

対称的差分探索法による移動車両のリアルタイム検出

Real-time recognition of moving vehicles using symmetrical differences detection

木村宣隆^{*1}
Nobutaka Kimura

古川徹^{*2}
Toru Furukawa

皆川剛^{*3}
Tsuyoshi Minakawa

守屋俊夫^{*1}
Toshio Moriya

^{*1} (株)日立製作所基礎研究所
Advanced Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

^{*2} (株)日立製作所ディフェンスシステム社
Defense Systems Company, Hitachi, Ltd

^{*3} (株)日立製作所システム開発研究所
Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

We developed a method of moving vehicles recognition for a surveillance system with a camera mounted on a small aircraft. Our method is based on general technique that uses image registration and frame difference, but we newly introduce an idea that detects a region including two symmetrical differences as a moving vehicle for distinguishing small motions of vehicles from errors of image registration. The advantage of the idea is that moving vehicles can be robustly recognized from few frames which were captured with short time interval. In our experiments, using our method, we succeeded in real-time recognition under an adverse condition that an aircraft fluttered in strong winds.

1. はじめに

監視業務には、情報の収集、収集した情報の理解、という 2 つの重要な作業があり、そのうち情報収集において有効な手段の 1 つとして、航空機を用いて上空から監視するシステムが注目されている。近年は、墜落事故に伴う人的及び物的被害を削減するため、情報収集用カメラを搭載した小型の無人航空機 (unmanned aerial vehicle, UAV) を用いた監視システムの開発が進められており、今後の活躍が期待されている。

このような新しい監視システムの導入などにより大量の情報が収集可能となったことに伴い、収集した情報を処理し理解する作業の負担が大きくなってきている。そこで、本研究では、ユーザの情報理解を支援する自動化技術の確立を目指し、大量の情報から真に必要な情報のみを抽出する技術の 1 例として、小型 UAV で取得した画像を対象とし、不審物候補である移動車両をリアルタイムで検出する機能を開発することを目的とする。

被写体変化の抽出に有効な手法としてフレーム間差分法があり、本研究でもこの基本的な枠組みを採用した。ただし、飛行中はカメラが移動し背景の相対変化が起こることから、背景の相対変化を推定し除去する必要がある。また、小型軽量の UAV の機体は強風時にその影響を強く受けて激しく揺動する。そのため、注目被写体のフレームアウトが頻繁に起こり、その撮影時間が短くなる場合がある。このような場合にも検出可能とするために、除去しきれずに残存した背景の相対変化とわずかな車両移動との判別も必要となる。

本研究ではこれらの要求を満たす移動車両検出をリアルタイムで行う手法を開発した。本稿ではその手法について詳述する。

2. 撮影実験

2.1 実験方法

小型 UAV を飛行させ、搭載しているカメラにより地上を移動する車両を撮影する実験を行った。そのイメージを図 1 に示す。

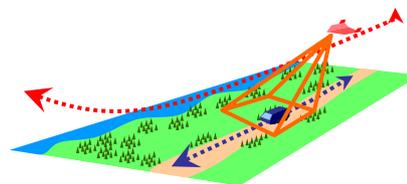


図 1 撮影実験のイメージ

ほぼ直線状の道を自動車に往復させ、小型 UAV はその上空を飛行しながら、そのカメラによって地上の画像を撮影した。

実験用 UAV は翼幅 60cm 程度であり、その機体は発泡スチロールで作られており、可視カメラを搭載している。実験では、UAV の対気飛行速度を 10~15m/sec 程度、飛行高度を 20~50m 程度、画像解像度を 640×480、撮影のフレームレートを 20fps 程度とした。また、自動車は全長約 4m であり、10~30km/hr 程度の速度で往復させた。

2.2 実験結果

本実験で自動車をはっきりと撮影できたシーンを図 2 に示す。白の自動車は停止中で、黒の自動車が移動中である。目算によると、このシーンにおける自動車の速度はおよそ 15km/hr であった。



図 2 移動車両撮影結果

実験時は強風のため機体が大きく揺動し、黒の自動車が撮影された時間は 0.9sec と極めて短く、その間の移動量は車体 1 台分に満たないわずかなものであった。本研究では、このシーンを、許容できる条件の中でも最も難しいケースと見なし、これらの画像から黒の自動車のみを高速に抽出することを目指した。

連絡先: 木村宣隆, (株)日立製作所基礎研究所, 埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2520 番地, Tel: 049-296-6111, FAX: 049-296-6005, E-mail: nobutaka.kimura.fd@hitachi.com

3. フレーム間差分法の適用

図 2 で示した画像群から黒の自動車のみを抽出するため、フレーム間差分の大きい領域を抽出することを考え、本章ではその画像処理フローを示す。ここで、検出処理の中で最も計算コストの高い背景位置合わせには数百ミリ秒の処理時間を必要とする。1sec 以下の短い撮影時間を考慮すると、リアルタイムで複数回の背景位置合わせを行うことは現実的ではない。そこで、本研究では、2 枚の画像から移動車両を検出するアルゴリズムを検討することとした。対象とした 2 画像とそれらを重畳した画像を図 3 に示す。2 画像の撮影間隔は 425msec である。



図 3 研究対象の 2 画像

3.1 背景位置合わせ

まず、2 画像間の変化から背景の相対変化を除去するため、背景位置合わせを行った。

上空から地上を撮影しているためその地上はほぼ平面であると仮定することにより、そのとき 2 画像間の背景変化を透視変換によって表現した。2 画像間の透視変換を推定するため、一方の画像で特徴点を抽出し、それらの特徴点の追跡を他方の画像に対して行うことにより、2 画像間の複数の対応点を取得した。特徴点には Shi と Tomasi が提唱したものを利用し、追跡はピラミッド型 Lucas-Kanade オプティカルフロー抽出法を利用した [Bradski 09]。また、透視変換を推定する際に、誤った対応点が含まれる場合にそれらを除去して推定できるように random sampling consensus(RANSAC)アルゴリズムを適用した。

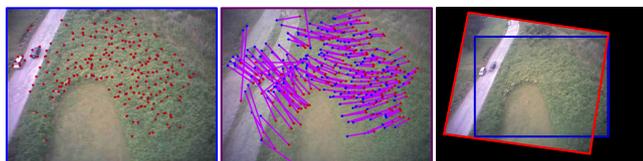


図 4 背景位置合わせ結果

図 3 で示した 2 画像間で 300 点の対応点を求め、位置合わせを行った結果を図 4 に示す。左から特徴点抽出結果、特徴点追跡結果、背景位置合わせ結果を示している。

3.2 差分に基づく領域抽出

図 4 に示す背景位置合わせ後の 2 画像の共通部分に対して差分を算出し、さらにその差分の大きさに基づき二値化処理及びノイズ除去を行うことで差分の大きい領域を抽出した。図 5 に差分の大きさを表す画像を、図 6 に抽出された領域を示す。図 5 では青、緑、黄、赤の順に差分が大きいことを表している。

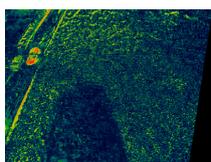


図 5 差分の大きさ



図 6 抽出された領域

ここで、二値化の閾値は毎回の検出処理に対し適応的に求めるため、大津の方法を 2 段階で利用した [大津 80]。

4. 対称的差分探索法の提案

図 6 に示すように、2 画像間の撮影間隔が短い場合、車両移動に起因する変化が小さく、背景位置合わせ誤差により残存した背景の相対変化と同程度の大きさとなる場合があった。本章では、このような場合に移動車両のみを抽出する手法を示す。

4.1 対称的差分探索法の概要

状況を単純化し、背景となる道や車両は単色であり、車両は UAV から見て長方形をしている、と仮定した。図 7 に単純化した状況で画像処理を行う概念図を示す。左は 2 画像の重畳した結果、右は差分の大きい領域を抽出した結果である。

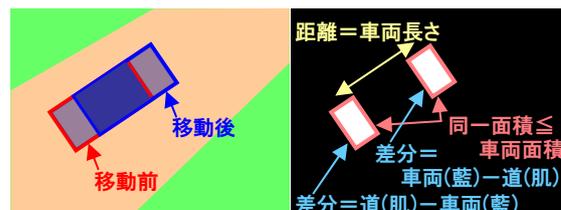


図 7 対称的差分探索法の概要

図 7 のように、車両が移動すると移動方向にずれるように車両が重畳され、移動車両には必ず移動方向に 2 つの差分が現れる。さらに、理想的には、それらの面積は一致し、車両面積よりも小さいものとなる。また、色変化については、一方は道の色から車両の色へ、他方は車両の色から道の色へと変化する。このように、移動車両が持つ 2 つの差分は対称性のあるものとなる。また、本研究のように車両の移動量がその 1 台分に満たない場合、これらの重心位置の距離は車両の長さとはほぼ一致する。

以上を移動車両が持つ特有のパターンとみなし、車両の幾何学的拘束条件を満たす面積及び色変化について対称的な差分を探索することにより、移動車両のみを抽出することを考えた。本手法を対称的差分探索法と呼ぶこととした。

4.2 移動車両検出結果

対称的差分探索法を第 3 章で示した研究対象へと適用した結果を図 8 に示す。図 8 に示す通り、移動中の黒の自動車のみを検出することに成功した。また、本検出処理は 400msec 以内で行われ、リアルタイム検出が実現できていることを確認した。



図 8 移動車両検出結果

5. おわりに

小型 UAV で取得した画像を対象とし、不審物候補である移動車両を検出する機能を開発した。小さな車両移動を 2 画像のみでロバストに検出できる対称的差分探索法を用いることにより、演算コスト削減に成功しリアルタイム検出を実現した。

参考文献

- [Bradski 09] G. Bradski 他: 詳解 OpenCV, (株)オライリー・ジャパン, 2009.
- [大津 80] 大津展之: 判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法, 電子情報通信学会誌, Vol. J63-D, No. 4, pp.349-356, 1980.