2) Lowe, D.G.: Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision, Vol. 60, pp. 91-110, 2004.