

航空機 LiDAR データからの建物領域の領域ベース認識に関する研究

北海道大学 ○宇井宏太郎, 金井 理, 伊達宏昭, 国際航業(株) 横尾泰広, 浅田典親, 武田浩志  
要旨

本研究では3次元都市モデリング等のための, 航空機 LiDAR データからの建物領域の認識を目的としている. 本報では, 地表面および建物領域認識の高精度化のための新たな地表面分類と建物領域セグメンテーションと分類手法を提案し, その分類精度を検証する.

1. はじめに

近年, 航空機搭載型レーザープロファイラーにより, 地表面を高密度・高速に測定する LiDAR(Light Detection and Ranging) 技術が発達し, その測定データが, 防災や環境調査など様々な分野で幅広く使用されるようになった. しかし, 計測された地表面の点群データを, 建物や植生, 地面へと分類する作業は, 熟練者によって時間とコストをかけて行われているのが実情であり, 分類の自動化が求められている. すでにこの自動化の研究例として[1,2]などがあるが, これらは高密度(8-15 点/ $m^2$ )な点群を使用している. 一方, 日本で計測される LiDAR データは点の密度が 1-2 点/ $m^2$  と低いものがほとんどで, [1,2]のような既存研究を適用する事が難しい.

そこで本研究では, 低密度な LiDAR データからでも, 領域ベースの地物の認識分類ができるアルゴリズムの開発を目的とする. 前報[3]では, Region Growing から得られた領域の平坦さを判定基準とし, 建物領域の抽出を行っていた. しかし問題点として, 地表面判定に, 必ず存在するとは言えない DSM を必要とする事, 平坦とは言えない屋根が検出できない事があった. そこで本報では, 地表面判定手法の改善と, 建物領域判定の改良を行うことでこの問題を解決し, 建物認識精度の向上を行った結果を報告する.

2. 提案する LiDAR データ認識分類アルゴリズム

図 1 に提案する LiDAR データの領域ベース認識分類アルゴリズムを示す. まず地表面と考えられる計測点を, オリジナル LiDAR データから分離し(A1), その後, 地表面以外と考えられる残された点群に対してセグメンテーションを行い, 各領域ごとに建物判定を行うことで建物計測点群を認識する(A2-A4). 本報では図 1-A1 地表面判定手法と, 図 1-A3 セグメンテーション・建物判定処理の改良を行った. 以下にこれを述べる.

2.1 地表面判定手法の改善(図 1-A1)

本研究では, LiDAR データの非地面点群の領域化に際し, まず地表面を計測した計測点を判定し除外する処理を行う. 前報[3]の地表面判定では, 該当する地区の 5m メッシュの DSM を用いた各点の地上高を利用した判定を行っていた. しかし 5m メッシュは必ずしも存在するとは限らないため, LiDAR データのみを用いた地表面判定が必要である.

併用データを用いない地表面判定としては Region Growing を用いた手法[4]や, モルフォロジーフィルターを用いた手法[5]がある. しかし Region Growing では地表面シード点の人手による選択が必要で, また歩道橋やスロープといった緩やかな傾斜のある人工物を坂道と区別する事が出来ない. 一方モルフォロジーフィルターに基づく手法では, 各点に図 2 に示すように距離しきい値  $d_{max}$  と角度しきい値  $\gamma$  によって決定される領域を定義し, その領域内に他の点が 1 点も入っていない場合は地表面, 1 点でも領域内に点が含まれていれば, 地表面以外として判定する. しかしこの手法では図 2 に示したように, 工場のような大きな建屋では, 建物の中央部付近が地表面と誤認識されてしまうため, その地域の建物形状に適するしきい値  $d_{max}$  を決定しなくてはならない問題があった.

そこで, 本研究では工場地帯や都市部などの様々な地形に,

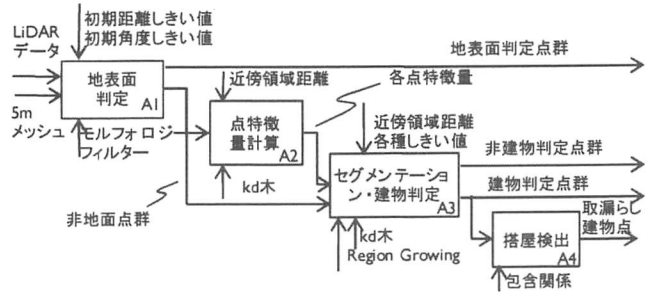


図 1 本アルゴリズムの概要

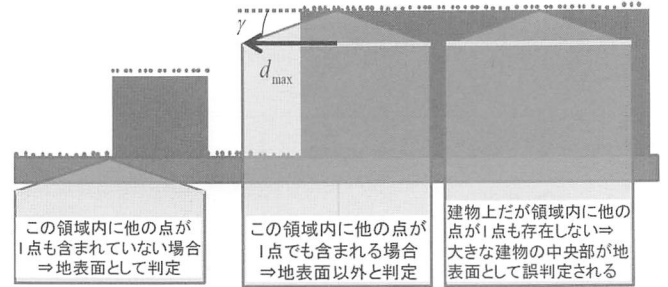


図 2 モルフォロジーフィルターの概要と問題点

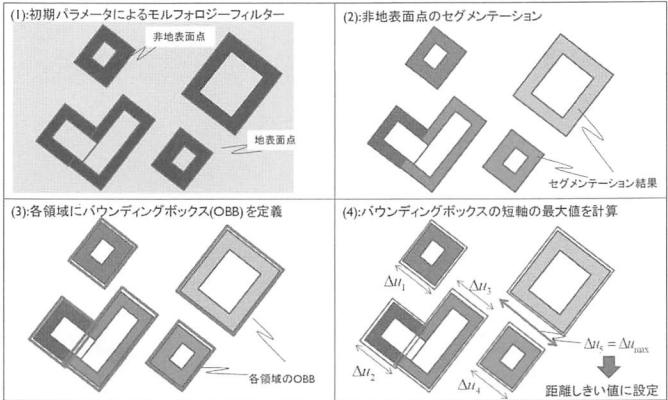


図 3 距離しきい値  $d_{max}$  導出手法の概要

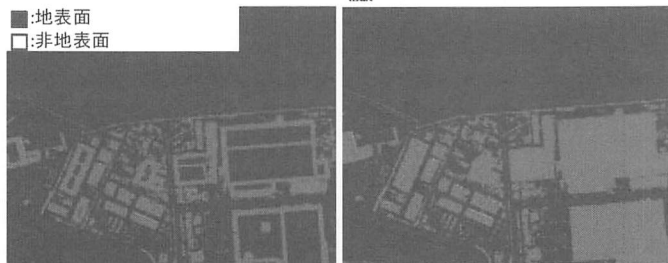


図 4 距離しきい値の変化による地表面判定結果の比較

モルフォロジーフィルターを適用可能にする為の距離しきい値  $d_{max}$  の自動決定手法を新たに提案する. 以下にその手法の手順を示す. (図 3 参照)

- (1) 初期距離しきい値を用いモルフォロジーフィルターによる判定を行い, 仮の非地表面点集合  $P_1$  を得る.
- (2)  $P_1$  内の点に対するセグメンテーションを行い, 仮の建物領域を得る.

(3)各領域に対して、二次元の共分散分析を行い、方向付きバウンディングボックス(OBB)を求める。

(4)求められた各領域の OBB の短軸の長さ  $\Delta u$  の最大値  $\Delta u_{max}$  を距離しきい値  $d_{max}$  とし、再度地表面判定を行う。

図3のようにこの手法は、モルフォロジーフィルタによる建物の誤判定は、建屋の中央部でのみ起こり、境界部では正しく分類する事が出来るという事に着目し、一旦初期しきい値で得られた非地表面点をセグメンテーションし、各領域のバウンディングボックスの最大寸法を求める事で、最適距離しきい値決定において特に重要となる領域の最大寸法を求めている。実際に工場地帯(横須賀)のデータに対して提案手法を用いた結果を図4に示す。初期距離しきい値では工場の建屋中央部が地表面と誤認識されているが(左)、提案手法では正しく非地表面として分類されている事(右)が判る。

## 2.2 建物領域判定の改善(図1-A3)

本研究では非地面点群に対するセグメンテーションを行い、得られた各領域に対して「建物らしさ」を評価する事で、建物領域判定を行う。前報[3]では各領域の「平坦さ」を評価し、より平坦な領域を建物であると判定した。本報では「建物らしさ」を表す指標として、「平坦さ」 $F_i$ に加え、新たに各領域の「地上高」と「バウンディングボックスの充填率」を導入し、建物領域判定精度の改善を試みた。

### 2.2.1 領域地上高の定義

建物である領域は、ある一定以上の地上高を持っていると考えられる。そのため、領域の地上高  $E_i$  を計算し、新たに建物判定に加える基準とした。領域  $S$  の地上高は、図5のように領域に含まれるすべての点の  $z$  値の平均値から領域を囲む地表面点の中の最も低い高度を持つ点の  $z$  値を引いたものとして定義した。

### 2.2.2 バウンディングボックスの充填率の定義

領域の平坦さのみを建物判定指標にしていた前報[3]の建物検出不足の要因の一つとして、平坦とは言えない屋根の存在があった。そこで領域の投影形状による判定を行った。建物等の人工物は、領域投影形状がより矩形に近づくと考えられる。そこで領域の形状の評価のため、各領域  $S$  の方向付きバウンディングボックスの充填率  $R_i$  を定義する。 $R_i$  は図6に示すように、領域  $S_i$  内の三角形群の面積の和  $T_i$  を、方向付きバウンディングボックスの面積  $B_i$  で割ったものと定義した。また平坦さの条件では検出不可能であった建物が、充填率条件によって検出できた結果を図7に示す。

### 2.2.3 建物判定条件

以上の平坦さ  $F_i$ 、地上高  $E_i$ 、バウンディングボックスの充填率  $R_i$  を用いて  $\{(F_i < F_{th}) \vee (R_i > R_{th})\} \wedge (E_i > E_{th})$  を満たす領域を最終的に建物と判定する。ここで  $F_{th}$  は特徴量しきい値、 $R_{th}$  は充填率しきい値、 $E_{th}$  は地上高しきい値を表す。

## 3. 認識分類結果と今後の課題

予め手動分類された真クラス付きの調布地区の LiDAR データ(点密度およそ 2 点/m<sup>2</sup>, 全 1624964 点)を提案アルゴリズムで自動分類し、その分類精度を検証した。各しきい値として、 $d_{max}=20m$ ,  $\gamma=\pi/12 rad$ ,  $F_{th}=0.28$ ,  $R_{th}=0.8$ ,  $E_{th}=2.5 m$  を用いた。分類精度を表1に示す。また比較のため、地表面判定を提案手法で、領域判定を前報の手法で行った結果を表2に示す。表1の地表面分類精度を前報[3]と比較してみると検出不足、過検出共に精度の大幅な改善が見られる。また建物領域の分類精度では、過剰検出が 18.1%程度、未検出が 10.0%程度となった。前報[3]での検出精度と比較してみると、建物分類精度において

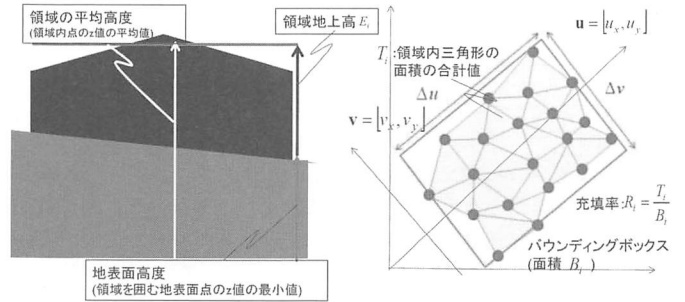


図5 領域地上高の概要

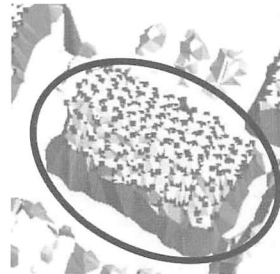


図7 領域充填率により建物判定された非平坦領域

図6 領域充填率の概要



真クラス	予測結果				前報[3]		検出不足	過検出
	地表面判定	建物判定	非建物判定	合計	検出不足[%]	過検出[%]		
地表面	729,073	6,834	7,392	743,299	1.9	12.5	4.3	26.4
建物	3,302	451,898	46,958	502,158	10.0	18.1	11.4	19.6
植生	62,414	78,727	192,202	333,343				
その他	27,250	5,216	58,266	90,732	40.9	26.6	65.8	13.4
合計	822,039	542,675	304,818	1,669,532				

表2 前報[2]と同じ建物判定基準を用いた際の分類精度

真クラス	予測結果				前報[2]		検出不足[%]	過検出[%]
	地表面判定	建物判定	非建物判定	合計	検出不足[%]	過検出[%]		
地表面	722,015	13,315	7,967	743,297			2.9	11.7
建物	2,720	443,799	55,668	502,187			11.6	18.2
植生	56,025	71,742	205,332	333,099			37.5	29.8
その他	27,966	6,191	65,010	99,167				
合計	808,726	535,047	333,977	1,677,750				

も過剰検出,検出不足共に 1.4%程度減少している事が確認できた。また表1と表2を見比べてみると建物については検出不足,過検出とも若干の改善が見られる事が確認できた。以上の事から提案する地表面判定手法の改善,および領域の地上高,形状を用いた建物判定が精度向上において有効である事を確認できた。また地表面分離において,提案アルゴリズムが 5m メッシュ等の併用データを使用せず,都市部や工場地帯といった様々な特性を持つ地形に対しても有効である事を確認した。

今後の課題としてはさらなる精度向上のために,領域拡大条件およびさらに建物判定基準の検討が必要である。特に非地面点群のセグメンテーション精度のさらなる改善は,領域形状による判定の高精度化のためにも最も重要な課題である。

## 参考文献

- [1] Qian-Yi Zhou,Urich Neumann,"Fast and Extensible Building Modeling from Airborne LiDAR Data", ACM GIS, No.7,(2008)
- [2] Franz Rottensteiner, John Trinder, et al, "Building detection models from LiDAR data and the integration of aerial images",DICTA,vol7, pp.10-12, (2003)
- [3] 宇井宏太郎 他「航空機 LiDAR データの領域ベース認識分類に関する研究-建物領域の高精度認識-」, 精密工学会 春季大会学術講演会, pp.721-722,(2011)
- [4] Tovari D ,Pfeifer N, "Segmentation based robust interpolation -a new approach to laser date filtering" ISPRS XXXVI ,pp79-84 (2005)
- [5] Vosselman G, "Slope based filtering of laser altimetry data."ISPRS XXXIII, pp 835-942 (2000)