

## 時系列航空画像からの道路交通情報の解析

曾我 基<sup>†</sup>      寺井 佑<sup>†</sup>      佐治 斉<sup>†</sup>

<sup>†</sup>静岡大学大学院 情報学研究科

〒432-8011 静岡県 浜松市 城北 3-5-1

本論文では、道路交通情報の解析を目的として、航空機から撮影された時系列画像上で、自動車などの移動物体を抽出し追跡する方法を提案する。時系列航空画像は、上空を移動するカメラから撮影されるため、連続する画像間で様々な変化が生じる。本研究では、撮影位置や角度を変えながら撮影された画像間を対応付ける変換式として、射影変換を用いる。移動物体の抽出には、連続する3枚の画像を用いて行う。まず、連続する2枚の画像間の差分をそれぞれ求め、差分画像間で論理演算を行い移動物体を抽出する。次に抽出した移動物体の周辺領域をテンプレートとし、自動車などの追跡に活用する。

## Analysis of road traffic information from the time sequence of aerial images

Motoi Soga<sup>†</sup>, Tasuku Terai<sup>†</sup>, and Hitoshi Saji<sup>†</sup>,

<sup>†</sup>Graduate School of Information, Shizuoka University  
Johoku 3-5-1, Hamamatsu, Shizuoka 432-8011, Japan.

In this paper, for analysis of road traffic information, we propose the method of extracting and tracking the moving objects, such as cars, from time sequential images taken from the airplane. The time sequence of aerial images are taken by the camera moving on the air, and hence, the sequential images are varied each other. In this study, we use the perspective transformation for matching images taken from several points and angles. For extracting moving objects, we use three sequential images. First, we compute two differences from two sequential image sets, and then, we extract the moving objects by the logical operation on the differences. Second, the regions surrounding the extracted moving objects are used as the template for tracking the objects, such as cars.

## 1 はじめに

道路交通状況の把握は、実社会において非常に重要である。例えば災害時、特に地震のような大規模な自然災害時には、いち早く災害状況を把握し、それに対応することが望まれる。被害の縮小のため、被害状況を把握し、避難経路や緊急車両の侵入経路の確立などが要求される。また平常時においても、道路交通情報は必要とされる。帰省ラッシュ時には、高速道路、主要道路の渋滞状況が多くの人に必要とされている。これらの情報は、地上に設置された感知器や監視カメラなどの機器によって把握できる。しかし、固定された装置から得られる情報では、広い範囲における情報を同時に把握することに限界がある。

これらの問題を解決するために、地上の広い地域の情報を得る必要がある。この方法として、航空画像、衛星画像など、上空からの情報の解析は非常に有効である。

航空画像を用いた研究はこれまでも多く行われている。その手法として対象物の認識がある。認識対象に関する様々な知識を元に、画像を解析し、そこに写されている対象物を検出し認識する。知識の表現には、人工知能の分野で開発された様々な表現方法が利用できる。認識・照合方式では、画像から線や領域といった画像特徴を抽出し、知識として蓄えられている認識対象のモデルとの照合を行う。認識対象の見え方のモデルを画像(テンプレート)として表し、テンプレートマッチングによって対象物の検出を行う。

また、認識対象の持つ様々な特徴(スペクトル特性、形状特徴、テクスチャ特徴など)と画像から抽出された画像特徴とを比較し、認識する方法がある。認識のためには、様々なパターン分類手法が利用できる。複数の対象物から構成される複雑な構造を持つ対象物を認識するには、各部分対象物の認識と部分間の空間的関係の検査を行う必要がある。そのため、局所的対応づけと大局的対応づけの2段階の照合を行う [1]。

地図情報の利用では、海岸線や主な道路と

いった安定な特徴を用いることにより画像と地図の位置合わせや地図情報をもとにした画像の解析を実現する。また、3次元情報を含む斜め画像に対して、立体地図とのマッチングを行う方法がある。まず、立体地図を画像と同じ中心投影図に射影変換し、画像に重畳して対応付ける。そして、照合した立体地図の情報を利用して画像における家屋の屋根や壁の情報を検出する [2]。

本研究では、時系列航空画像を用いて地上の移動物体を抽出し、これを追跡することで道路交通情報を解析することを目的とする。航空画像は、航空中の撮影環境の変動を受けるため、得られる時系列画像は、並行移動、回転、拡大縮小等の変化を受けやすい。これら画像の歪みを補正するために、射影変換を用いて時間的に連続する画像間の対応付けを行う。次節で移動物体の抽出方法、次々節で実験結果を述べる。

## 2 移動物体の抽出方法

### 2.1 概要

固定カメラで撮影された時系列画像中から移動物体を抽出することは容易である。特に、屋内で照明が変化しない状況下で撮影した状況では、背景画像を利用することで、時系列画像中の各フレームとの差分計算を行い、移動物体の追跡を行うことができる。これに対し、本研究では飛行中において撮影された時系列画像から移動物体の抽出を行うため、まずは、毎回変動する画像間全体の位置合わせを行う必要がある。この処理の後、差分計算により、画像中のから移動物体を抽出する。画像間の位置合わせにおいては、飛行中のカメラの位置・角度・高さなどにより、透視的歪みが生じるため、これを補正するための幾何学変換が必要である。本研究では、テンプレートマッチングと射影変換を用いることで、画像の位置合わせを行う。

## 2.2 テンプレートマッチング

テンプレートマッチングは、対象物のパターン画像(テンプレート画像)を探索領域内で動かして探索し、最も良く照合する領域を算出する処理である。本研究では、時刻  $t$  における画像中から特徴点を複数抽出し、これが時刻  $t + \Delta t$  における画像のどこに照合するかを求める。時刻  $t$  の特徴点に対応する画像上  $I_t$  の値をテンプレートとし、時刻  $t + \Delta t$  の画像  $I_{t+\Delta t}$  上でマッチングする。ここでは、式(1)に示す相違度  $S$  が最小となる位置を求める。

$$\begin{aligned} s &= |I_t(x, y) - I_{t+\Delta t}(x', y')| \\ S &= s(R) + s(G) + s(B) \end{aligned} \quad (1)$$

( $R, G, B$  は、 $RGB$  表色系における  $R$  成分、 $G$  成分、 $B$  成分)

各特徴点について求められた、2つの画像上の座標値を用いることで、画像間の射影変換パラメータを計算し、線形補間により特徴点以外の部分も含め画像全体の位置合わせを行う。

## 2.3 射影変換

異なる位置から撮影された画像間の座標は、12個のパラメータを用いた射影変換によって関係付けられる。このパラメータは、物体とカメラの2つの座標系の相対位置と方向関係およびカメラの焦点距離で定まるカメラパラメータに依存する [3][4][5][6]。

外部座標系での座標を添字  $a$  で、ある時点でのカメラ座標系上での座標を添字  $c$  で区別すると、2つの関係は、式(2)、式(3)、式(4)と書くことができる。

$$r_{11}x_a + r_{12}y_a + r_{13}z_a + r_{14} = x_c \quad (2)$$

$$r_{21}x_a + r_{22}y_a + r_{23}z_a + r_{24} = y_c \quad (3)$$

$$r_{31}x_a + r_{32}y_a + r_{33}z_a + r_{34} = z_c \quad (4)$$

画像面の座標を  $(x', y')$  とし、カメラのレンズ中心から画像面までの距離を  $f$  とすると、

$$\frac{x'}{f} = \frac{x_c}{z_c} \quad (5)$$

$$\frac{y'}{f} = \frac{y_c}{z_c} \quad (6)$$

の関係が成り立つので、カメラ座標系での  $x_c$  と  $y_c$  と  $z_c$  に対する比が求められる。まとめると、

$$\frac{x'}{f} = \frac{r_{11}x_a + r_{12}y_a + r_{13}z_a + r_{14}}{r_{31}x_a + r_{32}y_a + r_{33}z_a + r_{34}} \quad (7)$$

$$\frac{y'}{f} = \frac{r_{21}x_a + r_{22}y_a + r_{23}z_a + r_{24}}{r_{31}x_a + r_{32}y_a + r_{33}z_a + r_{34}} \quad (8)$$

となる。

この関係式を、別の時点におけるカメラ座標系にも適用し同様な式を求め、連立させることにより、異なる位置から撮影された画像間の座標変換式が求められる。

## 2.4 差分計算

射影変換により位置合わせがなされた2枚の画像間において、各画素の差分値を計算する。テンプレートマッチングにおける計算と同様に、対応する各画素における  $RGB$  各成分の差の絶対値を計算し、その総和を差分値とする。この差分値が大きい画素群を、移動物体領域として抽出する。

## 3 実験結果

本研究では、静岡市上空からヘリコプターで撮影した画像を用いる。カメラは汎用のビデオカメラを用い、フレーム間隔は30分の1秒である。この画像を5フレーム間隔で用いる。画像サイズは320画素×240画素である。

### 3.1 画像間の変換式

本研究では、画像間の位置合わせに射影変換における変換式を用いる。地表面の対象物の高さが航空画像の高度と比較して小さいことから、座標点の高さ成分は常に0とする。カメラパラメータの式(7)、式(8)から、時刻  $t$  における画像面の座標  $(x'_t, y'_t)$  に対し、

$$\frac{x'_t}{f} = \frac{r_{11}x_a + r_{12}y_a + r_{14}}{r_{31}x_a + r_{32}y_a + r_{34}} \quad (9)$$

$$\frac{y'_t}{f} = \frac{r_{21}x_a + r_{22}y_a + r_{24}}{r_{31}x_a + r_{32}y_a + r_{34}} \quad (10)$$

が得られ、同様に時刻  $t + \Delta t$  における画像面の座標  $(x'_{t+\Delta t}, y'_{t+\Delta t})$  に対し、

$$\frac{x'_{t+\Delta t}}{f} = \frac{r'_{11}x_a + r'_{12}y_a + r'_{14}}{r'_{31}x_a + r'_{32}y_a + r'_{34}} \quad (11)$$

$$\frac{y'_{t+\Delta t}}{f} = \frac{r'_{21}x_a + r'_{22}y_a + r'_{24}}{r'_{31}x_a + r'_{32}y_a + r'_{34}} \quad (12)$$

が得られる。以上2式から、 $(x_a, y_a, z_a)$  を消去して得られる以下の式を画像の変換式とする。

$$x'_t = \frac{S_1 x'_{t+\Delta t} + S_2 y'_{t+\Delta t} + S_3}{S_7 x'_{t+\Delta t} + S_8 y'_{t+\Delta t} + 1} \quad (13)$$

$$y'_t = \frac{S_4 x'_{t+\Delta t} + S_5 y'_{t+\Delta t} + S_6}{S_7 x'_{t+\Delta t} + S_8 y'_{t+\Delta t} + 1} \quad (14)$$

$S_i$ : パラメータ ( $i = 1, 2, \dots, 8$ )

この変換式により、連続する画像間において、座標の対応付けが可能となる。

### 3.2 移動物体の抽出

連続する3枚の画像 ( $I_t, I_{t+\Delta t}, I_{t+2\Delta t}$ ) を用い移動物体を抽出する。まず、1枚目 ( $I_t$ ) と2枚目 ( $I_{t+\Delta t}$ ) の画像間で差分画像を作成する (図1)。今回の実験では、16個の点により2枚の画像を対応させるパラメータを求めた。それぞれの点ごとに  $5 \times 5$  のテンプレートを用い、並行移動によりテンプレートマッチングを行い対応点を求める。この時、求めた対応点の移動量が、他の点の平均移動量と比較して大きく違う場合は削除する。求めた対応点の座標から最小2乗法を用いて、式(13)、式(14)におけるパラメータを算出し、変換式により画像間の座標を対応させ差分計算を行う。 $R, G, B$  ごとに差の絶対値を求め、その合計値により差分画像を作成する。これを2枚目 ( $I_{t+\Delta t}$ ) と3枚目 ( $I_{t+2\Delta t}$ ) の画像についても行う (図2)。

次に、2枚の差分画像の論理積画像 (図3) および論理和画像 (図4) を作成する。論理積画像では、2枚の差分画像の画素値が閾値以上であれば1とし、そうでなければ0とする。こ

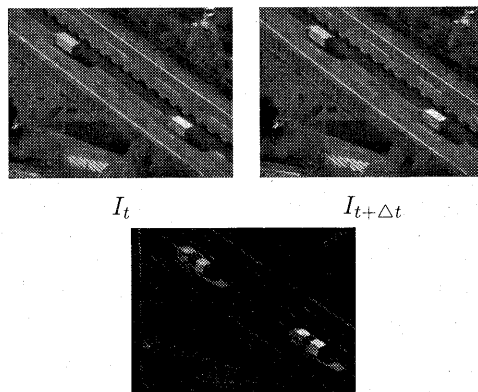


図1:  $I_t, I_{t+\Delta t}$  の差分画像の作成

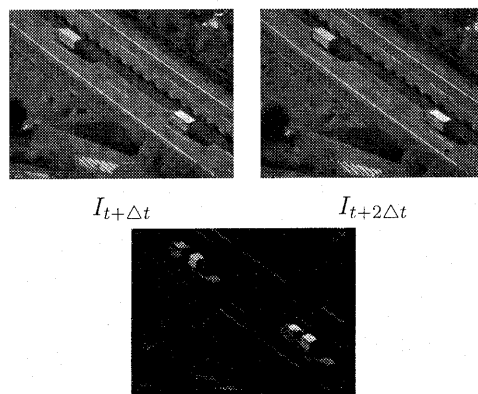


図2:  $I_{t+\Delta t}, I_{t+2\Delta t}$  の差分画像の作成

の時は、閾値を低く設定することで、2枚の差分画像中で共に変化のある画素を、より小さな値を画素まで出す。論理和画像では、2枚の差分画像のどちらかの画素値が閾値以上であれば1とし、そうでなければ0とする。この時は、閾値を高く設定することで、2枚の差分画像ごとに変化の大きい画素を抽出する。最後に、論理積画像と論理和画像の間で論理積を計算し、さらに雑音を除去することで移動物体の抽出を行う (図5、図6)。また、移動物体を中心とした領域からテンプレート画像を作成する (図7、図8)。

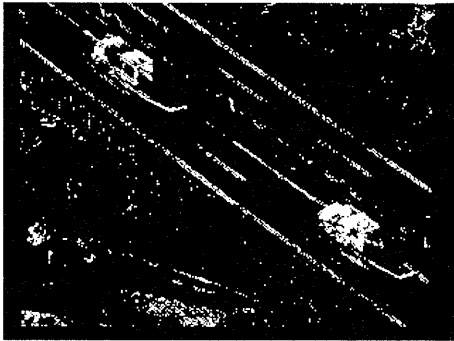


図 3: 論理積画像

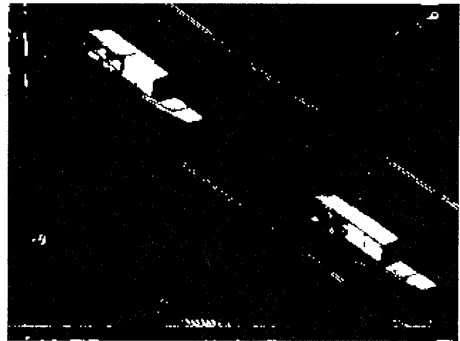


図 4: 論理和画像

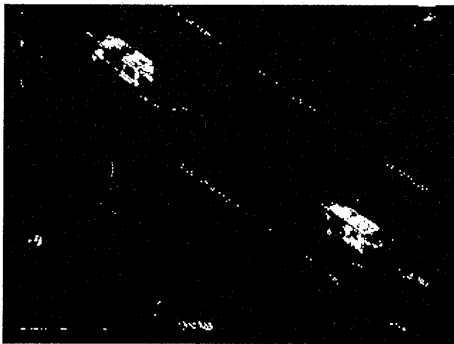


図 5: 移動物体抽出画像

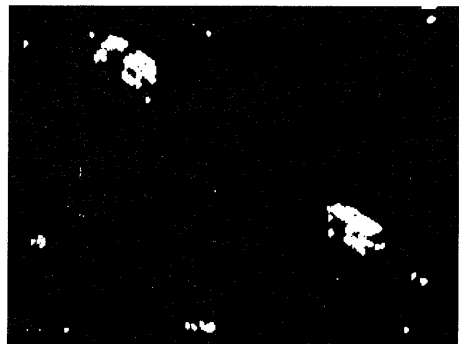


図 6: 雑音除去画像

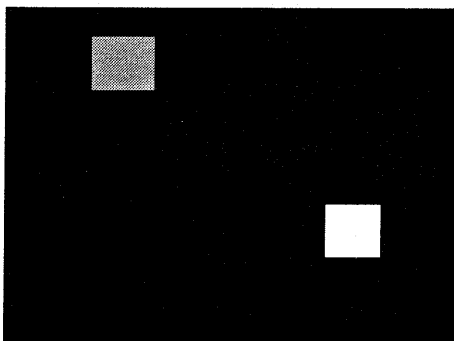


図 7: 移動物体領域

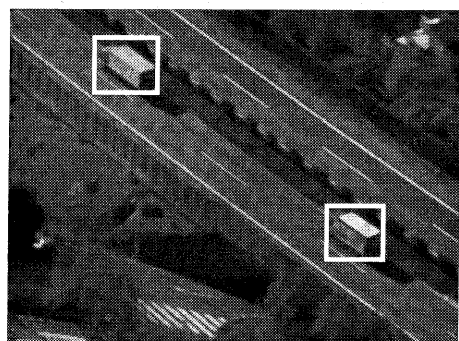


図 8: テンプレート画像

## 4 まとめ

連続する航空画像から移動物体を抽出する手法を提案した。射影変換を用いることで、撮影環境によらない時系列航空画像からの移動物体の抽出が実現できた。また、3枚の時系列画像を用いることで、移動物体の位置をより正確に抽出できた。

今後の課題としては、作成したテンプレート画像を時系列画像上で探索し、自動車などの移動物体の追跡に利用する予定である。

## 参考文献

- [1] 松山隆司, 長尾 真, “航空写真の構造解析” 情報処理, vol.21, No.5, pp.468-480, 1980.
- [2] 小川祐紀雄, 角本 繁, 岩村一昭, “立体地図を用いた航空写真画像理解による地域の特徴抽出” 電子情報通信学会論文誌, D-II, vol.J81-D-II, No.6, pp,1242-1250, 1998/6.
- [3] 鳥生 隆, 遠藤利生, 為清 彰, “射影変換に基づく画像間の補間” 電子情報通信学会. 信学技報, IE94-14, 1994/5.
- [4] 張堯棟, 高木幹雄, “気象衛星 NOAA 画像における幾何補正 -最適なブロックサイズについて-” 電子情報通信学会. 信学技報, IE92-80, 1992/11.
- [5] 谷口慶治, “画像処理工学 -基礎編-” 共立出版, 1996.
- [6] 谷内田正彦, “ロボットビジョン” 昭晃堂, 1990.