

衛星ステレオペア画像を用いた都市部における高精度自動数値地表モデル生成に関する研究 ～高層建物屋上部エッジの選択的抽出～

北海道大学 大学院情報科学研究科 ○岡部 慎平, 田殿 武雄, 金井 理

要旨

本報告では、衛星ステレオペア画像を用いた都市部における高精度数値地表モデルの自動生成を目的とした、ビル等の高層建物屋上部に対する輪郭エッジの選択的抽出手法の提案と、そのエッジ抽出の妥当性を評価する。

1. はじめに

近年、高分解能衛星 (IKONOS 等) が次々に打ち上げられ、高解像度衛星ステレオペア画像が利用可能になったことで、これら衛星画像からの数値地表モデル(DSM)の生成が可能になってきた。しかし現状では、DSM生成のために必要となるペア画像間の対応点発見のための画像マッチング処理は、特に都市部において、対応点検出精度が不足しており、手動によって行われているのが現状である。従って、この衛星ステレオペア画像間での画像マッチングの精度向上が望まれている。画像マッチングには従来、テンプレートマッチングを用いた全画素を対象とする対応付け手法が提案されている。しかし、この手法は対象の建物の高さが高いほど①近傍画素の類似性を用いるため、建物付近において、地面点が建物上の点に誤判定される傾向がある、②屋上と建物側面をミスマッチする可能性がある、という問題点がある。一方、その解決のため高い建物に対してはテンプレートを用いないエッジマッチングが提案されているが[1]、③屋上と地面間が低コントラストな建物のエッジが検出されない、④図1の直下視の edge2 と後方視の edge3 がミスマッチし、正しい高さが計算出来ない、という問題点がある。

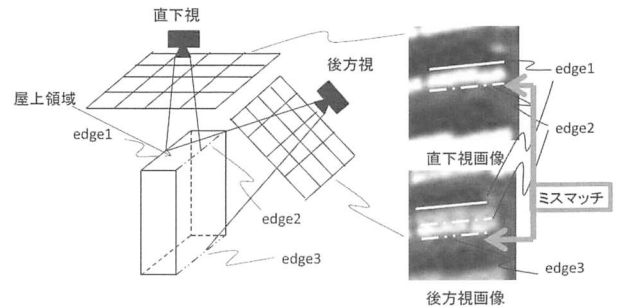


図1 エッジマッチングでのミスマッチ

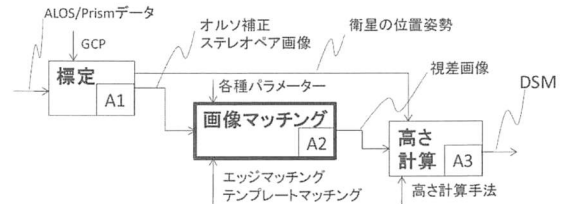


図2 自動 DSM 生成手法の概要

そこで本研究では、問題点③④を解決するため、テンプレートマッチングとエッジマッチングを組み合わせた衛星ステレオペア画像に対する新たな画像マッチング手法の開発を目的とする。本報では、そのために必要な建物屋上部のセグメンテーション手法を開発したので報告する。

2. 提案する画像マッチング手法

図2はDSM自動生成手法、図3は提案する画像マッチング手法の概要である。図3のように、本提案手法では、高い建物部分に対してはエッジマッチング、それ以外の部分に対してはテンプレートマッチングを適用する。以下にその手法の詳細を述べる。

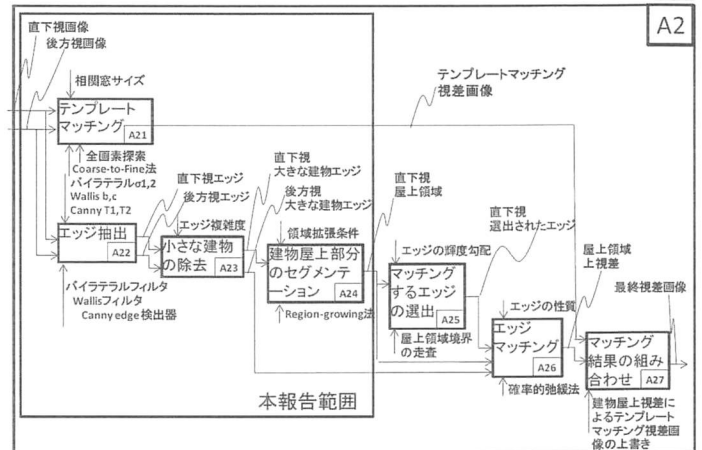


図3 提案する画像マッチング手法の概要

2.1. テンプレートマッチング(A21)

直下視画像全画素に対して、通常のテンプレートマッチング処理である、画素を中心とした相関窓内の相関係数が最大となる後方視画像の画素を探索する。この探索結果から視差を算出し、視差画像 (x,y 方向) を出力する。探索効率化には Coarse-to-Fine 法[2]を使用する。Coarse-to-Fine 法は画像ピラミッドを作成し、まず粗い画像からマッチングを行い、その結果により探索空間を制限することで探索を効率化する。

2.2. エッジ抽出(A22)

エッジ抽出は前処理とエッジ抽出の2段階に分かれる。[1]では画像の前処理に Adaptive Smoothing フィルタ, Wallis フィルタを使用し、エッジ抽出には Canny Edge 検出器を使用している。しかし、Adaptive Smoothing フィルタを使用することで、画像に平滑化が強くなり過ぎ、上述③の

問題点が発生するので、本提案手法ではエッジ保存効果により優れたバイラテラルフィルタ[3]を使用した。なお、フィルタのパラメータ σ_1, σ_2 の値は、エッジ抽出を試行錯誤的に行い、最適な値を適用した。また、Wallis フィルタ[4]の b,c, Canny Edge 検出器の T_1, T_2 は[1]で使用されている値を使用した。

2.3. 小さな建物の除去(A23)

エッジマッチングの効率化と建物屋上部分のセグメンテーション(A24)のために、エッジマッチングの対象としていない小さな建物のエッジをエッジ画像から除去する。除去は、A22で抽出されたエッジ画素ごとに「エッジ複雑度」を評価し、それが基準を上回った時に行う。エッジ複雑度は近傍画素数に対するエッジ画素数の比率として定義す

る. 本提案手法では近傍画素を 31×31 の矩形領域とし, エッジ画素数の比率の基準を 15% とした. 本提案手法では, 大きな建物のみをエッジマッチングの対象としており, 大きな建物付近ではエッジ複雑度が小さいため, この除去手法は有効である.

2.4. 建物屋上部分のセグメンテーション(A24)

建物屋上部分のセグメンテーションは, 次の処理 A25 で図 1 の直下視に現れる建物の前方視側のエッジである edge1 のみを抽出し, また A26 で屋上領域の視差を算出するために行われる. このセグメンテーションは, 直下視画像のみに対し(1)エッジに膨張処理→収縮処理を施し, closing をする, (2)エッジ画像に対し, 地面点をシード点とし, エッジ部分で止まる Region-Growing 法を適用する, (3)Region-Growing 法で得られた領域に含まれない画素で連結しているものを屋上領域とする, という手順で行う.

2.5. マッチングするエッジの選択(A25)

建物屋上領域から前方視側にある edge1 のみを以下の方法で抽出する. 図 4 のように, まず屋上領域の境界画素に対して x 方向, y 方向の微分フィルタを用いて輝度勾配の方向を算出し, それを 8 方向に量子化し符号化する. 次に領域最上端の画素を始点とし, 時計回り, 及び反時計回りに領域境界画素を走査する. 同じ符号が続く限り走査を続け, 走査した画素数が多いエッジを直下視の後方視側で長いエッジと判断し, これを出力とする.

2.6. 確率的弛緩法によるエッジマッチング(A26)

確率的弛緩法はエッジの性質(長さ, 形状)とエッジ間の位置関係を考慮して行われるマッチング法であり, [1]でも使用されている. エッジの性質, 位置関係から算出されたマッチング対象エッジが持つラベル確率を, 条件を満たすまで反復的に更新し, 反復が終了したとき, 最大のラベル確率を示すラベルを持つエッジをマッチしたエッジとみなす. このエッジ間の対応関係から, 屋上領域のエッジが持つ視差を算出し, 屋上領域視差画像を出力する.

2.7. マッチング結果の組み合わせ(A27)

テンプレートマッチング視差画像を屋上領域視差画像で上書きすることにより, 最終視差画像を得る.

3. 結果

A21~A24 の処理を調布地区の ALOS/Prism ステレオペア画像(図 5)に適用した. 以下に結果を示す.

3.1. テンプレートマッチング結果(A21)

テンプレートマッチングで得られた視差画像を図 6 に示す. 中央のスタジアムや道路等で視差の変化が見られ, 視差が求められていることが分かる. また, 2 段階の Coarse-to-Fine 法を用い, 本来なら 10 日以上かかる処理を約 8 分(Intel®Core™2Quad CPU Q9400 2.66GHz)で行えた.

3.2. エッジ抽出結果(A22,A23)

[1]の従来手法で得られたエッジ画像を図 7(b)に, 本報の手法で得られたエッジ画像を図 7(c)に示す. 従来手法では検出出来ない右半分の低コントラストな建物屋上領域に対しても, エッジが抽出されていることが分かる. また小さな建物除去(A23)を行ったエッジ画像を図 7(d)に示す. コントラストに関わらず大きな建物エッジは残り, 面積の小さな建物のエッジが適切に除去されていることが判る. なお, エッジ抽出のための各種パラメータは, $\sigma_1=0.5$, $\sigma_2=10$, $b=0.6$, $c=0.75$, $T_1=\sigma_s/2$, $T_2=\sigma_s/4$ とした. ここで σ_s は入力画像の輝度値の分散である.

3.3. セグメンテーション結果(A24)

建物屋上部のセグメンテーション結果を図 8 に示す. 大きな建物の屋上領域が抽出出来ていることが分かる. しか

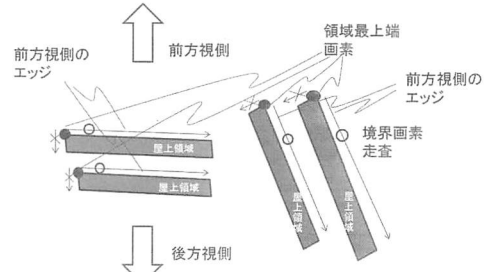


図 4 屋上領域境界の走査



図 5 調布 ALOS/Prism 直下視画像

図 6 テンプレートマッチング 視差画像

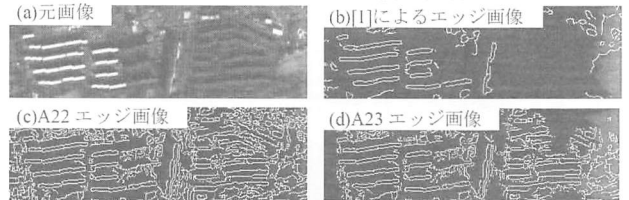


図 7 エッジ抽出画像

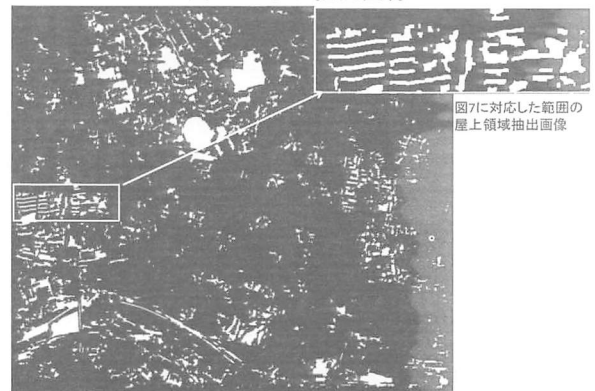


図8 建物屋上領域抽出画像

し, この中には建物屋上でない領域(堤防, ゴルフ場等)も含まれていることが判る.

4. まとめと今後の課題

ALOS/Prism のステレオペア画像から面積の大きな建物の境界エッジを検出し, 建物屋上領域のセグメンテーションを行う手法を開発した. 提案するエッジマッチングに必要な条件を満たす領域を抽出することが出来た. しかし, この領域には建物屋上でないものも一部含まれており, それらの除去が課題となる. 今後は提案手法を完成させ, 都市部 DSM の自動生成を行う予定である.

[参考文献]

- [1] Li Zhang, Armin Gruen: "Multi-image matching for DSM generation from IKONOS imagery" ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing vol.60, pp.195-221, (2006)
- [2] 高木幹雄, 下田陽久: "新編 画像解析ハンドブック" 東京大学出版会, (1991)
- [3] C. Tomashi, R. Manduchi: "Bilateral filtering for gray and color images", Proc. of ICCV, pp.839-846, (1998)
- [4] Li Zhang: "Automatic Digital surface model (DSM) generation from linear array images" PhD Dissertation, Report No.88, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, (2005)