レーザプロファイラデータを用いた航空写真からの影抽出

Shadow Extraction from Aerial Imagery
by Using Airborne Laser Scanner Data

平岡 透*・亀野 辰三*

Toru HIRAOKA and Tatumi KAMENO

Abstract : Many GIS (Geographic Information System) users are willing to remove the shadow from aerial imagery. In order to remove the shadow from aerial imagery, it is necessary to extract the shadow area and convert the luminance value of the shadow area. However, it is difficult to extract the shadow area using only the luminance value of aerial imagery. Therefore, in the background that aerial imagery and airborne laser scanner data is acquired at the same time in recent years, we propose a shadow extraction method from aerial imagery using airborne laser scanner data. We prove the effectiveness of the proposed method through the experiments. Finally, we comment on the respects in which the proposed method is improved and on future prospects.

Keywords : 航空写真, レーザプロファイラ, 影抽出

1. はじめに

航空写真には建物や樹木などの影が写り込み、この影の領域は暗く見えにくいため、地理情報システム (GIS: Geographic Information System) (秋山, 1996) のユーザやデジタル写真測量 (村井, 2008) の技術者から航空写真に写り込んでいる影を除去することが望まれている。航空写真への影の映り込みを少なくするためには、太陽の位置が南中に近い夏季の正午に航空写真の撮影を行えば良いと考えられるが、夏季は水蒸気や雲が多く航空写真の撮影には適さず、影の長くなる秋から春の時期に航空写真の撮影が多く行われている。

航空写真からの影の除去には、航空写真から影の領域を抽出し、抽出された影領域の輝度値を変換する必要がある。航空写真からの影領域の抽出は、航空写真の輝度値を用いて比較的暗い領域を抽出することで行われる (カイリルら, 2004)。しかし、航空写真の輝度値を用いる方法では、路面や建物の屋上などが黒色に近い場合、誤って影領域として抽出される。

本稿では、影領域でない黒色に近い場所を影領域として抽出しないための航空写真からの影領域の抽出の方法を提案する。提案法は、航空写真の輝度値とレーザプロファイラデータ (政春ら, 2001) の標高値を組み合わせたものである。本稿で用いるレーザプロファイラデータは、建物や樹木などの地表以外の点も含むもので、一般に DSM (Digital Surface Model) と呼ばれているものである。

2. 方 法

提案法は、「航空写真の輝度値による影領域の抽出」と「レーザプロファイラデータを用いた影領域の修正」という大きく 2 つの処理 (図 1 参照) によって実行される。

図 1 提案法の処理の流れ

*大分工業高等専門学校

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 51, NO. 3, 2012

2.1 航空写真の輝度値による影領域の抽出

航空写真の性質上、輝度値の出現頻度のヒストグラム（以下、濃度ヒストグラム）には、明確な2つの山と1つの谷が存在することが多い(カイリルら, 2004)。濃度ヒストグラムの2つの山の内、輝度値の低い方の山が影領域で、輝度値の高い方の山が影以外の領域である。つまり、濃度ヒストグラムの谷の輝度値を閾値として、閾値よりも低い輝度値を影領域として抽出する。

2.2 レーザプロファイラデータを用いた影領域の修正

レーザプロファイラデータを用いた影領域の修正は、「太陽光の入射方向と入射角の推定」、「太陽光と標高画像による影領域の抽出」、「レーザプロファイラデータによる影領域の修正」という大きく3つの処理(図2参照)によって実行される。

航空写真は $I \times J$ 個の画素で構成され、前の処理で航空写真の輝度値によって影領域として抽出された画素値 $P_{i,j}$ ($i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J$) を1、そうでない画素値 $P_{i,j}$ を0とする。レーザプロファイラデータを内挿補間して、航空写真の各画素の中心の標高 $h_{i,j}$ ($i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J$) を求める（以下、標高画像）。標高画像 $h_{i,j}$ にウィンドウサイズ 3×3 のメディアンフィルタ（八木ら, 1992）の処理を行い、この標高画像を $H_{i,j}$ とする。標高画像 $H_{i,j}$ は、電柱や電線などのように急峻に高くなっている標高値が取り除かれている。

<太陽光の入射方向と入射角の推定>

太陽光の方位による入射方向を θ_1 、高度による入射角を θ_2 として(図3参照)、 $\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \delta_{kl}$ を最大にするような入射方向 θ_1 と入射角 θ_2 を推定する。ここで、 δ_{kl} はクロネッカーのデルタであり、 $k=P_{i,j}$ 、 $l=Q_{i,j}$ である。 $Q_{i,j}$ ($i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J$) は、図3に示すよ

図2 レーザプロファイラデータを用いた影領域の修正の処理の流れ

うに、標高画像 $H_{i,j}$ の各画素に注目し、入射方向 θ_1 と入射角 θ_2 において太陽光を遮る標高画像 $H_{i,j}$ の画素が存在すれば影領域として1の値、そうでなければ0の値になる。

$$\begin{aligned} \max_{\theta_1, \theta_2} & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \delta_{kl} \\ \text{subject to } & k=P_{i,j} \\ & l=Q_{i,j} \end{aligned} \quad (1)$$

<太陽光と標高画像による影領域の抽出>

前の処理で求めた入射方向 θ_1 と入射角 θ_2 を用いて得られた影領域および影以外の領域を $Q_{i,j}$ として以下の処理で使用する。

<レーザプロファイラデータによる影領域の修正>

まず、航空写真の輝度値によって抽出された影領域

図3 太陽光と標高画像による影領域

図4 航空写真に倒れ込んで写る建物側面の影領域

$P_{i,j}$ と太陽光と標高画像 $H_{i,j}$ によって抽出された影領域 $Q_{i,j}$ の論理和をとり, $R_{i,j}(i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J)$ ($R_{i,j}=1$ のとき影領域, $R_{i,j}=0$ のとき影以外の領域) を作成する。 $R_{i,j}$ には, 航空写真の輝度値を用いて抽出できなかった影領域が追加されている。

次に, $P_{i,j}$ から $Q_{i,j}$ の論理差をとり, $S_{i,j}(i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J)$ を作成する。 $S_{i,j}$ の影領域には, 中心投影の航空写真に倒れ込んで写っている建物などの構造物の側面の影領域 (図 4 参照) や, 誤って抽出された影領域が含まれている。 $S_{i,j}=1$ の画素が連結されている塊をラベリング (八木ら, 1992) し, M 個の塊があったとし, 各塊の画素数 $C_m(m=1, 2, \dots, M)$ を求める。各塊と接する $Q_{i,j}=1$ の連結した画素数 $D_m(m=1, 2, \dots, M)$ を求める。 C_m/D_m が a (正定数) 以上の塊を構成する位置の $R_{i,j}$ の画素値を 0 とする。図 4 に示すように, 倒れ込んで写っている建物側面の影領域は, 必ず $Q_{i,j}=1$ の画素と接すると考えられるため, C_m/D_m が小さい値をとることになる。 C_m/D_m が小さい値をとる場合でも影領域でない場合も考えられるが, 本実験では C_m/D_m が大きい場合を, 影領域として誤って抽出された画素として, 影領域から取り除くこととした。以下の実験では, $a=0.2$ とした。

最終的に, $R_{i,j}=1$ の画素が影領域となる。

3. 実 験

提案法を $150\text{m} \times 50\text{m}$ の範囲の航空写真 (図 5 参照) に適用した。航空写真の地上分解能は 1.0m である。この航空写真の濃度ヒストグラムを図 6 に示す。濃度ヒストグラムの横軸が輝度値であり, 縦軸が輝度値の出現頻度である。濃度ヒストグラムの 2 つの山の間の谷の輝度値が 141 であるため, 輝度値が 141 以下を航空写真の影領域として抽出した。航空写真から輝度値によって抽出された影領域を図 7 に示す。図 7 は, 抽出された影領域を白色で, 影以外の領域を図 5 の航空写真の輝度値で表現している。図 7 の A 地点では影領域を抽出できておらず, B 地点の屋上は誤って影領域として抽出されていることが分かる。

まず, 太陽光の入射方向と入射角の推定であるが, 式(1)によって, 太陽光の入射方向 $\theta_1=208.437^\circ$ と入射角 $\theta_2=27.204^\circ$ が得られた。太陽光の入射方向 θ_1 は北方向を 0° として時計回りの角度である。図 5 の航空写真では上が北である。式(1)の解を求める方法であるが,

図 5 実験範囲の航空写真

図 6 航空写真の濃度ヒストグラム

図 7 航空写真の輝度値によって抽出された影領域

図 8 レーザプロファイラデータによって修正した影領域

まず太陽光の入射方向 θ_1 と入射角 θ_2 をそれぞれ 0° から 360° の間と 0° から 90° の間での 1° 刻みの値の組合せの中から全探索し, その後得られた入射方向 θ_1 と入射角 θ_2 をそれぞれ $\pm 1^\circ$ の間での 0.001° 刻みの値の組合せの中から全探索した。

次に, レーザプロファイラデータによる影領域の修正であるが, 本実験で使用したレーザプロファイラデータは, 図 5 の航空写真の範囲に 8,055 個の点が存在し, 1m^2 に約 1 個の点が存在する。また, レーザプロファイラデータは, 図 5 の航空写真の範囲の 25m 外側までのデータを用いて以下の実験に適用している。図

図9 手動で抽出した影領域（正解画像）

表1 影領域の抽出結果

	影領域 抽出画素数	影以外領域 抽出画素数	正解率 [%]	誤り率 [%]
輝度値による抽出結果	2,519	492	93.055	16.340
提案法による抽出結果	2,594	475	95.826	15.477

※影領域全画素数：正解画像の影領域の画素数（2,707）
 影領域抽出画素数：正解画像の影領域内で影領域として抽出された画素の数
 影以外領域抽出画素数：正解画像の影以外の領域で影領域として抽出された画素の数
 $\text{正解率} = (\text{影領域抽出画素数} / \text{影領域全画素数}) \times 100$
 $\text{誤り率} = (\text{影以外領域抽出画素数} / (\text{影領域抽出画素数} + \text{影以外領域抽出画素数})) \times 100$

7の影領域をレーザプロファイラデータを用いて修正した最終的な結果（最終的な $R_{i,j}$ ）を図8に示す。図8は、抽出された影領域を白色で、影領域以外を図5の航空写真の輝度値で表現している。図8より、図7のA地点では抽出できなかった影領域が抽出されていることが分かる。また、図7のB地点の屋上では誤って抽出されていた影領域が図8では抽出されていないことが分かる。

図7と図8の結果を定量的に評価するために、十年以上の写真測量の経験のある技術者が影領域を手動で抽出した正解画像（図9参照）と比較した。この結果を表1に示す。表1より、図8の提案法を用いて抽出された結果は、図7の航空写真の輝度値のみによって抽出された結果よりも影領域抽出画素数と正解率が大きく、影以外領域抽出画素数と誤り率が小さいことが分かる。ここで、影領域抽出画素数とは正解画像の影領域内で影領域として抽出された画素の数であり、影以外領域抽出画素数とは正解画像の影以外の領域で影領域として抽出された画素の数である。また、正解率とは正解画像の影領域の画素数（以下、影領域全画素数）に対する影領域抽出画素数の割合であり、誤り率

とは影領域として抽出された画素数（影領域抽出画素数＋影以外領域抽出画素数）に対する影以外領域抽出画素数の割合である。つまり、提案法を用いて抽出された結果は、輝度値のみによって抽出された結果よりも精度良く影領域を抽出できていることが分かる。

4. おわりに

航空写真の輝度値を用いて影領域を抽出する方法では、影領域を抽出できない場合や誤って影以外の場所を影領域として抽出する場合があるため、レーザプロファイラデータを用いて影領域の抽出の精度を向上させる方法を提案し、その有効性を実験を通して定性的かつ定量的に評価した。提案法は、航空写真からの影領域の抽出の精度向上に寄与できるものであることが分かった。今後の課題は、より多くの場所で実験を行い、提案法に改良を加えることである。また、航空写真の範囲が広がれば提案法の計算量は指数関数的に増加すると考えられるため、提案法の高速化の手法を開発することも今後の課題である。

謝 辞

本研究で使用したレーザプロファイラデータは、国土交通省 九州地方整備局 大分河川国道事務所 調査第一課より提供して頂きました。深く感謝申し上げます。

（受付日2012.4.11，受理日2012.5.18）

参考文献

- 秋山 実，1996. 地理情報の処理，山海堂，東京。
- カイリルアズミ，小野晋太郎，影沢政隆，池内克史，2004. 広域仮想都市構築のための航空写真影解析による3次元情報復元，第3回ITSシンポジウム。
- 政春尋志，大坪和幸，長谷川裕之，2001. レーザスキャナーデータのフィルタリング手法の比較検討，日本写真測量学会平成13年度年次学術講演会，pp.181-184。
- 村井俊治，2008. 改訂版空間情報工学，社団法人日本測量協会，東京。
- 八木伸行，井上誠喜，林 正樹，中須英輔，三谷公二，奥井誠人，鈴木正一，金次保明，1992. C言語で学ぶ実践画像処理，オーム社，東京。