

航空画像とデジタル地図を用いた 道路交通情報の自動抽出

増山久美子 佐治 斉
静岡大学大学院情報学研究科

あらまし 実社会において道路交通情報の把握は非常に重要である．特に地震などの大規模災害時には，迅速に被害状況を把握し，緊急車両の経路を確立する必要がある．従来，交差点や道路上に設置してある機器を使った観測が行われてきたが，地震などの大規模災害時には破損し，機能しなくなる恐れがある．また，カメラが散在して設置されているため一度に広範囲の情報を取得することは難しい．そこで，本研究では時系列航空画像とデジタル地図を用いて道路領域と車両領域を抽出する方法を提案する．上空から道路に沿って移動しながら撮影された航空画像を用いることにより，広い範囲での道路交通情報を自動抽出することができる．

Automatic Extraction of Road Traffic Information from Aerial Images and a Digital Map

Kumiko Masuyama Hitoshi Saji
Graduate School of Information, Shizuoka University

Abstract Extraction of road traffic information is important. In particular, at the time of a disaster, it is required to establish the route of emergency vehicles. Sensors on the road or crossing are used for this purpose. However, these sensors may be damaged by the serious disaster like an earthquake, and these sensors, which are set up at space intervals obtain hardly any wide road traffic information at a time. In this paper, we propose a method of extraction of the road regions and vehicle regions from a time sequence of aerial images and a digital map. This method enables automatic extraction of the road traffic information on the wide area.

1. はじめに

実社会において道路交通情報の把握は非常に重要である．

帰省ラッシュ時や通勤時などにおいては主要道路や高速道路の渋滞情報を多くの人が利用している．また災害時，特に地震のような大規模自然災害時には，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．被害の拡大を抑えるため，避難経路や緊急車両の侵入経路を迅速に探索することが多くの人に要求される．

従来から，道路上に設置された感知器や交差点に設置された地上監視カメラを用いた道路交通情報の把握や解析が行われてきた．このような機器は主な交差点に設置されており，単位時間の交通量を計測することができる [1]．地上に設置された機器を用いるため，ぶれのない信頼度の高い情報を得られる反面，設置箇所が散在しているため広い範囲の正確な情報を同時に取得することができないという問題点がある．また，地震などの災害の場合においては，地上に設置された機器や通信網が破損し有効に機能しなくなる恐れも考えられる．



図 1: 処理概要

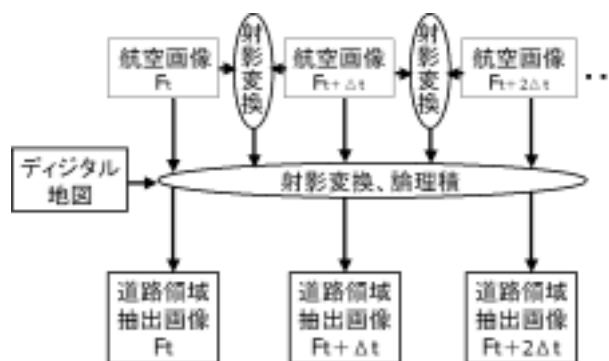


図 2: 道路領域抽出概要

これらの問題を解決するために航空画像や衛星画像など、上空からの情報を使った道路交通情報の取得は有効であると考えられる。これまでも、航空画像を使って道路交通情報を抽出する研究は数多く行われてきている [2][3][4]。しかし、これらのほとんどは固定観測を前提としているため、広い範囲での道路交通情報を一度に抽出することができない。また、撮影される画像中には、道路だけではなく家屋やビルなどの建物や街区部分が多く含まれるため解析が困難である。これに対し、デジタル地図を利用し、簡易に正確な航空画像の解析を行っている研究がある [5] [6]。

そこで、本研究では時系列航空画像とデジタル地図を使って広い範囲における道路交通情報を自動抽出する方法を提案する。

以下、2章で処理の流れについて説明する。3章で道路領域の抽出方法、4章で車両領域の抽出方法について述べる。そして5章で本手法を適用した実験例を示し、今後どのような課題があるかについて考察を行う。

2. 処理概要

本研究では時系列航空画像とデジタル地図を用いて道路領域を抽出し、その範囲内から車両領域の抽出を行う。処理の流れを図1に示す。

道路領域の抽出では、航空画像とデジタル地図

の照合を射影変換を用いて行う。次に照合した位置において論理積をとり、道路領域の抽出を行う。

抽出した道路領域範囲内において、枠マッチングや2値化などの画像処理技法を用いて車両領域の抽出を行う。

3. 道路領域抽出

航空画像から道路領域を抽出するために道路領域とそれ以外の領域が色分けされているデジタル地図と射影変換を用いて位置あわせを行う。その際、航空画像同士でも照合を行い、その結果を用いてデジタル地図と航空画像の照合を行う。航空画像間の照合では射影変換とテンプレートマッチングを用いる。このように多数のフレームで照合を行っていくと、航空画像とデジタル地図間において位置ずれが生じるため、それを補正する必要がある。最後に論理積演算を適用することで道路領域を抽出する。(図2)。

3.1 射影変換

射影変換は、カメラの角度、高さなどの撮影環境によって生じる画像の透視的歪みを考慮することができる。航空画像面の座標を (X_t, Y_t) 、デジタル地図面の座標を (x_t, y_t) とする。このとき、 (X_t, Y_t)

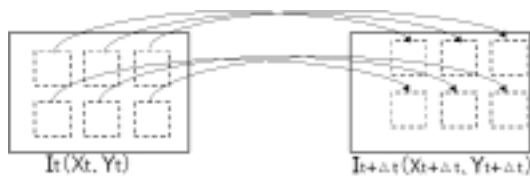


図 3: テンプレートマッチング

は (x_t, y_t) を用いて次のように表される .

$$X_t = \frac{S_{1,t}x_t + S_{2,t}y_t + S_{3,t}}{S_{7,t}x_t + S_{8,t}y_t + 1} \quad (1)$$

$$Y_t = \frac{S_{4,t}x_t + S_{5,t}y_t + S_{6,t}}{S_{7,t}x_t + S_{8,t}y_t + 1} \quad (2)$$

$S_{i,t} (i = 1, 2, \dots, 8)$ は射影変換パラメータ

式 (1), (2) を用いて航空画像の 1 枚目のフレームとデジタル地図との照合を手動で行う . 2 枚目以降のフレームとデジタル地図との照合は , 直前のフレームと射影変換を用いた照合結果と , 直前のフレームがデジタル地図と照合した結果を用いて行う .

3.2 テンプレートマッチング

航空画像同士の照合においても射影変換を用いる . 射影変換式では 8 個の未知のパラメータがある . これを解くためには 4 点以上の対応点の座標が必要である . この対応点の座標を求めるため , ここではテンプレートマッチング処理を適用する .

テンプレートマッチングでは , あるフレームにおいて複数のテンプレートを抽出し , 次のフレームにおけるマッチング位置を求める (図 3) . その際 , 時系列航空画像を用いているため , マッチング位置は , 直前のフレームで抽出したテンプレート位置の近傍にあることが考えられる . そこで探索範囲を限定したテンプレートマッチングを行うことができる .

なお , このマッチング処理において , 車両が走行しているため , その動きにつられ正しい結果が得られない可能性がある . そこでマッチング誤差の値が大きくなるものは , 結果から省く処理を行う .



図 4: 車両領域抽出概要

3.3 補正

複数のフレームを使って照合を行っていくと航空画像とデジタル地図との間でずれが生じる . そのため , 射影変換パラメータの算出を行った後 , その値を元に補正を行う . 補正においては , デジタル地図からエッジの方向を抽出した画像と , 航空画像からエッジの方向を抽出した画像を用いる . なお , このエッジ抽出では計算式が簡易な Sobel フィルターを用いる .

まず , 最初に求められた射影変換パラメータを用いて航空画像に射影変換を適用し , デジタル地図上に重ね合わせる . 重ね合わされた画素同士で , 航空画像上のエッジ角度とデジタル地図上のエッジ角度との差の絶対値を求めその値がしきい値以下となる画素数を数え上げる . パラメータを変動させ画像を変換しつつ , 数え上げを繰り返し , その結果が最大となる時のパラメータを求める . そして , このパラメータを用いて画像を射影変換したときの位置を最適な位置とみなす .

4. 車両領域抽出

抽出した道路領域内から車両領域の抽出を行う . ここでは , 微分や枠マッチング , 及び 2 値化などの画像処理技法を用いる (図 4) .

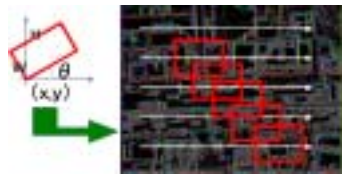


図 5: 車両候補抽出



図 7: 初期フレーム



図 8: 照合結果



図 6: 絞込み条件



図 9: I_t



図 10: $I_{t+\Delta t}$

- 2 台の車両を 1 台の車両として抽出している枠 .
- 1 台の車両に対して複数の枠 .

これらに対処するために、さらに次の条件での絞込みを行う .

- 白領域の割合に関する条件をさらに厳しくする .
- 車両枠の面積が大きいものを優先して処理する .

以上の絞込みにより残った枠を、最終的に車両領域とする .

4.1 車両候補抽出

航空画像に Sobel フィルターを適用して微分し、各画素におけるエッジ角度を算出しておく。車両領域を抽出するために、矩形車両フレームを用意する (図 5)。車両フレームの縦長、横長、角度を変動させつつ、航空画像内のエッジと枠の方向が一致している画素数をカウントし、しきい値以上のものを車両候補として抽出する。

4.2 2 値化を用いた絞込み

多数求められた車両候補から車両に相当する位置のみに絞込むために、道路領域と車両領域を分離するしきい値を用いた 2 値化処理を元画像に適用する。(なお、2 値化により車両領域と判定された領域を白領域とする。)そして、車両候補枠内における白領域の面積の割合が大きいものは残し、それ以外のは削除する処理を行う (図 6)。

この処理により、車両枠の絞込みがある程度行える。しかし、以下のような枠が存在してしまう。

5. 実験

5.1 実験結果

本研究においては、東京都内約 300 メートル上空を、直線道路に沿って飛行するヘリコプターから、汎用のビデオカメラ (フレーム間隔 1/30 秒) を用いて道路を撮影した画像を用いる。

画像のサイズは 640×840 画素、1 画素は RGB 各 8 ビットから構成されている。デジタル地図は 2500 分の 1 縮尺で、道路領域とそれ以外を色分けすることが可能なものを用いた (ムーエス株式会社 発行 東京地価 23 バージョン 3)。



図 11: 補正前



図 12: 補正後



図 13: 道路領域抽出結果

5.1.1 道路領域抽出

初期フレーム（図 7）とデジタル地図を射影変換を用いて手で照合した（図 8）。次に、 I_t 上で複数の特徴点を一定間隔に設定しその周囲 80×80 画素のテンプレートを仮定し、時間的に連続する $I_{t+\Delta t}$ 上でテンプレートマッチングを行った。その結果を図 9 と図 10 に示す。4 点以上の対応点が求められているため、射影変換式の 8 パラメータを求めることができる。

時系列航空画像の初期フレーム I_t とデジタル地図の位置合せにおける射影変換パラメータと、時系列航空画像の初期フレーム I_t と次のフレーム $I_{t+\Delta t}$ 間の位置あわせにおける射影変換パラメータを用いて、フレーム $I_{t+\Delta t}$ とデジタル地図との間の射影変換パラメータを求めることができる。さらに、射影変換式を順次連立させることによって、時系列航空画像の各フレーム $I_{t+2\Delta t}$, $I_{t+3\Delta t}$, ... とデジタル地図との射影変換パラメータを求めていく。

以上のように求めたパラメータを用いてある時刻のフレームとデジタル地図とを重ね合わせた例を図 11 に示す。

ここで射影変換式を連立しているため誤差が蓄積し、位置ずれが生じている。これを解消するために補正を行う（図 12）。補正のために求められたパラメータで射影変換を行い、対応付けられたデジタル地図の座標値を参照し、道路領域を抽出する（図 13）。



図 14: エッジ抽出



図 15: 2 値化結果



図 16: 車両候補

5.1.2 車両領域抽出

Sobel フィルターを用いてエッジの抽出を行い、各画素におけるエッジ角度を算出する。なお、エッジ強度の弱い部分はあらかじめ除いておく。エッジ抽出画像を図 14 に示す。また、道路領域と車両領域を分離できるようなしきい値により 2 値化を行った結果を図 15 に示す。エッジ抽出画像上で枠マッチングを用いて車両候補の抽出を行う。抽出した結果を図 16 に示す。次に、抽出した車両候補から絞り込みを行う。まず、枠内における白領域の割合が 75 % 以上の枠だけに絞る。次に、白領域の面積が 300 画素以上で枠内の 90 % 以上の面積を占める枠だけに絞り、さらに車両 1 台に対して 1 つの枠だけを採用し、車両領域の抽出を行った（図 17）。3 フレームでの抽出結果画像を図 18 に示す。また、合計 10 フレームで抽出した結果を表 1 に示す。

車両台数は実在した車両の台数、抽出台数は、車両台数のうち提案手法により抽出された車両の台数、誤抽出は車両ではないのに誤って車両として抽出されたものを示す。



図 17: 絞込み

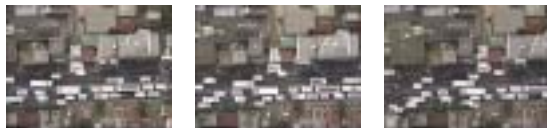


図 18: 車両領域抽出結果

表 1: 車両抽出台数結果

	車両台数 (台)	抽出車両 (台)	誤抽出 (個)
1	24	23	8
2	26	26	4
3	27	23	9
4	25	21	11
5	25	22	10
6	26	22	10
7	25	22	10
8	25	21	10
9	20	18	10
10	25	22	6

5.2 考察

表 1 より，車両の抽出率は高いが誤抽出が多く生じたことがわかる．

誤抽出の原因として，横断歩道や車線など道路上で白線として描かれているものが挙げられる．本研究では，エッジ抽出により車両候補を抽出し，2 値化処理を施した結果を用いて絞込みを行っているため，2 つの処理の誤差が抽出精度に強く影響していると考えられる．これを解決するために，エッジ抽出の際に車線や横断歩道をあらかじめ候補からはずす処理を行う必要があると考えられる．

また，道路と類似した色をもつ車両は抽出されなかった．これは sobel フィルターでのエッジ抽出で，エッジが明確に検出されないため，車両候補として抽出されにくいことと，また，2 値化処理を行った際に車両領域として抽出される画素の割合が少なく，絞込みにおいて消えてしまいやすいことが原因であると考えられる．

道路領域の抽出では最大 5 ピクセル程度の誤差が生じた．これは地上面では約 75cm の誤差となる．本研究で位置合せに用いている射影変換が，建物などの高さ成分を考慮しておらず，画像間の位置合せに影響を与えたことが誤差の大きな要因である．

6. おわりに

本研究では，道路上空を移動しながら撮影された時系列航空画像とデジタル地図を用いて道路領域と車両領域を抽出する手法を提案した．テンプレートマッチング手法と射影変換を用いることで，飛行中の航空機から撮影された時系列航空画像間の位置合せが自動的に行えた．また，時系列航空画像列とデジタル地図との間に 2 段階マッチング処理を適用することにより，道路領域を自動抽出できた．さらに，車両形状を仮定した車両枠による照合処理により，航空画像列中各フレームから車両領域を自動抽出することができた．

今後の課題として，

- 航空機の移動方向予測による処理時間の短縮
- 交差点における交通情報の抽出
- 車両の追跡と速度の解析

などを検討し実験を行う計画である．

謝辞 本研究を進めるにあたり，画像情報の面でご協力いただいた 警察庁科学警察研究所の皆様へ深く感謝する．また，本研究の一部は財団法人電気通信普及財団の研究助成による．

参考文献

- [1] 金山憲司. 道路交通システムにおける画像認識の現状と技術課題. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. PRMU97-32, pp. 57-64, 1997.
- [2] 布施孝志, 清水英範, 前田亮. 高度撮影時系列画像を用いた車両動体認識手法の構築. 土木学会論文集, Vol. IV-60, No. 737, pp. 159-173, 2003.
- [3] 佐治斉, 本間正勝, 曾我基, 寺井佑. 時系列画像を用いた道路上の走行車両の抽出. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J86-A, No. 5, pp. 599-603, 2003.
- [4] 清水英範, 四童子隆, 布施孝志. 成層圏プラットフォームを想定した車両の動体追跡手法に関する研究. 写真測定とリモートセンシング, Vol. 38, No. 4, pp. 53-58, 1999.
- [5] 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, J81-D-II, No. 6, pp. 1242-1250, 1998.
- [6] 本田圭一, 八木将博, 小杉信. 2次元地図と航空写真を用いた3次元地図生成. 映像情報メディア学会, Vol. 24, No. 23, pp. 15-19, 2000.