

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 17 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760393

研究課題名（和文）京町屋を含む密集市街地での地上・航空機 LiDAR からの建物モデリング手法の開発

研究課題名（英文）Development of algorithm to model buildings in dense urban areas including “Kyo-machiya”, Japanese traditional houses, using terrestrial and airborne LiDAR

研究代表者

須崎 純一（SUSAKI JUNICHI）

京都大学・地球環境学堂・准教授

研究者番号：90327221

研究成果の概要（和文）：本研究では、京町屋を含む密集市街地における建造物群を対象に、地上 LiDAR と航空機 LiDAR から 3 次元建物モデルを自動生成する手法の開発を目的とし、下記の内容を実施した。

1. 地上 LiDAR からの建物属性の自動抽出手法の開発
2. 航空写真からの建物領域抽出手法の開発
3. 航空機 LiDAR と航空写真を併用した建物の三次元モデリング手法の開発
4. 航空機 LiDAR と航空写真を併用した都市内の景観指標の推定手法の開発
5. 近接写真測量を用いた建物の 3 次元モデリングにおける効率化

研究成果の概要（英文）：The research objective was to develop methodology to model buildings in dense urban areas including “Kyo-machiya”, Japanese traditional houses, using terrestrial and airborne LiDAR, and following items were implemented and achieved:

1. Development of an algorithm to automatically extract building attributes using terrestrial LiDAR,
2. Development of an algorithm to segment building regions using aerial photograph,
3. Development of an algorithm of 3D modeling of buildings using airborne LiDAR and aerial photograph,
4. Development of an algorithm to estimate landscape indices in urban areas using airborne LiDAR and aerial photograph, and
5. Development of an efficient algorithm of 3D building modeling using close-range photogrammetry.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 土木計画学・交通工学

キーワード：測量・リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

地上レーザスキャナ(LiDAR)を用いた 3 次

元計測で得られたデータを用いて、京町屋を含めた建造物をモデル化するには未だに

自動化できず、多大な労力を要する。また今後は車載搭載型 LiDAR の普及が見込まれており、計測データは爆発的に増加する一方、自動処理ができないために計測データが効果的に活用できない事態が容易に想像される。また航空機 LiDAR は広範囲を計測するには適しているが、建物側面の情報が得られないために単純なモデルしか作れないという限界がある。理論上は地上 LiDAR と航空機 LiDAR を融合したモデリングが考えられるが、現実にはそのような報告はほとんどない。また伝統的建造物群保存地区のように、傾斜した屋根が密接して集合する密集市街地では、航空機 LiDAR から建物を効果的に抽出し、モデリングするのは困難な状況である。

2. 研究の目的

本研究では、京町屋を含む密集市街地における建造物群を対象に、地上 LiDAR と航空機 LiDAR から、可能な限り自動的に3次元モデルを生成する手法の開発を目的とした。具体的には、

■航空機 LiDAR データから、これまでは抽出が難しかった、傾斜した屋根が密接して集合する密集市街地から個々の屋根を抽出する手法を確立する。

■申請者が既に確立した、地上 LiDAR データから建物側面の情報を抽出する手法を適用し、航空機 LiDAR データから得られた情報と合わせて、建物の3次元モデルを可能な限り自動で生成する手法を確立する。

3. 研究の方法

膨大なレーザーデータから3次元モデルを作成する過程でも、地上・航空機 LiDAR から得られる情報を統合する過程でも、測量学や空間情報学の知識を援用することで課題を解決できると考えられる。航空機 LiDAR データから日本家屋の密集地での屋根面、建物外形抽出アルゴリズムの改善を図り、地上・航空機からの情報を効果的に統合し、建物モデルを自動的に生成するアルゴリズムの確立を目指した。

4. 研究成果

本研究では、下記の内容を実施した。

1. 地上 LiDAR からの建物属性の自動抽出：
本研究では3次元都市モデル作成の効率化を目的とし、地上 LiDAR データから木造建造物に含まれる格子窓の自動抽出を行った。格子窓の凹凸が連続した構造を利用して、凹凸を特徴点として抽出した後、隣接した特徴点を個々の格子窓に分類した。岐阜県高山市の古い町並みで計測したデータに提

案手法を適用した結果、約6割の格子窓を自動で抽出できた。しかし、今回考案した手法では凹凸の小さい格子窓は抽出できないこともあった。また SVM (Support Vector Machine) を用いた分類で誤って格子窓を除外することもあった。今後は、凹凸の小さい格子窓でも十分な数の特徴点を抽出できる方法の開発、及び SVM を用いて頑健に分類できるような特徴量の設定が望まれる。

2. 航空写真からの建物領域抽出手法の開発

市街地の中でも特に密集市街地では、リモートセンシング画像から自動的に建物を抽出する領域分割の需要が大きい。しかしながら、建物が極めて隣接していると建物の境界線が明瞭でなくなるだけでなく、隣接した建物の影が写り込みやすくなるため、従来の領域分割手法は機能しない。そこで本研究では、密集市街地で効果的に建物あるいは屋根を領域として抽出できるアルゴリズムを開発した。開発手法では、輝度値の分散が大きいテクスチャを持つ屋根も効果的に抽出するため、輝度値を少数個の値に離散化し、ラベリングするアプローチを採用する。また長方形に近い領域を優先的に抽出するため、長方形指数と呼ぶ指数を定義し、隣接する領域と組み合わせ、長方形指数が向上すれば両者を統合する。複数の異なる離散化幅値を適用し得られた領域群に対し、長方形指数の大きい領域から順次採用していく。これにより局所的に最適な空間的な平滑化パラメータを適用していることに等しい機能を発揮する。実験の結果、従来の領域分割手法では明瞭に分離できなかった影がかかった建物とその周辺を明瞭に分離できるようになった。よって、輝度値の離散化と長方形指数の活用の特徴を有する提案手法は有用であることが確認できた。

3. 航空機 LiDAR と航空写真を併用した建物の3次元モデリング手法の開発

本研究では、市街地の中でも特に3次元モデリングが困難であった密集市街地への適用を念頭に置いて、航空機 LiDAR データと航空写真を用いて建物の3次元モデルを高速自動生成するアルゴリズムを開発した。密集市街地では、ほぼ同じ高さの傾斜した屋根を持つ建物が隣接して建ち並び、航空機 LiDAR データ単独のモデリングは不可能である。そこで航空写真から抽出した建物領域を3次元モデリングの際に活用する。密集市街地を写した航空写真では建物間の境界線が

明瞭でなく、また隣接する建物の影が発生しやすいものの、筆者が既に提案したアルゴリズムを活用して領域抽出を実施する。次に、フィルタリングで得られた非地盤面の航空機 LiDAR データを用いて、屋根の平面の法線を求める。領域抽出の結果は不完全であるため、領域内の法線ベクトルの分布や対となる領域の周辺の関係性を考慮して、領域を 2 つに分断して切妻屋根の建物を推定したりするなど、領域抽出の不備によるモデリングの漏れを抑えている。京都市東山区の密集市街地に適用した結果、完全に隣接した切妻屋根の建物群でも十分にモデリングされていた。本研究では、対象地域の建物の特徴から切妻屋根、寄棟屋根、平屋根に限定してモデリングしたが概ね問題はなく、本提案アルゴリズムは特に密集市街地でのモデリングに極めて有効であると言える。

4. 航空機 LiDAR と航空写真を併用した都市内の緑視率、圍繞（いじょう）度の推定手法の開発：景観工学における定量的評価指標の効率的作成支援として、航空機 LiDAR と航空写真を併用した緑視率、圍繞度の推定アルゴリズムを構築した。本研究では、「圍繞度=視界内の全ての地物の立体角/視界の立体角」、「緑視率=視界内の植栽の立体角/視界の立体角」であると定義した。検証の結果、圍繞度の RMSE は 6.5 %、緑視率の RMSE は 16.0 %であった。
5. 近接写真測量を用いた建物の 3 次元モデリングにおける効率化：密集市街地における建物モデリングを行う際には、近接デジタル写真測量による簡便・安価な計測が有効である。しかし、市街地における近接写真測量の際には画像枚数が増加し、パスポイントの労力が多大となることが課題であった。本研究では、密集市街地における近接写真測量の省力化を目指し、パスポイントを自動選択する手法を構築した。本研究では、一定枚数の静止画像に対し、さまざまな画像変化に対して頑健な特徴量を記述する Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) を適用することで、安定した対応点自動探索を可能にした。誤抽出については、Random Sample Consensus (RANSAC) を用いて相互標定要素を推定し、エピソード線上に無い対応点を除去した。さらに、エピソード線上にある誤抽出については、建物壁面付近の対応点が、画像上で一定の距離を移動することに着目し、画像上の移動距離を限定することで除去した。自動取得したパスポイントを用いてバンドル調整計算

を行い、建物の開口部の辺長について、トータルステーションによる計測値との残差を求めたところ、RMSE が約 3.5 cm となり景観・防災分野で利用できる精度が達成できた。また、RANSAC 過程で検出されなかったパスポイントの誤抽出は、バンドル調整計算後に 3 次元地上座標を推定することで初めて誤抽出であると判明することが分かった。本研究で提案した画像上の移動距離を用いた手法により、事前に誤抽出を除去することで、パスポイントの 3 次元座標を用いた効率的なモデリングを行うことが出来ると考えられる。さらに、建物壁面が同一平面にあると見なせる地域特性を生かし、推定した 3 次元座標を基準点座標から算出した平面に投影することで、モデルの歪みを補正することも可能であった。以上のことから、近接写真測量がパスポイント自動選択手法の構築により省力化されることで、密集市街地の建物モデリングに有効な計測手法となることが判明した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Junichi Susaki, "Segmentation of shadowed buildings in dense urban areas from aerial photographs", Remote Sensing, Vol. 4, pp. 911-933 doi:10.3390/rs4040911, 2012.
- ② 須崎純一・幸良淳志・児島利治, "航空機 LiDAR データからの密集市街地における地表面データのフィルタリングアルゴリズムの構築", 応用測量論文集 21, Vol. 21, pp. 78-89, 2010.

[学会発表] (計 10 件)

- ① 太田祐喜・須崎純一, 「密集市街地の建物群を対象にした近接デジタル写真測量におけるパスポイントの自動選択」, 平成 23 年度日本写真測量学会秋季学術講演会論文集, B-CON PLAZA (別府市), pp. 21-24, 2011 年 10 月 20-21 日.
- ② 柴田泰宏・須崎純一, 「地上 LiDAR を用いた建造物の構成要素の自動抽出」, 平成 23 年度日本写真測量学会秋季学術講演会論文集, B-CON PLAZA (別府市), pp. 101-102, 2011 年 10 月 20-21 日.
- ③ Yuki Ota and Junichi Susaki, "Automatic selection of passpoints in digital close range photogrammetry in dense urban areas", Proceedings of the 32nd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS),

Taipei Convention Center, Taipei, Taiwan,
Oct. 3-7, 2011.

- ④ Yuta Kurokawa and Junichi Susaki, "Extraction of planes consisting of buildings for modeling using close-range photogrammetry", Proceedings of the 32nd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), Taipei Convention Center, Taipei, Taiwan, Oct. 3-7, 2011.
- ⑤ Junichi Susaki and Atsushi Kora, "Development of algorithm to generate three-dimensional urban models in the dense urban areas using airborne LiDAR", Proceedings of the 31st Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), National Convention Center, Hanoi, Vietnam, Nov. 1-5, 2010.
- ⑥ Yuki Ota and Junichi Susaki, "Efficient 3D modeling of buildings in dense urban areas", Proceedings of the 31st Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), National Convention Center, Hanoi, Vietnam, Nov. 1-5, 2010.
- ⑦ Junichi Susaki and Atsushi Kora, "Automatic three-dimensional modeling of buildings in dense urban areas using airborne LiDAR", Proceedings of the 9th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (USMCA2010), Kobe International Conference Center, Oct. 13-14, 2010.
- ⑧ 須崎純一・幸良淳志, 「航空機 LiDAR からの伝統的建造物群保存地区における三次元建造物モデリング」, 土木学会第 65 回年次学術講演会論文集, 北海道大学, 2010 年 9 月 3 日.
- ⑨ 太田祐喜・須崎純一, 「密集市街地を対象とした 3 次元モデリングの省力化に関する研究」, 土木学会第 65 回年次学術講演会論文集, 北海道大学, 2010 年 9 月 3 日.
- ⑩ 太田祐喜・須崎純一, 「伝統的建造物群を対象とした 3 次元モデリングの省力化」, 土木学会関西支部平成 22 年度年次学術講演会論文集, 京都大学, 2010 年 5 月 22 日.

[産業財産権]
○出願状況 (計 3 件)

①名称: DTM 推定方法、DTM 推定プログラム及び DTM 推定装置、並びに、3 次元建物モデルの作成方法
発明者: 須崎純一
権利者: 京都大学
種類: 特許
番号: PCT/JP2012/061204
出願年月日: 2012/4/26
国内外の別: 海外

②名称: 領域抽出方法、領域抽出プログラム及び領域抽出装置
発明者: 須崎純一
権利者: 京都大学
種類: 特許
番号: 特願 2011-144266
出願年月日: 2011/6/29
国内外の別: 国内

③名称: DTM 推定方法、DTM 推定プログラム及び DTM 推定装置、並びに、3 次元建物モデルの作成方法
発明者: 須崎純一
権利者: 京都大学
種類: 特許
番号: 特願 2011-129316
出願年月日: 2011/6/9
国内外の別: 国内

[その他]
ホームページ等
<http://www.envinfo.uee.kyoto-u.ac.jp/user/susaki>

6. 研究組織

(1)研究代表者

須崎 純一 (SUSAKI JUNICHI)
京都大学・地球環境学堂・准教授
研究者番号: 9032722