

確率的弛緩法を用いた自動ステレオマッチング

京都大学工学研究科 正会員 小野 徹
野村総合研究所 坪田 豊
福山大学工学部 正会員 服部 進

1. はじめに

土木分野での情報技術の進展に伴い、高精度で高密度の空間情報の効率的な取得のためにデジタルカメラを用いた写真測量の応用研究が進められてきている。現在主流となっている計測方法は反射ターゲットを用いたものであるが、高精度の計測が可能となる一方でターゲットの貼り付けが必要であるために利用対象への制約条件が大きい。高い精度を必要とせず広い範囲の3次元情報を計測したい場合には、ターゲットを用いずに3次元形状を再現できる自動ステレオマッチングが有効である。

2. 自動ステレオマッチングの概要

立体視の原理をコンピュータ上に実装し、重複撮影された画像の全対応点を自動的に探索することで3次元形状を再現する技術を自動ステレオマッチングという。3次元空間の対象物を2次元平面に投影して得られた複数の画像を用いて、逆に3次元形状を再現する問題であるから、不良設定な逆問題であると言える。そのため適切な目的関数を設定し何らかの制約条件(仮定)を与えて解を求めることになる。

これまで一般によく用いられてきた方法として、テンプレートマッチングがある。これは左右画像の小領域を比較してテキストチャーや形状パターンの類似度が最も高いところを対応点とみなす方法である。この方法は、投影歪みは小さく隠蔽もノイズも存在しないという仮定に基づいているため、凹凸の大きな形状の対象物では正しい解が得られないという問題があった。これに対し、投影歪みや隠蔽を考慮して対応点を探る方法が提案された。対応点での濃度値の差が最小となることを目的関数とし、制約条件としては隣り合った視差がなめらかに変化することなどが考えられている。この方法を正則化法と呼ぶが、柔軟であるかわりに局所解が多数存在し、最適解へ導くためにはSAやGAを用いて多数の繰り返し演算を行う必要があり、極めて計算負荷が高いという

問題がある。

これに対しより実用的な方法として、すべての点を用いるのではなくエッジやコーナーなどを持った特徴点だけを用いてマッチングを行う方法が考案された。この方法を feature-based matching と呼ぶ。目的関数には濃度値ではなく、エッジの方向やエッジの強さといった特徴量の大きさを用いる。十分な数の特徴点が必要だが、高速で柔軟なマッチングが可能となる。本研究では大縮尺の地形に対し feature-based matching を適用してDEMを作成し、その手法の有効性と適用条件について検討した。

3. feature-based matching の処理過程

本研究での処理過程は以下の通りである。

1. 画像の撮影とデジタル化
2. 画像の標定
3. エピポーラ画像の作成
4. 画像ピラミッドの作成
5. ノイズ除去
6. エッジやコーナーなどの特徴量の抽出
7. 対応点探索(マッチング)
8. 三次元モデルの構築
9. 異常値除去
10. 有限要素の内挿
11. DEM出力

ステレオマッチングでは、安定化のために粗い画像でおおよそ対応関係を決めておき次第に高解像度の画像で細部での対応をとってゆくようにする方法をとる。これを粗密探索と呼ぶ。粗密探索のために、原画像から解像度を落とした縮小画像を作成し、さらにその画像の縮小画像を作ってゆく。このようにして、作成される画像群が画像ピラミッドである。

4. 確率的弛緩法

特徴点のマッチング手法としては、弛緩法や正則化法が考えられる。本研究では弛緩法の一つである確率的弛緩法を用いた。

キーワード：ステレオマッチング, 確率的弛緩法, feature-based matching

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL/FAX：075-753-4872

弛緩法は、局所的な矛盾と解釈の曖昧さを低減する処理を局所並列的に反復することで、より大局的に整合性がとれた解釈を得ようとする手法である。

左画像の特徴点 a と右画像の特徴点 λ の対応付けを a にラベル λ を付ける問題として扱う。対象特徴点 a およびラベル特徴点 λ の集合をそれぞれ A, Λ とすると、

$$\begin{cases} A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \\ \Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{m-1}, \lambda_{NIL}\} \end{cases}$$

のように表される。

ただし、 λ_{NIL} は、 a_i がいずれの特徴点とも対応しない状態を表現するために設けた仮想的な特徴点である。これにより、左画像では見えているが右画像では見えない隠蔽領域の問題を考慮することができる。

処理の基本的な考え方は、次の通りである。まず、各 a が各ラベル λ を持つ確からしさを定義する。これをラベル確率と呼ぶ。次に、各 a の近傍の a が持つラベル確率を参照して局所的な矛盾が少なくなるようにラベル確率を更新する。この更新処理を反復することによって、 a が複数のラベルを持ち得る曖昧さと局所的矛盾が低減され、結果として各 a は唯一のラベルに対してのみ高いラベル確率を持つ状態に収束する。このラベルが a に対する対応点となる。

5. 実験データとその解析結果

本研究で用いたのは、福山市の西部を重複撮影した航空写真をデジタル化した画像である。地上分解能は 0.25m である。ここでは特にテストフィールドとして、一軒の民家に焦点を絞って切り取った 150×150 画素の画像 (図-1) についての解析結果を紹介する。



図-1 テストフィールドをステレオ撮影した画像

画像ピラミッドのうち、最下層の画像についてコーナー (赤点) とエッジ (青点) を抽出したのが図-2 と図-3 である。これらの特徴点を用いて最終的に出力された DEM が図-4 である。DEM は特徴点から構成される TIN を線形内挿して作ったものであり、色が明るいほど標高が高いことを表している。

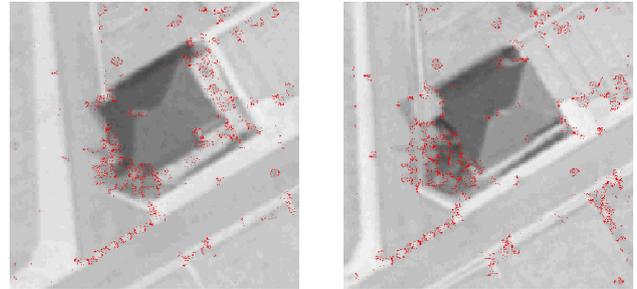


図-2 ステレオ画像から抽出したコーナー

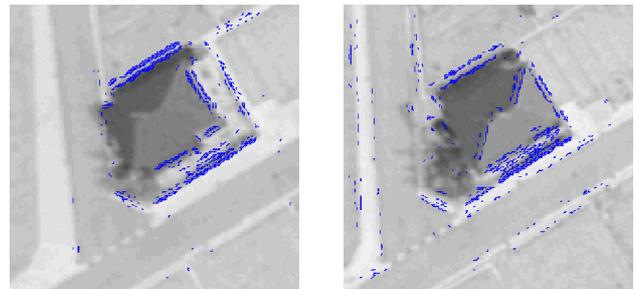


図-3 ステレオ画像から抽出したエッジ

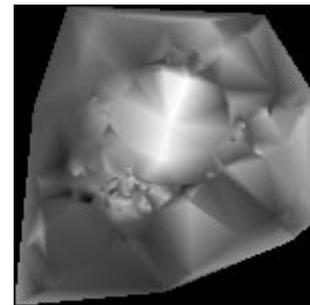


図-4 全階層のマッチング結果

マッチングの結果を見ると、家の形や茂みの様子はよく再現されているが、道や畑のような明らかに平らなところにも凹凸が入ってしまっている。これは、弱いエッジを十分に抽出できておらず、逆にあまり特徴がないコーナーを抽出してしまっていることが原因であろうと考えられる。また精度検証として、図化機による実体視による計測結果と計算結果とを比較したところ、本テストフィールドにおける誤差は 1.645m もあった。これもやはり良い結果とは言えない。今回あまりよい結果が得られなかったのは、マッチングの手法そのものよりも特徴点抽出が十分にうまくいっていなかったためと考えられるので、今後は特徴量抽出方法の改善を行ってゆきたい。

参考文献：T.Poggio, V.Torre, and C.Koch, Computational vision and regularization theory, Nature, 317,6035,pp.314-319, 1985