

切断された等高線画像の自動復元処理

3L-9

宮川 健 阿部 英志 古舘 守通 渡辺 孝志

（岩手大学 工学部 情報工学科）

1. はじめに

我々は、市販の地形図を画像処理して等高線データを抽出し、これから細密な数値標高モデル (DEM) を自動生成する計算機処理システムの開発を行っている。その際、特に問題となるのは途切れた等高線をどのようにして復元するかである。等高線上には各種の文字や記号が重畳して印刷されており、これらによって複雑に隠れりまたは分断された等高線を正しく接続し直すことは簡単な問題ではない。

本稿では、拡張ポロノイ線図を作成することで得られる隣接関係を利用した切断等高線の大域的な復元手法を提案し、その実験結果について報告する。

2. 前処理と局所的復元処理

2.1 前処理

まず、スキヤナなどを用いて地形図を入力画像として取り込む。次に、入力画像の色情報に注目することで等高線を抽出する。このとき、等高線の線幅に注目して、10m 間隔の主曲線と 50m 間隔の計曲線を判別する。得られた等高線画像 (2 値画像) にラベリングと細線化を行って、線幅 1 画素の等高線を得る。この等高線画像には、枝や分岐点、短線分などの雑音成分が残存しているため、これらを除去する。

2.2 局所的復元処理

異なる断線等高線の 2 端点について、両端点間の距離がしきい値以下であり、両端点の周辺に他の端点が存在せず、両端点を直線で結んだときの端点位置における接続角度が共に鈍角であるとき、その間を直線で結んで接続する。

3. 大域的復元処理

局所的復元処理で接続できなかった 2 端点間は、以下に述べる大域的復元処理で接続する。

はじめに計曲線を全て接続し、続いて主曲線を接続するものとする。計曲線は主曲線と比べて本数が少なく、他の計曲線とも大きく離れているため、接続端点対の抽出が容易であり、これによって復元処理手続きを簡単化することができる。

3.1 拡張ポロノイ線図の作成

- (1) すべての等高線に対して、その曲線としての向き (進行方向) を任意に定める。
- (2) 各等高線 (そのラベルを i とする) に対して、進行方向の右側に直接隣接する背値画素のラベル (0) を右側ラベルに変更する。等高線に途切れがある場合には、その端点に直接隣接する画素のラベルを 0 から端点ラベルに変更する。
- (3) 0 でないすべてのラベルの画素をそれぞれ同時に 4 近傍で膨張させていき、0 以外の異なるラベルを持つ画素と重なるまで膨張処理を繰り返す。ただし、端点ラベルの膨張は端点位置での接線方向に対して上下 45 度以内に抑える (これにより、短い等高線でも周りの大きな勢力圏に影響されることなく、正しい隣接関係が得られる)。
- (4) 最終結果の画像から複数のラベルが重なった画素 z を集めたものが拡張ポロノイ線図である。

3.2 隣接関係グラフの作成

拡張ポロノイ線図が作成された後で、ラベル i と j を共にもつポロノイ線の画素数を $M(i, j)$ で表す。この $M(i, j)$ がラベル i の等高線とラベル j の等高線の隣接の強さである。等高線の各ラベル i を節点として、しきい値以上の $M(i, j)$ に対して、ラベル i の節点からラベル j の節点へ枝を引き、枝に付加情報として隣接の強さ $M(i, j)$ を与える。このようにして作成したグラフを隣接関係グラフという。

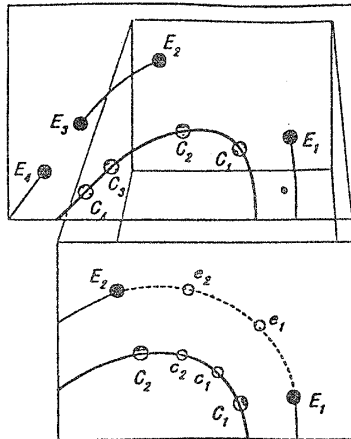


図1 基準等高線と接続端点对の接続

3.3 接続端点对の抽出

途切れのない等高線を完全等高線と言い、それ以外の等高線を不完全等高線と言う。本研究では、後述するように、途切れた等高線同士が接続できる条件としてそれらに共通して隣接する他の等高線（基準等高線）の存在を要求する（図1上）。

不完全等高線の各端点 E_i に対してユークリッド距離が最短となる隣接する基準等高線上の対応点 C_i を求める。次に、対応点 C_1 を始点として途切れた方向に基準等高線上を探索して行き、最初に現れる他の対応点 C_2 を求める。その C_2 と対応する端点 E_2 を端点 E_1 の接続相手側の候補とする。以下、これを繰り返す。全ての端点について、接続端点对の候補を調べ終わったら、その中から、端点間の距離、角度、不完全等高線の基準等高線との隣接の強さなどを考慮して接続する優先順位付けを行い、一番優先順位が高い接続端点对の候補を接続する。

3.4 接続端点对の接続

[接続端点对の基本接続手順] (図1下)

- (1) 接続すべき端点 E_1 と E_2 の基準等高線上の対応点をそれぞれ C_1 と C_2 とする。
- (2) 線分 C_1C_2 を線分 E_1E_2 へ相似変換するパラメータ（回転角、伸縮度、移動量）を求める。
- (3) 基準等高線上の C_1C_2 間をある間隔でサンプリングし、その点列を $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ とする。これらを上で求めたパラメータで相似変換して、対応する点列 $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ を求める。
- (4) 点列 $\{E_1, e_1, e_2, \dots, e_n, E_2\}$ をスプライン関数で滑らかに補間する。

ただし、上記の手順(4)で補間曲線が他の等高線と交差した場合には補間を中止し、次に述べる方法で接続する。

[2本の基準等高線を利用した接続手順]

- (1) 接続する等高線から見て、基準等高線（基準等高線1とする）と反対側に存在する完全等高線（基準等高線2という）を求める。
- (2) 基準等高線1と基準等高線2にそれぞれ仮の標高値を与え、その間を距離変換値に基づいて線形補間する。補間の結果から接続する断線等高線のそれぞれの標高値を求め、その平均値 H を計算し、標高値 H の画素を全て塗りつぶし、その後細線化する（これを曲線 M と呼ぶ）。
- (3) 接続すべき2端点 E_1, E_2 から曲線 M への距離を求め、その距離が最小となる点 F_1, F_2 から、 $E_1 - F_1$ 間、 $E_2 - F_2$ 間の長さ分だけ曲線 M を収縮した方向にたどった点 N_1, N_2 を求める。
- (4) 曲線 M から $N_1 - N_2$ 間以外の部分を除去し、 $E_1 - N_1, E_2 - N_2$ 間を前述の基本接続手順で接続する。

3.5 大局的復元処理の繰り返し

最初の3.1に戻って、更新されたラベル画像で拡張ポロノイ線図を作り直し、大局的復元処理をやり直す。そして、不完全等高線が1本も復元しなかった場合に、大局的復元処理の反復を終了する。

4. 実験結果

実験結果の一例として、図2の切断された等高線画像を自動復元処理した結果を図3に示す。

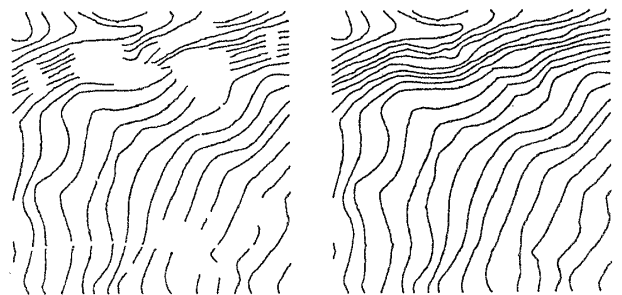


図2 切断された等高線

図3 自動復元処理後

5. おわりに

本研究では、等高線画像における断線等高線を接続し直すための手法として、拡張ポロノイ線図を用いた大局的復元手法を提案した。これにより、従来手法では復元が困難であった断線状況にも対応できるようになった。今後の課題としては、より正確な等高線の隣接関係の吟味法や、よりの確な接続優先順位の順位付け等の検討がある。