

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(DSM)生成に関する研究

システムセンシング情報学講座 修士課程1年 岡部 慎平

1. 背景・目的

研究背景

- 多くの高解像度衛星画像 (IKONOS, ALOS, ... 等) が利用可能に
 - 全世界のほとんどの場所を、いつでも、繰り返し観測可能
 - 航空機写真測量やLiDARに比べ、安価に観測可能
 - 国産の次期高解像度衛星打ち上げの計画
- 都市部数値地表モデル (Digital Surface Model, DSM) の需要
 - 携帯電話の電波伝搬状況の把握、洪水や災害のシミュレーションなど
 - 急速に拡大する発展途上国の都市部の地図作成
- 衛星画像によるDSM生成手法の現状

手法	利点	欠点
手動DSM生成手法	・高精度	・場所やオペレーターの技能にモデル精度が依存する ・時間がかかり高コスト
自動DSM生成手法	・場所によらず一定の精度が保証できる ・低コスト	・低精度 ・都市部DSMとしては精度が不十分

目的

- 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手法の開発

2. 手法の概要

使用衛星, センサー概要

- 使用衛星: ALOS (Advanced Land Observing Satellite)
 - 2006年に打ち上げられた地球観測衛星
 - ミッション目的: 地図作成, 地域環境観測, 災害監視, 資源探査
 - 3つのセンサー: PRISM, AVNIR-2, PALSAR
- 使用センサー: PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping)
 - 太陽光の反射を3台のカメラで撮像し, ステレオペア画像を取得
 - 白黒 (パナクロマチック) 画像
 - 空間分解能: 2.5m



図1. ALOSの外観

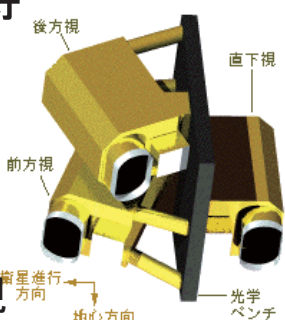


図2. PRISMの外観

DSM生成手法の一般的な流れ

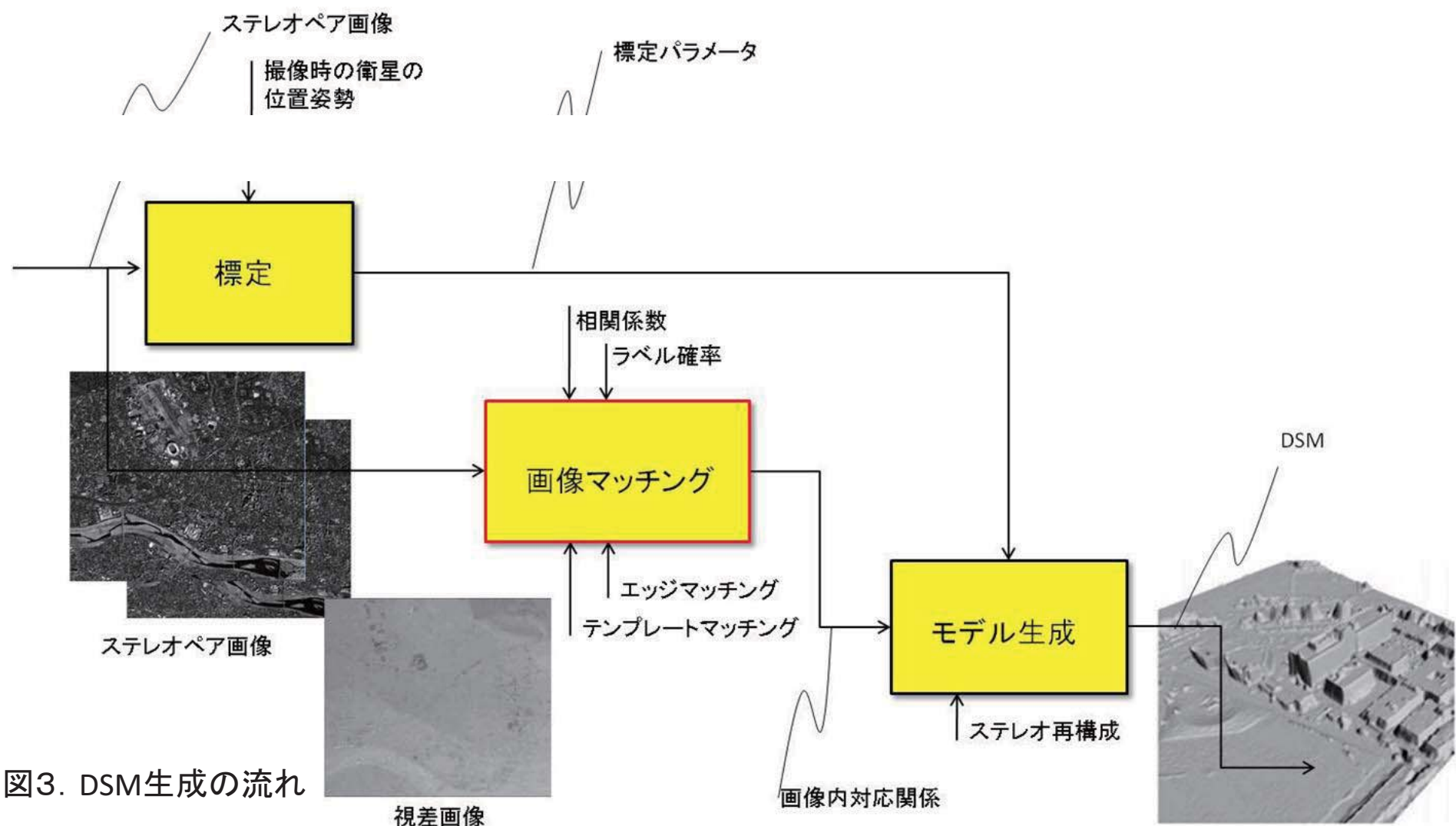


図3. DSM生成の流れ

本発表: 高精度自動DSM生成のために必須である画像マッチングについて, その問題点抽出のため, 既存手法の実装を行った内容を報告する

2. 都市部衛星画像による既存画像マッチング手法の問題点

DSM生成のための既存画像マッチング法

(1) テンプレートマッチング

- 画像の全画素に対してマッチングが行える
- DSM生成の画像マッチングには一般的に使われる手法 (サブピクセルオーダー)
- DSM内の建物や急峻地の稜線部分がなまら傾向にある

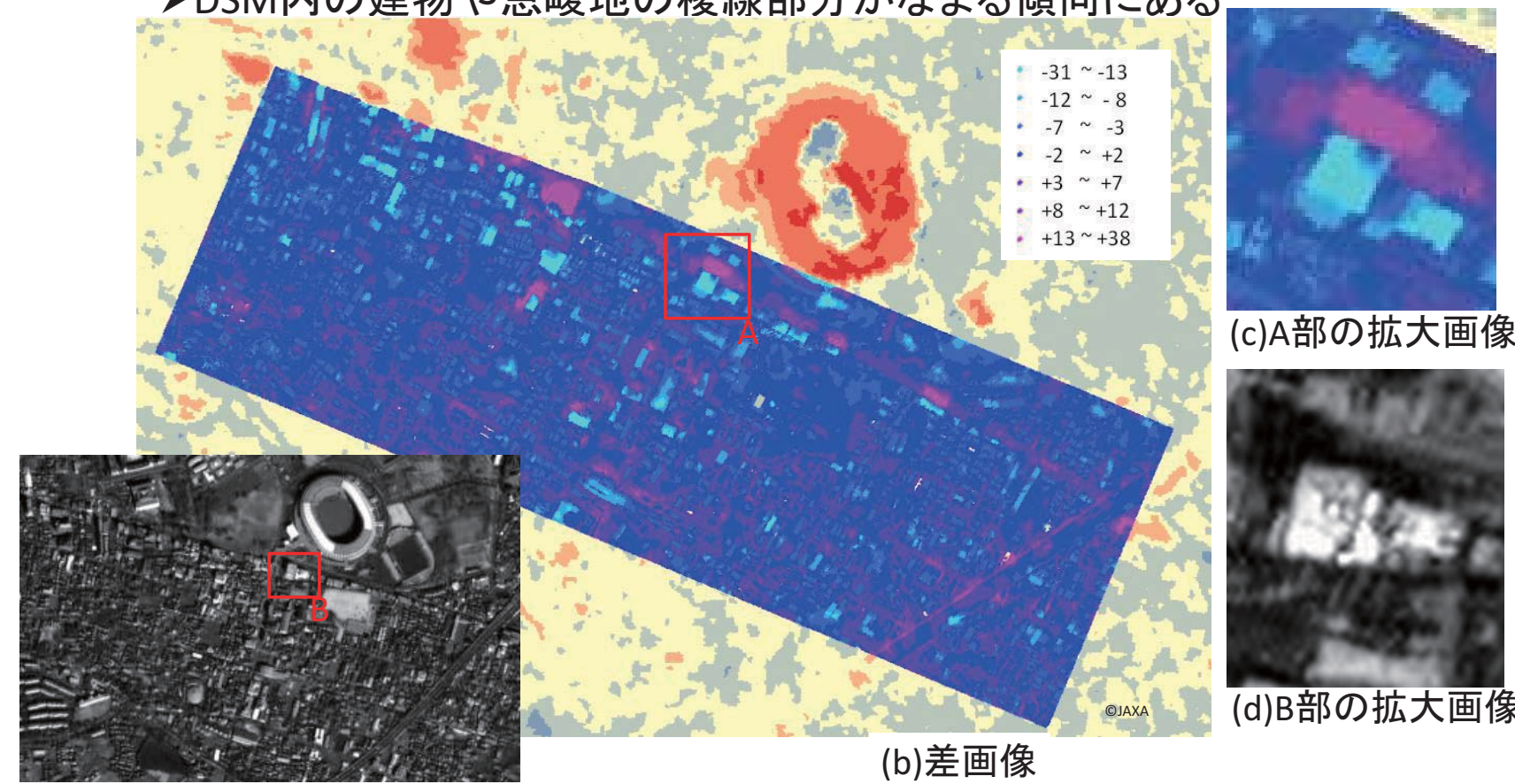


図4. PRISMのステレオペア画像からサブピクセルオーダーのテンプレートマッチングを用いて生成したDSMと航空機LiDARから得られたDSMの差画像 (PRISM/DSM-LiDAR/DSM)

PRISM/DSMは建物の屋上部分でLiDAR/DSMより低く, 建物付近の道路 (平地) でLiDAR/DSMより高く生成されており, 稜線部分がなまら現象 (図3(c)(d)) がみられる。

(2) エッジマッチング

- 画像のエッジ部分でマッチングする
- DSM内の建物, 急峻地の淵部分がなまらない

効果的なテンプレートマッチングとエッジマッチングの組み合わせによって精度の向上が見込まれる

3. テンプレートマッチング

- 方法: ある画素を中心とした21×21画素の領域内の相関係数が最大となる画素を探索
 視差画像を出力 (x方向視差, y方向視差)
 探索効率化: Coarse-to-Fine法

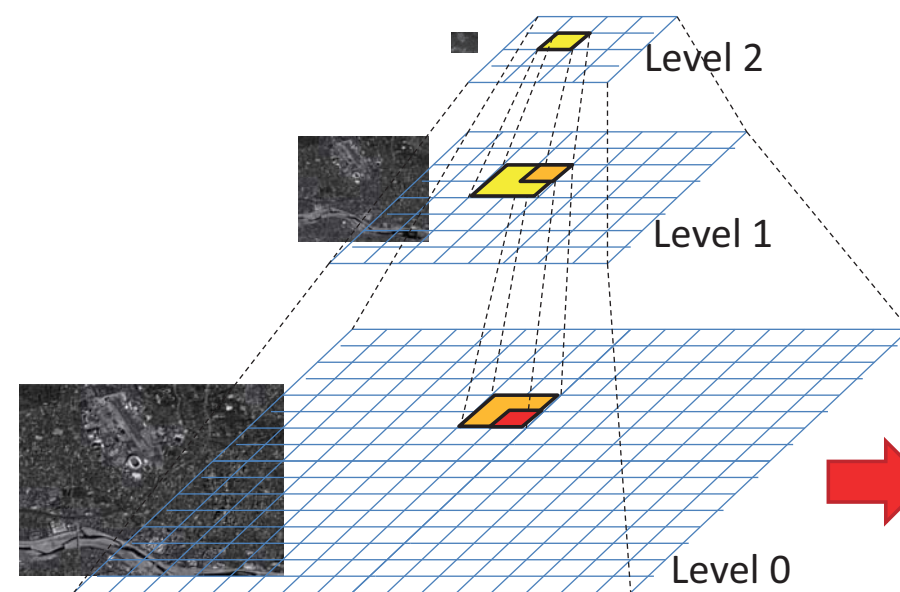


図5. イメージピラミッド

- ステレオペア各画像の画像ピラミッドの作成
画像ピラミッドのサイズ: Level 0に対して
Level 1, 縦横1/4倍, Level 2, 縦横1/20倍
- Level 2画像間でマッチング
- Level 2のマッチング結果に基づいて探索空間を制限し, Level 1画像間でマッチング
- Level 1のマッチング結果に基づいて探索空間を制限し, Level 0画像 (元画像) 間でマッチング

計算時間短縮結果: 2000×1800画素の画像で
 Level 0画像間のマッチング: 1年以上
 Coarse-to-Fine法: 8分

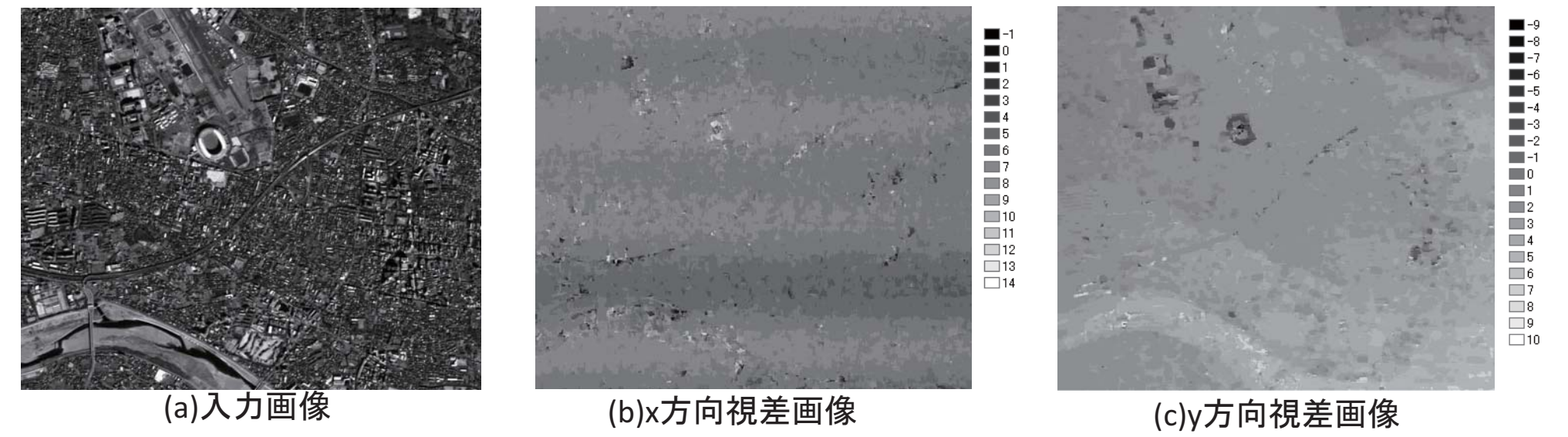


図6. テンプレートマッチング結果

- 現状の問題点: 画素オーダーでのマッチングでは精度不足
 サブピクセルオーダーのマッチングが必要

4. エッジマッチング

エッジマッチングの流れ

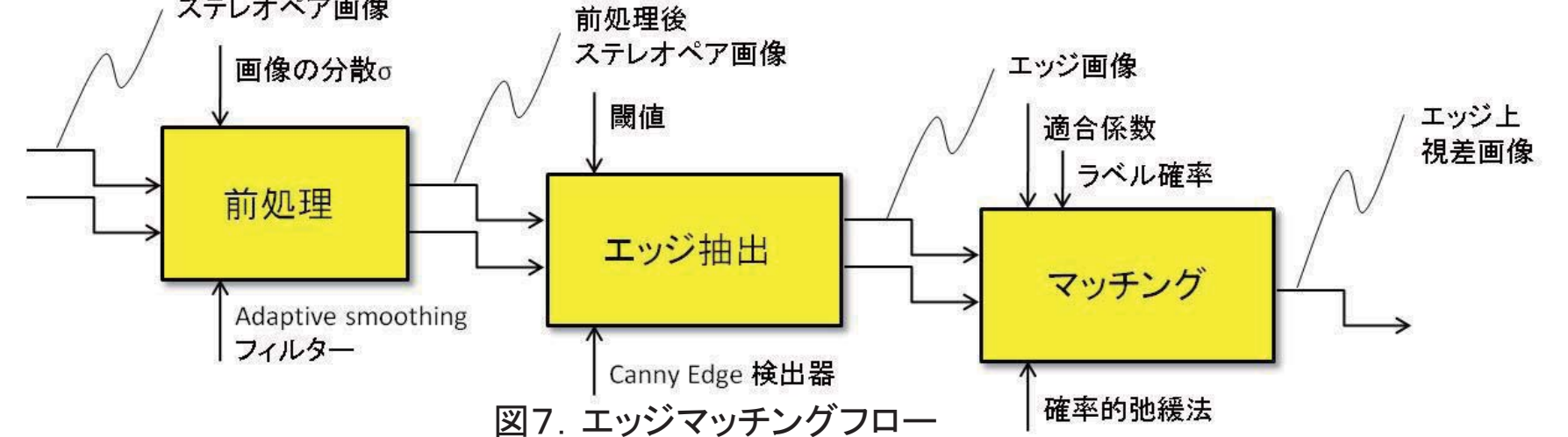


図7. エッジマッチングフロー

Adaptive Smoothingフィルター[1]による前処理

エッジ部分に重みづけを行い, 平滑化を行うことで, エッジを保存しつつ, ノイズを除去するフィルター。

- 画素の勾配 G_x, G_y の算出
 $G_x(x, y) = \frac{1}{2} (I(x+1, y) - I(x-1, y))$ (1)
 $G_y(x, y) = \frac{1}{2} (I(x, y+1) - I(x, y-1))$ (2)
- 連続性係数 $w(x, y)$ の計算
 $w(x, y) = e^{-\frac{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)}{2\sigma^2}}$ (3)
- 画素を式(4)に従って更新
 $I(x, y) = \frac{\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 I(x+i, y+j) w(x+i, y+j)}{\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 w(x+i, y+j)}$ (4)

図8. Adaptive smoothフィルター適用画像

Canny Edge 検出器[2]によるエッジ抽出

- ガウシアンフィルターで平滑化
- エッジ強度と勾配方向を計算
エッジ強度の計算にはSobelフィルターを使用
勾配方向は4方向に量子化
- エッジの細線化
エッジとエッジ鉛直方向の隣接2画素を比較し, 最大でなければエッジでないとする
- ヒステリシス閾値処理
エッジ強度に閾値を2つ設定し, 高い閾値以上のピクセルをエッジ, 低い閾値以下のピクセルを非エッジ, 間のピクセルでエッジに結合しているピクセルはエッジとする

(a) 図6(a)画像のエッジ抽出画像 (b) 図8画像のエッジ抽出画像
 図9. エッジ抽出画像

Adaptive Smoothingフィルターの効果が図9(a)(b)で分かる

確率的弛緩法[3]によるエッジマッチング

確率的弛緩法は, 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対象に与えることで最終的なラベル付け結果が得られる。反復は以下の式(5), (6)で行われる。

$$Q_{ij}^{(t-1)}(\lambda_k) = \sum_{j=1}^m R_{ij}^{(t-1)}(\lambda_k, \lambda_j) P_j^{(t-1)}(\lambda_k), \quad k=1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$P_i^{(t)}(\lambda_k) = \frac{P_i^{(t-1)}(\lambda_k) \prod_j d_{ij} Q_{ij}^{(t-1)}(\lambda_k)}{\sum_{j=1}^m P_i^{(t-1)}(\lambda_j) \prod_j d_{ij} Q_{ij}^{(t-1)}(\lambda_j)}, \quad k=1, 2, \dots, m \quad (6)$$

- a_i : 左画像内のある直線 a_j : a_i の局所近傍にある直線
- λ_k : 右画像内の a_i とマッチングの可能性がある直線, (ラベル)
- λ_j : 右画像内の a_j とマッチングの可能性がある直線, (ラベル)
- d_{ij} : a_i, a_j の中点おし距離による重み付け

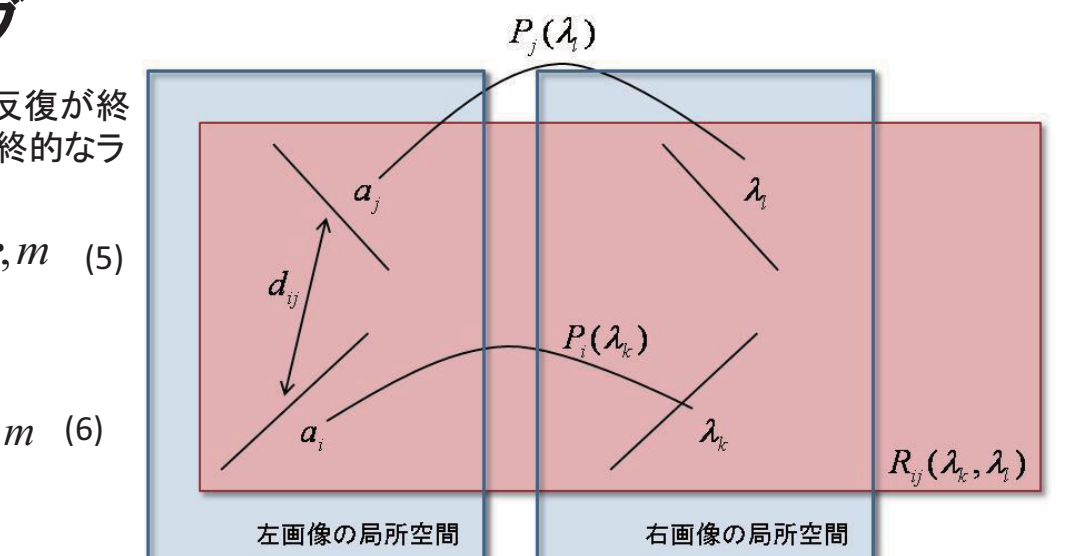


図10. 確率的弛緩法

- $P_i(\lambda_k)$: a_i に λ_k が対応づけられる確率, ラベル確率
- $R_{ij}(\lambda_k, \lambda_j)$: a_i と a_j がともつらベル λ_k, λ_j 間の適合度, 適合係数
- $Q_{ij}(\lambda_k)$: 局所的無矛盾度

5. 今後の予定

- エッジマッチング精度向上のための抽出エッジ品質の向上
- より高精度なエッジマッチングの実装
- エッジマッチングとテンプレートマッチングの効果的な組み合わせ手法の考案と実装
- 標定プロセスとの統合による, DSM生成システムの構築

学会発表予定

- 日本リモートセンシング学会 第51回 (2011年11月10-11 発表予定)

参考文献

- [1] Saint-Marc, P., Chen, J.S., Madioni, G., 1991, "Adaptive smoothing: a general tool for early vision", IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 13 (6), pp514-529
- [2] Canny, J.F., 1986, "A computational approach to edge detection", IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 8 (6), pp679-698
- [3] 高木幹雄, 下田隆久 "新編 画像解析ハンドブック", 東京大学出版会