

バイラテラルフィルタを用いたレーザプロファイラデータからの樹木抽出

Tree Extraction form Airborne Laser Scanner Data by Bilateral Filter

平岡 透*・碓 正敬*

Toru HIRAOKA and Masataka IKARI

Abstract: In this technical report, we propose a new method to extract tree data form airborne laser scanner data by bilateral filter. We prove the effectiveness of the proposed method through experiments which used airborne laser scanner data of river area. Finally, we comment on the respects in which the proposed method is improved and on future prospects.

Keywords: レーザプロファイラ, 樹木, バイラテラルフィルタ, 自動抽出

1. はじめに

近年、河川の持つ水辺の価値の大きな期待に伴い、高水敷利用、景観、生物の生息や生育の面から、河川区域内の樹木に対して大きな関心が寄せられている(財団法人リバーフロント整備センター, 1999)。平成10年6月には、建設省(現国土交通省)河川局が、河川区域内における樹木の伐採、植樹、管理についての一般的な技術的基準「河川区域内における樹木の伐採・植樹基準」を定めている。また、水理解析においても樹木の範囲、樹高、樹木の密生状態が重要な要素と認識されている(福岡ら, 1992, 2007; 八木ら, 2008)。樹木の伐採、植樹、管理を計画的に実行するためには、また樹木の情報を含んだ水理解析を行うためには、河川区域内の樹木を面的及び定量的にデータとして整備する必要がある。河川区域内の樹木に関連するデータを整備する多くの場合、航空写真のオルソフォト(正射投影写真)から樹木範囲を手動で作成し、現地調査によって樹木範囲の修正及び樹高や樹木の密生状態などのデータの取得を行っており、多くの手間を要している。航空写真のオルソフォトから樹木範囲を手動で作成する際や、現地調査において樹木範囲の修正及び

樹高や樹木の密生状態などのデータを目視で取得する際、観測者の主観によるところが大きく、データの精度においても問題がある。

現在、河川区域内の樹木に関連するデータを整備する手間を省くために、また樹木に関連するデータの精度を客観的な基準で確保するために、航空機に搭載されたレーザプロファイラ(LP)から得られたデータを用いる方法(吉久ら, 2008)が提案されている。LPは広範囲の3次元点群データを短時間で高精度に取得でき、LPデータは樹木や建物などの場所において地表面以外の樹木や建物の上表面から構成されるという特徴がある。

そこで、本技術報告では、LPデータから樹木と推測される点群データ(樹木データ)を抽出する新しい方法を提案し、河川区域内のLPデータを用いた実験を通してその有効性を示す。航空写真のオルソフォトに樹木データをマッピングすれば、樹木範囲を手動で作成する際に観測者による主観を大きく排除することができ、また現地における樹木範囲の修正作業を減らすことができ、これによって樹木範囲の精度の向上や作業の効率化が図れる。関連研究として、樹高の空間分布を考慮した方法(杉盛ら, 2003)や樹冠形状モデルに基づく方法(田口ら, 2008)などが存在するが、提案法はバイラテラルフィルタ(BF)(Tomasi et al., 1998; Liu et al., 2006; 浦浜, 2008; 常センら, 2009)を用いる方法であり、いずれの方法ともアプローチが

*株式会社東京建設コンサルタント環境防災部
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 49, NO. 2, 2010

異なる。また、提案法は、単に BF を用いるだけでなく、LP データから樹木データを抽出する際に必要となる各種パラメータの設定方法も含んでいる。

2. 方 法

提案法は、まず LP データの標高値を BF での輝度値とすることで LP データを BF で変換して変換前後のデータの較差から樹木データを一部抽出し（樹木データ 1）、次に樹木データ 1 から樹木以外のデータを除去し（樹木データ 2）、その後樹木データ 2 から孤立したデータを除去し（樹木データ 3）、最後に樹木データ 3 にこれまでの処理で樹木として抽出されなかった LP データを加えることで最終的な樹木データを作成するという手順で実行される。提案法のフローチャートを図 1 に示し、図 1 の各 Step の処理の詳細を以下に示す。

<Step 1 : 樹木データから樹木データ 1 の抽出>

LP データを $d_i(d_{x,i}, d_{y,i}, d_{z,i})(i=1, 2, \dots, I)$ (単位: m) とする。樹木データ d_i の i 番目の点から X-Y 平面上で半径 H_1 以内にある樹木データ d_i の点の添え字 i の集合を $a_{i,j}(j=1, 2, \dots, J_i)$ とし、BF を通した出力値 $f_{z,i}$ を式(1)で求める。

$$f_{z,i} = \frac{\sum_{j=1}^{J_i} d_{z,a_{j,i}} e^{-a[(d_{x,i}-d_{x,a_{j,i}})^2 + (d_{y,i}-d_{y,a_{j,i}})^2] - \beta(d_{z,i}-d_{z,a_{j,i}})^2}}{\sum_{j=1}^{J_i} e^{-a[(d_{x,i}-d_{x,a_{j,i}})^2 + (d_{y,i}-d_{y,a_{j,i}})^2] - \beta(d_{z,i}-d_{z,a_{j,i}})^2}} \quad (1)$$

ここで、 α と β は正定数である。

パラメータ β の設定であるが、 $d_{z,i}$ のノイズの標準

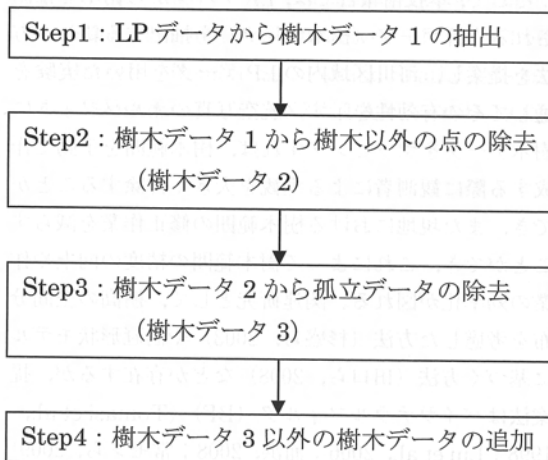


図 1 提案法のフローチャート

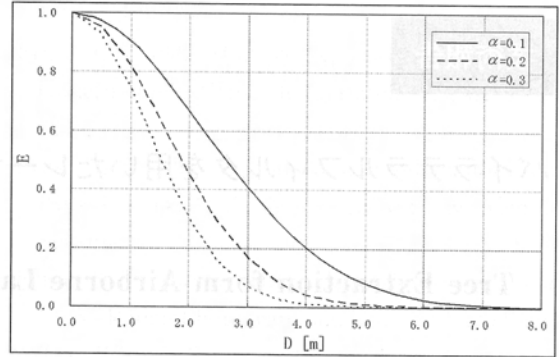


図 2 パラメータ α による D と E の関係

偏差 σ を推定して $\beta=1/(1.95\sigma)$ とする経験則が提案されており (Liu et al., 2006), 寺岡らの文献 (2004) を参考にして樹木部の LP データの標準偏差 σ を 1.2 m とすることで、 $\beta=0.4$ とする。パラメータ H_1 の設定であるが、樹木の樹冠の半径は樹種や樹齢などによって異なるがおおよそ 5.0m 以内であると考えられるため (梅木, 1993; 梶原, 2008), $H_1=5.0$ m とする。パラメータ α の設定であるが、 $(d_{x,i}-d_{x,a_{j,i}})^2 + (d_{y,i}-d_{y,a_{j,i}})^2 = D^2$ とし $E=e^{-aD^2}$ における D と E の関係 (図 2 参照) から、 α が 0.2 以上で D が 5.0m ($=H_1$) の場合に E の値が 0 に近い値となるため、 $\alpha=0.1$ とする。

BF は、ガウス性の白色ノイズの除去能力とエッジの保存能力の両方を兼ね備えたスムージングフィルタである。つまり、出力値 $f_{z,i}$ は、地表面や建物の屋上のように平らな面は樹木データ d_i とほとんど同じ値になり、樹木のように細かい凹凸のある領域は滑らかになり、送電線のように急峻な凸状の場所は除去され、建物と地表面との境界部分の高低差は保存されると予測できる。

次に、 $d_{z,i}-f_{z,i}$ の値が H_2 以上で且つ H_3 以下となる点を樹木データとして抽出し、樹木データ $1s_k(s_{x,k}, s_{y,k}, s_{z,k})(k=1, 2, \dots, K)$ とする。

地表面や建物の屋上のように平らな面では $d_{z,i}-f_{z,i}$ の絶対値が小さくなり、送電線のように急峻な凸状の場所では $d_{z,i}-f_{z,i}$ が大きな正の値となり、建物と地表面との境界部分では $d_{z,i}-f_{z,i}$ の絶対値が小さくなるため、これらの場所は樹木データ $1s_k$ として抽出されない。樹木のように細かい凹凸のある領域では、 $d_{z,i}-f_{z,i}$ の絶対値はある一定値以内となる。しかし、 $d_{z,i}-f_{z,i}$ の絶対値が 0 に近い値である場合は地表面

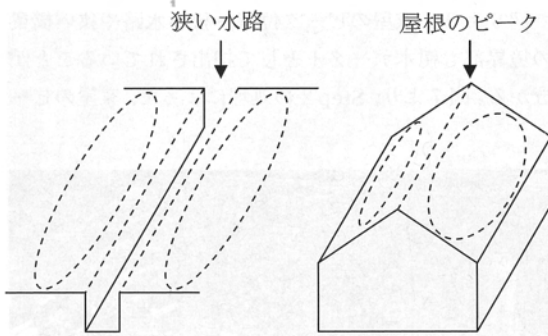


図3 樹木データ1として抽出される樹木以外の点

や建物の屋上のように平らな面である可能性もある。そこで、樹木領域の点のみを確実に抽出するために、パラメータ H_2 は地表面や建物の屋上を抽出しないように0.4m、またパラメータ H_3 は家屋の軒先の高さがおおよそ2.0m以上であることを考慮して2.0mと設定する。つまり、全ての樹木の点が樹木データ $1s_k$ として抽出される訳ではない。 $d_{z,i} - f_{z,i}$ の絶対値が0に近い値である樹木の点は、Step 4 の処理で追加する。一方、図3に示すような狭い水路やピーク状の屋根において、それぞれ水路の境界や屋根のピーク位置(図3の点線付近)が樹木データとして誤って抽出されるので、この樹木以外の点を Step 2 の処理で除去する。

<Step 2 : 樹木データ1から樹木以外の点の除去>

樹木データ $1s_k$ において、水路の境界部分や屋根のピーク位置の点を連結すると直線的な形状となり、水路の境界部分や屋根のピーク位置より少し離れた場所(図3の点線の楕円内)では点が存在しないというものとなる。この特徴を利用して、樹木データ $1s_k$ から水路の境界部分や屋根のピーク位置の点を除去する。

樹木データ $1s_k$ の k 番目の点から X-Y 平面上で半径 H_3 以内にある樹木データ $1s_k$ の点の添え字 k の集合を $b_{1,t_{1,k}}(l_{1,k}=1, 2, \dots, L_{1,k})$ とし、 k 番目の点を通る X-Y 平面上の直線 $(y - s_{y,k}) = c_k(x - s_{x,k})$ を最小自乗法で求める。

次に、樹木データ $1s_k$ の k 番目の点から X-Y 平面上で半径 H_4 以内にある樹木データ $1s_k$ の点の添え字 k の集合を $b_{2,t_{2,k}}(l_{2,k}=1, 2, \dots, L_{2,k})$ とする。直線 $(y - s_{y,k}) = c_k(x - s_{x,k})$ との距離が H_5 より小さい点 $b_{2,t_{2,k}}$ の個数を $e_{1,k}$ 、 H_5 以上の点 $b_{2,t_{2,k}}$ の個数を $e_{2,k}$ とし、 $e_{1,k}/(e_{1,k} + e_{2,k})$ が H_6 以上であれば、樹木以外の点として除去する。この樹木以外の点を樹木データ $1s_k$ から除去したデータを樹木データ $2t_m(t_{x,m}, t_{y,m}, t_{z,m})$

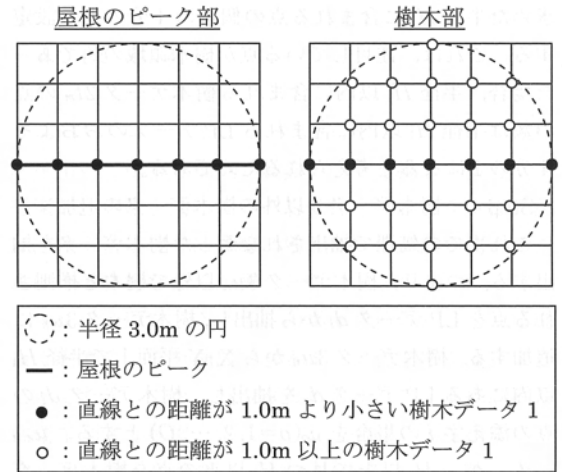


図4 H_6 の設定のための理想的な例

($m=1, 2, \dots, M$) とする。

パラメータ H_4 の設定であるが、3. 実験の図5の中で屋根のピークから軒先までの長さが最も短い場合が3.0mであり、一般的にも屋根のピークから軒先までの長さが最も短くても3.0m程度であると推測し、 $H_4=3.0m$ とする。これによって、屋根以外のデータの影響をできる限り受けなくなる。パラメータ H_5 の設定であるが、3. 実験の図6の中で屋根のピーク位置で取得されてデータと屋根のピークとの距離はおおよそ1.0mより小さくなっており、一般的にも同様な結果が得られると推測し、 $H_5=1.0m$ とする。パラメータ H_6 の設定であるが、図4に示すように正方形メッシュ上に LP データが存在する理想的な場合を考え、屋根のピーク部(図4の左側)で $e_{1,k}/(e_{1,k} + e_{2,k})$ が1.0、樹木部(図4の右側)で $e_{1,k}/(e_{1,k} + e_{2,k})$ が約0.2となることから、 H_6 は1.0と0.2の中央値である0.6とする。

<Step 3 : 樹木データ2から孤立データの除去>

樹木以外の点 $2t_m$ には、孤立した点も多く含み、Step 2 の処理で水路の境界部分や屋根のピーク位置の点が除去されずに孤立点として残ってしまい、主に樹木領域外で孤立点が発生するので、この孤立点を除去する。

樹木以外の点 $2t_m$ の m 番目の点から X-Y 平面上で半径 H_1 以内に含まれる樹木データ $2t_m$ の点の数を $e_{3,m}$ とし、 $e_{3,m}$ が H_7 より小さければ、孤立点として除去する。孤立点を除去した後のデータを樹木データ $3u_n(u_{x,n}, u_{y,n}, u_{z,n})(n=1, 2, \dots, N)$ とする。

パラメータ H_7 は、LP データの全体の平均密度から

求めた半径 H_1 に含まれる点の個数の 4 分の 1 と設定する。これは、注目している点が樹木領域の角であった場合、半径 H_1 以内に含まれる樹木データ $2t_m$ の点の数は半径 H_1 以内に含まれる LP データのおおよそ 4 分の 1 になると考えられるためである。

< Step 4 : 樹木データ 3 以外の樹木データの追加 >

これまでの処理で抽出されなかった樹木データを抽出する。つまり、樹木データ $3u_n$ 以外で樹木と推測される点を LP データ d_i から抽出し、樹木データ $3u_n$ に追加する。樹木データ $3u_n$ から X-Y 平面上で半径 H_3 以内にある LP データ d_i を抽出し、樹木データ d_i の点の添え字 i の集合を $g_o (o=1, 2, \dots, O)$ とする。 $u_{z,n} - d_{z,g_o}$ が $-H_3$ 以上で且つ H_2 以下の点を樹木データ $3u_n$ に追加することで、最終的な樹木データとする。

3. 実 験

以上の方法を樹木、家屋、狭い水路の存在する 350 m × 180 m の範囲の河川区域 (図 5 参照) に適用した。この範囲に含まれる LP データは 124,710 個の点から構成され、1 m² に約 2 個の点が存在する。LP データの計測緒元は、対地高度が 1,200 m、パルスモードが First Pulse/Last Pulse、スキャン角が 38 度である。図 5 は航空写真のオルソフォトであり、図 5 の黒枠内は樹木部であると想定される範囲 (樹木範囲) で、航空写真測量の業務に 10 年以上携わった技術者が航空写真のオルソフォトを基に入力したものである。

Step 1 の処理後の結果を図 6 に、Step 2 の処理後の結果を図 7 に、Step 3 の処理後の結果を図 8 に、最終的な Step 4 の処理後の結果を図 9 に、航空写真のオルソフォトに重ねて示す。図 9 には樹木範囲も重ねている。図 6 から図 9 の白い点が抽出された樹木データである。

図 6 より、家屋のピーク位置、狭い水路や狭い橋梁の境界部も樹木データ 1 として抽出されていることが分かる。図 7 より、Step 2 の処理によって、家屋のピー



図 6 Step 1 の処理後の樹木データ 1



図 7 Step 2 の処理後の樹木データ 2



図 8 Step 3 の処理後の樹木データ 3



図 5 実験で使用した河川区域の範囲



図 9 Step 4 の処理後の樹木データ



図10 Step 1においてBFの代わりに平均値を用いて抽出された樹木データ

ク位置、狭い水路や狭い橋梁の境界部の樹木以外のデータが除去されていることが分かる。図8より、Step 3の処理によって、孤立点が除去されていることが分かる。図9より、Step 4の処理によって、樹木データがより高密度で抽出されており、樹木領域の境界で樹木が抽出されない場合や樹木範囲外で抽出される場合も多少あったが、良好に樹木領域をカバーしていることが分かる。住宅密集地における家屋の一部分や地面も樹木データとして誤って抽出される場合もあった。

更に、BFの効果を評価するために、Step 1でBFを用いる代わりに、半径 H_3 (5.0m) 以内のLPデータのZ値(標高)の平均によってLPデータを滑らかにして実験を行った。この場合のStep 1の処理後の結果を図10に示す。図10より、堤防、橋梁、家屋など多くの場所で樹木データとして抽出されており、図6と比較して多くの樹木以外の点が抽出されていることが分かる。また、定量的に評価するために、樹木データとして抽出された点における樹木範囲に含まれる点の割合(正解率)を図6と図10でそれぞれ求めた。図6の正解率が77.6%、図10の正解率が54.8%であった。この結果からも、図6の方が、図10よりも良好な結果が得られていることが分かる。

筆者らの経験から、提案法によって得られる樹木データの抽出精度でも、航空写真のオルソフォトに樹木データを重ねて表示し、樹木範囲を手動で作成する際、観測者の主観を十分に排除でき、樹木範囲の精度向上が図れると考えられる。また、現地における樹木範囲の修正作業の削減にも繋がり、作業の効率化も図れるとも考えられる。

4. まとめ

レーザプロファイラデータからバイラテラルフィルタを用いて樹木と推定されるデータを抽出する方法を提案し、実験を通してその有効性を検証した。提案法は、住宅密集地では課題は残るが、河道内の樹木であれば十分良好な結果が得られることが分かった。

今後の課題は、より多くの場所で検証し、より精度良く樹木データを抽出できるように提案法を改良することである。また、航空写真のオルソフォトや高解像度衛星画像も利用して(寺岡ら, 2004)、より精度良く樹木データを抽出できるようにすることも考えている。

(受付日2009.12.18, 受理日2010.3.12)

参考文献

- 財団法人リバーフロント整備センター, 1999. 河川における樹木管理の手引き, 山海堂, 東京.
- 福岡捷二, 藤田光一, 新井田浩, 1992. 樹木群を有する河道の洪水位予測, 土木学会論文集, No. 447, II-19, pp.17-24.
- 福岡捷二, 佐藤宏明, 藤澤 寛, 大沼史佳, 2007. 樹洪水流と河道の樹木繁茂形態に基づく樹木群透過係数と粗度係数の算定法, 水工学論文集, No. 51, pp. 607-612.
- 八木澤順治, 田中規夫, 福岡捷二, 2008. 砂礫州上に繁茂する植生の洪水流出限界評価, 河川技術論文集, No. 14, pp.139-144.
- 寺岡正樹, 吉岡善文, 瀬戸島正博, 今井靖晃, 2004. 高解像度衛星画像とLIDARデータを用いた樹木単木抽出, 日本写真測量学会平成16年度秋季学術講演会, pp.61-64.
- 吉久真弘, 力丸 厚, 高橋一義, 坂田健太, 2008. 航空レーザスキャナデータと空中写真オルソ画像を用いた河道内の植生三次元分布状況の把握, 第26回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, II-2-2207.
- 杉盛啓明, 恩田裕一, 村手直明, 徳村公昭, 大森博雄, 2003. 樹高の空間分布を考慮した航空機レーザスキャナデータからの地表面推定法, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 42, No. 1, pp. 4-11.
- 田口 仁, 遠藤貴宏, 吉岡善文, 2008. LiDAR点群データを用いた樹冠形状モデルに基づく単木樹冠および

- 樹高推定, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 28, No. 4, pp.331-341.
- C. Tomasi and R. Manduchi, 1998. Bilateral Filtering for Gray and Color Image, Proc. ICCV, pp.839-846.
- C. Liu, W.T. Freeman, R. Szeliski and S. King, 2006. Noise Estimation from a Single Image, Proc. CVPR, pp.901-908.
- 浦浜喜一, 2008. 画像の本質を引き出すーバイラテラルフィルタによるノイズ除去とイラスト風画像の生成, 映像情報メディア学会誌, Vol. 62, No. 8, pp.1268-1273.
- 常セン, 井上光平, 浦浜喜一, 2009. 反復バイラテラルフィルタによるコントラスト強調, 映像情報メディア学会誌, Vol. 63, No. 7, pp.999-1001.
- 常セン, 浦浜喜一, 2009. ロバストクロスバイラテラルフィルタによるインパルス雑音除去, 電子情報通信学会誌, Vol. j92-A, No. 11, pp.929-931.
- 梅木清, 1993. 針葉樹と広葉樹の大きさ, 光珠内季報, No. 93, pp. 5-8.
- 梶原幹弘, 2008. 究極の森林, 京都大学学術出版会, 京都.