

研究速報

マルチスペクトル画像からの樹冠円抽出の高速化

井上 光平[†] (正員) 朝廣 和夫[†]

上原 三知^{††} 重松 敏則[†]

瀬戸島政博^{†††}

Speed-up of Extraction of Circular Tree Crowns from
Multispectral Images

Kohei INOUE[†], Member, Kazuo ASAHIRO[†],
Misato UEHARA^{††}, Toshinori SHIGEMATSU[†], and
Masahiro SETOJIMA^{†††}, Nonmembers

[†]九州大学大学院芸術工学研究院, 福岡市

Faculty of Design, Kyushu University, Fukuoka-shi, 815-8540
Japan

^{††}九州芸術工科大学大学院芸術工学研究科, 福岡市

Faculty of Design, Kyushu Institute of Design, Fukuoka-shi,
815-8540 Japan

^{†††}国際航業株式会社, 東京都

Kokusai Kogyo Co., Ltd., Tokyo, 102-0076 Japan

あらまし 小村ら [1] によって提案された樹冠円抽出法をマルチスペクトル画像に適用する際の高速化法を提案する。

キーワード 樹冠円抽出, マルチスペクトル画像, データフィルタリング

1. まえがき

樹木上部の枝葉で形成される樹冠の様子は、ヘリコプターなどを用いて上空から撮影することができる。樹冠は森林の二酸化炭素吸収量を推定する指標として有効であることが知られており、樹冠の大きさや分布を定量的に解析することが求められている [2]。小村ら [1] は樹冠形状を円で近似し、空撮画像から樹冠円を自動抽出する方法を提案した。また同著者によって最近、フラクタル次元を用いる方法も提案されている [3]。樹木の位置を検出する方法 [4] は既に提案されているが、樹冠の大きさも考慮した方法は、小村らによる上記二つの方法 [1], [3] のほかにはあまり見られないようである。これら二つの方法のうち前者の樹冠円抽出法は、樹冠形状を円でモデル化するので抽出結果の視認性が高く、また各樹冠円を中心の2次元座標と半径の三つの値で表せることから面積計算などの計算機処理が容易であるなどの利点がある。このような理由から筆者らは最近、小村らの樹冠円抽出法 [1] を九州北部里山林の実態把握に利用している [5]。現在は可視光カメラで撮影したカラー画像を対象としているが、より詳細な植生解析を行うには、植物の分光特性も考慮してマルチスペクトル画像を扱う必要があると考えられる。しかし、それによって扱う画像の枚数が

増えると計算量も増加するという問題が生じる。そこで本論文では、マルチスペクトル画像から樹冠円を抽出する際に、抽出精度を落とすことなく計算量を削減して処理を高速化する方法を提案し、簡単な実験で有効性を確認する。

以下、2. で小村らの手法を概括し、3. で高速化法を提案し、4. で実験結果を示す。

2. 樹冠円の抽出

まず、小村らの手法をマルチスペクトル画像に拡張した形で概説する。

m 枚の画像からなるマルチスペクトル画像が与えられるとする。各画像の画素数は n とする。画像 i の画素 j の値を d_{ij} ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$) とする。一つの画素 j を樹冠円の中心とすると、その樹冠円の半径 r_j は次のようにして決定される。まず決定前の途中の段階での r_j の候補を r'_j とし、 $D(j, j') \leq r'_j$ を満たす画素 j' の集合を $C_j(r'_j)$ とする。ここで $D(j, j')$ は画素 j と j' の間のユークリッド距離である。画素値の変動を許容するためのしきい値を $h (\geq 0)$ とし、すべての $j' \in C_j(r'_j)$ に対して $\max_{i \in \{1, \dots, m\}} \{|d_{ij} - d_{ij'}|\} \leq h$ なら r'_j を j を中心とする樹冠円の半径の候補として残す。 r'_j を徐々に大きくしていき、上記の条件を満たす最大の r'_j を r_j とする。すべての画素 $j \in \{1, \dots, n\}$ についてこの r_j を求め、大きな樹冠円から順に抽出していく。抽出された樹冠円に含まれる小さな樹冠円は順次除去していく。

この手法は、すべての画素 j について樹冠円半径 r_j を求める全探索法であり、計算量削減の余地が残されている。次節では r_j を計算する画素をできるだけ少なくして処理を高速化する手法を提案する。

3. 画素のフィルタリングによる高速化

マルチスペクトル画像を構成する m 枚の画像から最初の $\tilde{m} (< m)$ 枚を選ぶ (画像の順番を適当に変えることによって任意の \tilde{m} 枚を選ぶことができるが、事前情報がないときは単純に最初の \tilde{m} 枚を選ぶことにする)。選んだ \tilde{m} 枚の画像だけを用いて求めた樹冠円の半径を \tilde{r}_j とすると

$$\tilde{r}_j \geq r_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (1)$$

が成り立つ (証明は付録に記す)。本論文ではこの \tilde{r}_j を樹冠円半径 r_j の上限値と呼ぶことにする。 \tilde{r}_j は \tilde{m} 枚の画像だけを参照して求めるので、 m 枚すべてを参照して求める r_j よりも計算量が少ない。これらのことを利用した樹冠円抽出の手順は以下ようになる。

Step 0: 樹冠円の半径の最小値 r_{\min} を設定する。
 Step 1: すべての $j \in \{1, \dots, n\}$ について樹冠円半径の上限値 \tilde{r}_j を計算する。
 Step 2: \tilde{r}_j をソーティングして $\tilde{r}_{j_1} \geq \dots \geq \tilde{r}_{j_n}$ となるように番号 j_k ($k = 1, \dots, n$) を付ける。
 Step 3: r_{j_1} をまだ計算していなければ計算し, $t = r_{j_1}$ と初期設定し, (j_1, r_{j_1}) を樹冠円の候補とする。 \tilde{r}_{j_1} の値を r_{j_1} の値に更新する。またソーティングした順に画素を参照するための番号を $k = 2$ と初期設定する。
 Step 4: $\tilde{r}_{j_k} < t$ なら Step 7 へ。その他で r_{j_k} をまだ計算していないなら r_{j_k} を計算し, \tilde{r}_{j_k} の値を r_{j_k} の値に更新して次へ。
 Step 5: $r_{j_k} > t$ なら (j_k, r_{j_k}) を新たな樹冠円候補として $t = r_{j_k}$ と更新する。
 Step 6: k を 1 だけ増やし, $k \leq n$ なら Step 4 へ。その他は次へ。
 Step 7: 樹冠円候補の半径が r_{\min} 以上なら樹冠円として抽出し, 抽出した樹冠円に含まれる画素 j の \tilde{r}_j を 0 にして Step 2 へ。その他は抽出した樹冠円を出力して終了。

この手順では, Step 4 で $\tilde{r}_{j_k} < t$ となる j_k について r_{j_k} の計算を省略することで高速化を図っている。このような省略ができるのは, 式 (1) によって $\tilde{r}_{j_k} < t$ なら $r_{j_k} < t$ であることが保証されるからである。本手法では, 除去されずに最後まで残る樹冠円については Step 3 または Step 4 で r_j を計算するので, そのような画素 j では計算量は削減されないが, 大きい樹冠円に含まれる小さい樹冠円については $\tilde{r}_j < t$ なら r_j を計算せずに除去できるので, そのような画素 j では計算量が削減できる。すなわち最終的に除去される樹冠円の中心の画素 j のうち, $\tilde{r}_j < t$ を満たすものについて計算量を削減することができる。森林の空撮画像から樹冠円を抽出する場合は, 大部分の画素で樹冠円が除去されるので本手法によって抽出処理が高速化されると期待される。

4. 実験

80 枚の画像からなるマルチスペクトル画像で実験した。各画像のサイズは 103×109 である。画像の例を図 1 に示す。樹冠円の抽出に要した時間を図 2 に示す。

グラフの横軸は, 画素値の変動を許容するためのしきい値 h である。この値が小さいほど画素値の変動を検出しやすくなり, 結果として細かな樹冠円が多く

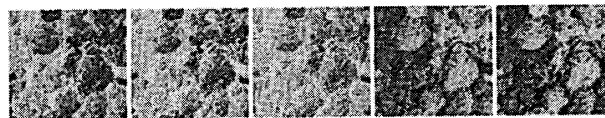


図 1 画像の例

Fig. 1 Example of images.

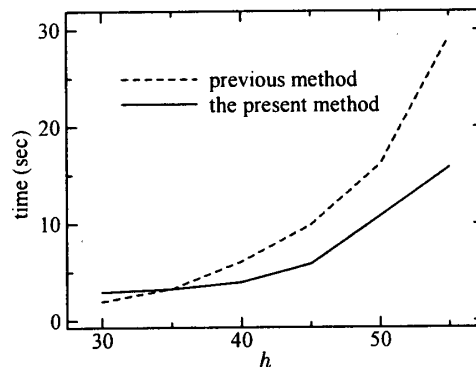


図 2 計算時間

Fig. 2 Computational time.

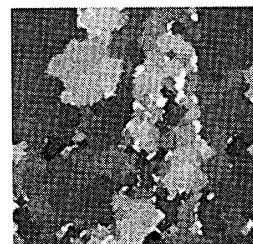


図 3 抽出された樹冠円

Fig. 3 Extracted circular tree crowns.

抽出されるようになる。逆に h を大きな値に設定すると, 大きめの樹冠円が抽出されやすくなる。 h の適切な値は现阶段では, 対象とする樹種に依存して人手で決めている。図 2 の破線は従来の方法での時間であり, 実線は本提案手法での時間である。 $h = 30$ 付近では従来法のほうが速いが, h が大きくなると本手法のほうが高速になっている。計算時間は h の増加とともに増えるので, h が大きくなると本手法の有効性が顕著になるものと思われる。樹冠円半径の上限値を求めるために選択する画像の枚数 \tilde{m} は 15 とした。 $10 \leq \tilde{m} \leq 20$ の範囲なら同程度の高速化性能が得られた。この範囲から外れると計算時間は徐々に長くなった。このことから \tilde{m} は $m/8 \leq \tilde{m} \leq m/4$ の範囲に設定すればよいと考えられる。また r_{\min} は 1 とした。本実験では従来法でも $r_{\min} = 1$ としたので, r_{\min} の値は本手法の高速化性能には寄与していない。しかし r_{\min} を大きな値に設定すると, 微小な樹冠円の半径の

計算を省略できるので, r_{\min} を大きくすると従来法, 本手法ともに高速化が可能である. 図 3 に $h = 40$ での抽出結果を示す. なお計算環境は, CPU: 2.2 GHz Pentium 4, メモリ: 512 MByte, OS: Windows XP, プログラミング言語: C++ である.

5. む す び

小村らによって提案された樹冠円抽出法のマルチスペクトル画像への適用を想定して, 樹冠円半径の上限値に基づいて画素をフィルタリングすることによって抽出処理を高速化する方法を提案し, 簡単な実験で有効性を確認した. 九州北部里山林の調査を通してパラメータの自動調節法を検討するのが今後の課題である.

文 献

- [1] 小村良太郎, 久保 守, 村本健一郎, “空撮画像を用いた植生形態の定量的解析,” 信学技報, IE2001-77, Sept. 2001.
- [2] 小熊宏之, 山形与志樹, “リモートセンシングデータを用いた森林樹冠率の推定 (京都議定書対応のためのリモートセンシング技術の確立),” 写真測量とリモートセンシング, vol.39, no.2, pp.82-89, 2000.
- [3] 小村良太郎, 久保 守, 村本健一郎, “空撮画像を用いた局所フラクタル次元による樹冠解析,” 写真測量とリモートセンシング, vol.42, no.4, pp.27-37, Sept. 2003.
- [4] M. Larsen, “Crown modeling to find tree top positions in aerial photographs,” Proc. 3rd Int. Airborne Remote Sensing Conf. Exhib., vol.II, pp.428-435, Copenhagen, Denmark, 1997.
- [5] 朝廣和夫, 井上光平, 上原三知, 重松敏則, 瀬戸島政博, “空撮画像の同質領域判定による九州北部里山林の樹冠抽出に関する研究,” 日本造園学会誌, vol.66, no.5, pp.499-502, March 2003.

付 録

式 (1) について

本章では式 (1) が成り立つことを示す. まず表記を簡単にするために $\delta_{jj'}(m) = \max_{i \in \{1, \dots, m\}} \{|d_{ij} - d_{ij'}|\}$ とおく. $\tilde{m} < m$ とすると $\delta_{jj'}(m) = \max\{\delta_{jj'}(\tilde{m}), |d_{\tilde{m}+1, j} - d_{\tilde{m}+1, j'}|, \dots, |d_{m, j} - d_{m, j'}|\}$ であるから

$$\delta_{jj'}(\tilde{m}) \leq \delta_{jj'}(m) \quad (\text{A.1})$$

が成り立つ. $\delta_{jj'}(m) \leq h$ を満たす j' の集合を $J_j(m)$ とすると, 式 (A.1) よりすべての $j' \in J_j(m)$ について $\delta_{jj'}(\tilde{m}) \leq h$ すなわち $j' \in J_j(\tilde{m})$ が成り立つ. よって

$$J_j(m) \subset J_j(\tilde{m}) \quad (\text{A.2})$$

が成り立つ. 次に 2. と同様に $D(j, j') \leq r'_j$ を満たす j' の集合を $C_j(r'_j)$ とし, $C_j(r'_j) \subset J_j(m)$ を満たす r'_j の集合を $R_j(m)$ とすると, 式 (A.2) より

$$R_j(m) \subset R_j(\tilde{m}) \quad (\text{A.3})$$

が成り立つ. 樹冠円半径 r_j は $r_j = \max R_j(m)$ と表せて, またその上限値 \tilde{r}_j は $\tilde{r}_j = \max R_j(\tilde{m})$ と表せるから, 式 (A.3) より $r_j \leq \tilde{r}_j$ すなわち式 (1) が成り立つ.

(平成 15 年 10 月 22 日受付, 12 月 6 日再受付)