道路状況把握のための空撮画像からの物体移動方向の可視化

西村孝��、都築勇司��、Willy To‡、藤吉弘亘��、松本学���

中部大学工学部情報工学科 †、ENSEIRB ‡、名古屋市消防局消防学校消防研究所 † †

本稿では、時系列空撮画像から生成したモザイク画像上で移動体を検出し、移動方向の可視化を行う手法 について述べる。提案手法は、ヘリコプターから撮影した時系列空撮画像をモザイク処理し、生成した画像 から車両等の移動体を検出する。また、検出された移動体の移動方向を対応する色で可視化し、生成したモ ザイク画像上に重畳表示する。同様に、衛星画像を用いて空撮画像とのレジストレーション処理を行い、移 動体の移動方向の可視化結果を衛星画像上に重畳表示する手法についても述べる。空撮画像の移動体検出は、 道路を走行中の車両は等速運動であると仮定し、その条件を満たす追跡点を検出する。これにより、特徴点 追跡結果から、車両等の移動体を安定して検出する事が可能となる。提案手法は、モザイク処理により1枚 の画像で広域な自動車の流れを把握可能であり、さらに衛星画像にレジストレーションすることで、移動体 の地図上の位置と移動方向や速度を算出可能となる。このような可視化は、速やかに災害時の道路状況や避 難経路の確認のための情報として期待できる。

<u>1. はじめに</u>

大規模な自然災害による被災地区の救助、支援活 動を行うに当たり、避難経路の確認や被災者の避難 状況を、広域に一括して把握することは重要である。 この問題を対処するため、ITS(Intelligent Transport System:高度道路交通システム)に関する研究が行わ れており、近年では、道路を撮影したカメラの映像 中から画像処理技術を用いて道路状況を把握する研 究や、センサーを用いた研究が盛んに行われている。 浦部らは、災害前に撮影した衛星画像と災害後の空 撮画像を用いて、森林領域、道路領域、砂領域、土 砂領域を検出し、災害前と災害後の画像を比較する ことにより道路閉塞状況を解析する手法[4]を提案 している。また、秦らは車載のGPSを利用したプロ ーブカーを用いて、"通れた道路マップ"を作成す る方法[3]を提案している。しかし、現在のプローブ カーでは、情報センターと通信するためのネットワ ーク利用のコストが高く、GPSによる走行履歴を個々 で蓄積して管理しているため、情報収集に時間がか かり、短時間で道路状況を把握することが困難であ る。本研究では、短時間で道路状況を把握するため に、被災時に出動するヘリコプターで撮影した空撮 画像を対象とする。ヘリコプターによる空撮画像は、 広範囲を短時間で撮影可能であるため、短時間で道 路状況が把握できる。しかし、ヘリコプターで撮影 した空撮画像は、ヘリコプターの速度や進行方向が

一定ではないため、画像空間の移動量も一定となら ず、移動体を検出するのが難しい。そこで本研究で は、時系列空撮画像をモザイク処理し、特徴点追跡 結果から移動体を検出する手法を提案する。これに より、ヘリコプターの動きに影響されない移動体検 出が実現できる。また、検出した移動体の移動方向 を対応する色で可視化する手法を提案する。提案手 法は、時系列空撮画像を特徴点追跡し、その結果を モザイク画像上に射影変換することで移動体を検出 する。長時間に亘る追跡結果を用いることにより、 車両等の移動体を安定して検出する事が可能となる。 さらに、衛星画像上に車両等の移動方向を重畳表示 することで、1枚の画像から広域な移動体の流れを把 握できる。また、衛星画像と地図データを用いるこ とで、移動体の地図上の位置と移動方向や速度を算 出することが可能となる。この可視化画像の情報は、 災害時における適切な救助活動や誘導への利用が期 待できる。

2. 空撮画像を用いた移動方向の可視化

空撮画像をモザイク処理し、モザイク画像上に移動体の動きの流れを重畳表示する。図1に本手法の流れを示す。空撮画像列から、Scale Invariant Feature Transform (SIFT) [1]により特徴点を算出する。SIFT により検出した特徴点をMean-Shift探索[5]により追跡し、移動後の位置座標とスケールを求める[2]。長

時間に亘る特徴点追跡の結果から、車両等の移動体 を検出する。検出した移動方向に対応する色をモザ イク画像上に加算することで、移動体の流れを可視 する。以下に各処理の詳細を述べる。



2.1 SIFT 特徴を用いた Mean-Shift 追跡

移動体検出を行うため、長時間に亘る追跡結果が 必要となる。そこで、特徴点を空撮画像から算出し 追跡する。SIFT は、画像の回転・スケール変化・照 明変化に不変な特徴量の検出、特徴量の記述が可能 である。記述される特徴量は近傍ピクセルでは類似 度が高くなるという傾向がある。そこで、 SIFT 特 徴量を重みとして Mean-Shift 探索することで特徴 点の追跡を行う。Mean-Shift 探索では、画像空間の 移動量 $\Delta \mathbf{x} = (\Delta u, \Delta v)$ とスケール空間の移動量 Δs を求める。



2.1.1 画像空間の Mean-Shift 探索

追跡中心**x**の周辺画素 $\mathbf{x}_i = (i = 0, \dots, N)$ 及び参照用スケールsの SIFT 特徴ベクトルと**x**における参照用ベクトル**v**との距離より重み $\omega(\mathbf{x}_i, s)$ を求める。

$$\omega(\mathbf{x}_i, s) = \exp\left(\frac{-d(\mathbf{x}_i, s)^2}{2\sigma_d^2}\right)$$
(1)

$$d(\mathbf{x}_{i},s) = \left\| \text{SIFT}(\mathbf{x}_{i},s) - \mathbf{v} \right\|$$
$$= \sqrt{\sum_{k=0}^{127} (v_{i,k} - v_{k})^{2}}$$
(2)

SIFT
$$(\mathbf{x}_i, s) = \mathbf{v}_i = (v_i, 0, \dots, v_i, 127)$$
 (3)

 σ_d は、SIFT の類似度を重みに変換するカーネル 関数のパラメータである。SIFT (\mathbf{x}_i, s) は、座標 \mathbf{x}_i に おいてスケールs で SIFT 特徴ベクトルを出力する 関数である。求めた重み $\omega(\mathbf{x}_i, s)$ を用いて画像空間 上の移動量 $\Delta \mathbf{x}$ を求める。前フレームの追跡領域周 辺に注目した探索を行うため、式(5) に示す画像空 間のカーネル関数 $K_{loc}(\mathbf{x}, \sigma_{xy})$ を用い、移動量 $\Delta \mathbf{x}$ を 次式より求める。

$$\Delta \mathbf{x} = \frac{\sum_{i=0}^{N} K_{loc}(\mathbf{x}_{i} - \mathbf{x}, \sigma_{xy}) \omega(\mathbf{x}_{i}, s)(\mathbf{x}_{i} - \mathbf{x}_{0})}{\sum_{i=0}^{N} K_{loc}(\mathbf{x}_{i} - \mathbf{x}, \sigma_{xy}) \omega(\mathbf{x}_{i}, s)}$$
(4)
$$K_{loc}(\mathbf{x}, \sigma_{xy}) = \exp\left(\frac{-(x^{2} + y^{2})}{2\sigma_{xy}^{2}}\right)$$
(5)

移動量 $\Delta \mathbf{x}$ から、 $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}$ により、追跡点座 標をシフトする。

2.1.2 スケール空間の Mean-Shift

次に、画像空間のMean-Shiftより求めた移動後の 座標 $\hat{\mathbf{x}}$ でのスケール空間における移動量 Δs を求め る。 Δs は追跡対象の大きさの変化に合わせる値で あり、参照用スケール s と追跡対象の大きさの変化 率を掛けた値が、推定すべき値となる。参照用スケ ールs が大きければ Δs の値も大きくなるため、スケ ール空間での探索をする場合、参照用スケールs に 合わせて探索範囲を変えなくてはならない。そこで、 探索を行う空間の軸をスケール値ではなく、スケー ルの変化率 S とし、 ΔS を探索する。画像空間の場 合と同様に、式(1)を重みとして以下の式により変 化率を求める。

$$\Delta S = \frac{\sum_{j=0}^{N} K_{scale}(S_j - 1, \sigma_s) \omega(\hat{\mathbf{x}}, sS_j)(S_j)}{\sum_{j=0}^{N} K_{scale}(S_j - 1, \sigma_s) \omega(\hat{\mathbf{x}}, sS_j)}$$
(6)

$$K_{scale}(S,\sigma_s) = \exp\left(\frac{-S^2}{2\sigma_s^2}\right)$$
(7)

求めた変化率 ΔS から、 $\hat{s} = s\Delta S$ により、スケール を更新する.

2.2 平面射影行列

Mean-Shift 探索により得られる追跡点の軌跡より、 フレーム間での対応点が求まる(図3)。求めた対応 点から RANSAC (Random Sample Consensus)[7]によ り、連続する *t* フレームと *t*-1 フレームにおける平面 射影行列 **H***t*,*t*-1 を算出する。



図3 対応点結果

次に、図4に示すモザイク画像を生成するための平 面射影行列 Ht,0 を、t フレームと基準となる 0 フレ ームに射影する平面射影行列は次式により算出する。

$$\mathbf{H}_{t,0} = \prod_{i=1}^{t} \mathbf{H}_{i,i-1} \tag{7}$$

t フレームにおける追跡点座標 $\mathbf{x}_{t} = (u_{t}, v_{t})$ を基 本フレームへ射影変換したものを、モザイク画像座 標 x = H [u, v, 1]^Tとする。このモザイク画像上の追跡点 座標 $\mathbf{x}'_{t} = (u'_{t}, v'_{t})$ を用いる事により、背景と移動 体の移動量の差が大きくなるため、移動体検出が可 能となる。



図4 平面射影行列の畳み込み

2.3 移動体検出

平面射影変換の誤差により、モザイク画像上にお いても背景領域の追跡点の移動が発生する。このよ うなアウトライアを可視化に用いると、誤った移動 体の可視化となる。そこで、車両上の点と背景上の 点の判別を行う。道路を走行中の車両は等速運動で あり、進行方向と移動量の変化は少なく、移動変化 と移動方向のばらつきは、小さくなる傾向がある。 この傾向を利用し、以下の基準により自動車上の追 跡点を選択する。

移動量:
$$l_t = |\mathbf{x}_0 - \mathbf{x}_t|$$
 (8)

移動量変化:
$$\Delta l_t = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{T} ||\mathbf{x}'_{i-1} - \mathbf{x}'_i| - |\mathbf{x}'_i - \mathbf{x}'_{i+1}||$$
(9)
移動方向変化: $d_t = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{T} \cos \theta_i$ (10)
 $l_t = |\mathbf{x}'_0 - \mathbf{x}'_1|$, $\cos \theta_i = \frac{\mathbf{V}_i \cdot \mathbf{V}_{i-1}}{|\mathbf{V}_i||\mathbf{V}_{i-1}|}$

Tは追跡フレーム数、 th_l 、 $th_{\Delta l}$ 、 thd_d は閾値 である。 $l_t > th l_t$ 、 $\Delta l_t 、<math>d_t$ 特徴量の条件を満たさない追跡点はアウトライアと して除去する。図5の場合、追跡点Aのみが選択さ

 $|\mathbf{V}_i||\mathbf{V}_{i-1}|$

れる。図6に移動体検出例を示す。図6(a)は、特徴 点追跡結果、図 6(b)はアウトライア除去した結果で ある。





2.4 移動方向の可視化

移動体として検出した追跡点の動きを表現するた めに、画像座標の移動方向に対応した色相から色を 決定する(図7(a))。移動方向d は36方向とし、座標 x' における方向dの明度 $fd(\mathbf{x}')$ を式(11)より求める。

$$fd(\mathbf{x}') = \sum_{j=1}^{t} \sum_{i=1}^{n} \delta(\mathbf{x}' - \mathbf{x}'_{j,i}, s_i)$$
(11)

$$\delta(\widetilde{\mathbf{x}}, s_i) = \frac{1}{2\pi s_i^2} \exp\left(-\frac{\widetilde{\mathbf{x}}^2}{2s_i^2}\right)$$

n は追跡点数である。 \mathbf{x}'_{ii} はフレームjにおけるi番目の追跡点の座標であり、Parzen Window

Function δ ()には、ガウス分布を用いる。このとき ガウス分布の標準偏差には、2.1.2で求めた追跡点の SIFTのスケールパラメータ s を用いる。図7(b)に示 すように、追跡点の密度が高い領域は移動方向に対 応した色が強く表現されることになる。



3. 衛星画像を用いた可視化

衛星画像上に移動体の移動方向を算出するには、 空撮画像と衛星画像のレジストレーションが必要で ある。空撮画像とのレジストレーションには、 Y.Linらが提案する文献[6]の手法を用いる。

3.1 空撮画像と衛星画像のレジストレーション 連続する空撮画像Iのtフレームと基準となる衛星 画像Mに射影する平面射影行列H_{t,M}を算出する。空撮 画像I(t)をH_{t,M}により射影変換した画像をM_tとする。 手法[6]では、tフレームにおいて求めるM_tは、M_{t-1}に I(t)をモザイクした画像M',とほぼ等しくなると仮定 し、M'_tと重なる範囲の衛星画像U(t)と対応点を求め ることにより、M'_tからの位置ずれを修正して空撮画 像と衛星画像のレジストレーションを可能にする手 法である。そのため、M_tを求めるには、衛星画像と のレジストレーションに成功した前フレームのM_{t-1} が必要となる。そのため、初期フレームの空撮画像 I(0)と衛星画像Mを手動によりレジストレーションす る必要がある。処理手順を図8に示す。

3.1.1 モザイク処理

連続する空撮画像Iのtフレームとt-1フレームにお ける平面射影行列Ht,t-1を算出する。M'_tを求めるた め、衛星画像とのレジストレーションに成功した前 フレームの平面射影行列H_{t-1,M}とH_{t,t-1}を用いて、平 面射影行列H'_{t,M}を算出する。H'_{t,M}はI(t)をM'_tに射影 変換する行列である。tフレームにおいて求めたいM_t は、M_{t-1}にI(t)をモザイクした画像M'_tとほぼ等しくな るため、M'_tと重なる範囲の衛星画像U(t)と対応点を 算出して、衛星画像との位置修正を行うことで、衛 星画像とのレジストレーションを行う。

3.1.2 空撮画像の位置修正

 M'_{t} と重なる範囲の衛星画像U(t)と M'_{t} との対応点 を求める。対応点より平面射影行列 $H \epsilon \delta$ 算出し、 衛星画像 $M \ge M'_{t}$ の位置ずれを修正する。Harris Corner Detectorにより特徴点を算出し、対応点探索に は相互情報量を用いる。求めた相互情報量が一番高 くなる対応点を算出する。処理手順を図9に示す。ま ず、 $U(t) \ge H'^{-1}_{t,M}$ より入力画像I(t)の形に射影変換す る。変換後の $U(t) \ge I(t)$ の対応点を求める。Harris Corner DetectorによりU(t)の特徴点 P_{U} を算出し、I(t)にも P_{U} と同じ座標に P'_{1} を作成する。相互情報量を 得るために $P_{U} \ge P'_{1}$ を中心に領域 $S_{P_{U}} \ge S_{P'_{1}}$ を作成 する。 $P_{U} \ge 対応する P_{1}$ を求めるため、 $S_{P'_{1}}$ と同じ領 域の $S_{P_{k}}$ を作成し $S_{P'_{1}}$ 内をラスタ操作して、相互情報 量 $MI(S_{P_{k}}, S_{P_{U}})$ を求める。求めた相互情報量が一番 高い $S_{P_{k}}$ を見つけ、その $S_{P_{k}}$ の中心を P_{U} の対応点と して P_1 を作成する。最後に、RANSACによりH ϵ を 求めてH'_{t,M}とH ϵ からI(t)とMのレジストレーションを 行う平面射影行列H_{tM}を算出する。



図9 位置修正

3.2 可視化

2.1の追跡結果 **x**_t と**H**_{t,M}を用いて衛星画像座標を 式(12)より求める。

$$\mathbf{x}_t'' = \mathbf{x}_t \mathbf{H}_{t,\mathrm{M}} \tag{12}$$

求められた衛星画像上の追跡点座標 $\mathbf{x}_{t}^{"} = (u_{t}^{"}, v_{t}^{"})$ を用いて、2.3、2.4と同様の手順により移動体検出 を行い、その結果を用いて可視化する。

<u>4 実験結果</u>

空撮画像を用いて提案手法による可視化により車両 等の流れを把握可能か確認する。

4.1 データベース

名古屋市消防局の協力のもと、ヘリコプター(図 10(a))を利用して、搭載されているカメラ(図 10(b)) を用いて、名古屋地区を上空約 400m で空撮撮影し た。撮影した映像例を図 10 に示す。実際には、災害 後の空撮画像を用いるが、今回は、図 11 の時系列画 像(約 1000 フレーム)を用いて移動体の流れの可視化 実験を行う。





(a)ヘリコプター

- (b)カメラ 図 10 撮影機器



図 11 空撮時系列画像

4.2 空撮画像を用いた物体移動方向の可視化結果

図12にモザイク画像による移動体の可視化例を示 す。高速道路上の対向する2車線において、進行方向 が180度異なる2つの流れを把握する事ができる。ま た、交差点を右折する車の動きは、色が少しずつ変 化しており、移動方向の変化を読み取ることができ る。提案する可視化手法は、車両の動きの流れを表 現可能であり、道路状況を把握する情報として期待 できる。また、モザイク画像上に可視化結果を重畳 表示することで、広域に自動車の動きの流れを把握 できる。

4.3 衛星画像を用いた可視化結果

図 13 に衛星画像と空撮画像のレジストレーショ ン結果と可視化結果を示す。衛星画像には Google マップを用いる。図 13(b)より位置ずれの少ない空撮 画像と衛星画像のレジストレーションを確認する事 ができる。また、撮影時間で異なる建物や高速道路 の影や、走行中の車両等の影響を受けていないこと がわかる。可視化結果では、衛星画像上に移動体が 可視化表現されていることが確認できる。可視化に 用いる色を、東西南北で対応付けることにより、ど の方向に移動体が動いているかを把握できる。また、 衛星画像の縮尺と一致するため、移動体の位置や速 度を算出する事が可能となる。さらに、複数のヘリ コプターで撮影した空撮画像を1枚の衛星画像上で 表現可能となるため、より広域に車両等の動きの流 れを把握できる。

<u>5. おわりに</u>

本稿では、車両等の動きの流れに注目した道路状 況把握のための可視化画像生成手法を述べた。今後 の課題として、初期フレームの自動化や、車両等の 異常な流れの自動検出に取り組む予定である。また、 移動体検出精度や衛星画像と空撮画像のレジストレ ーションの精度向上を目指す。





図12 空撮画像による可視化結果



(a) モザイク結果





(b) 衛星画像とのレジストレーション





(c)可視化結果図13 衛星画像を用いた可視化結果

文 献

- [1]David G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", Int. Journal of Computer Vision, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110, 2004.
- [2]都築勇司,藤吉弘亘,金出武雄,"SIFT 特徴量に 基づく Mean-Shift 探索による特徴点追跡", 情報処理学会研究報告 CVIM 157, pp.101-108, 2007.
- [3]秦康範,下羅弘樹,鈴木猛康,菅原愛子,野川忠文, 今井武,目黒公郎,小玉乃理子,"プローブカー情 報の減災利用の取組み",第6回ITSシンポジウム 2007, pp. 389-404, 2007.
- [4]浦部和哉, 佐治斉, "航空画像を用いた災害後の道 路閉塞解析", 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006 35-42, Vol. 106, No. 438, pp. 7-12, 2006.

- [5]D. Comaniciu, P. Meer, "Mean shift analysis and applications", Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Vision, pp. 1197-1203, 1999.
- [6]Yuping Lin, Qian Yu, Gerard Medioni, "Map-Enhanced UAV Image Sequence Registration", IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp. 15, 2007.
- [7]M. Fischer, R. Bolles, "Randoam sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography", Communications of the ACM, Vol. 24, No. 6, pp. 381-385, 1981.