

複数視点からの航空画像とデジタル地図を用いた災害時 道路交通情報解析システム（継続）

代表研究者	佐 治 齊	静岡大学情報学部助教授
共同研究者	日 置 尋 久	京都大学大学院人間環境学研究所助教授
〃	中 谷 広 正	静岡大学情報学部教授
〃	新 谷 誠	静岡大学情報学部講師

概要

本研究は、複数視点から撮影された航空画像の入力から、画像処理技術を用いて道路交通情報を抽出・解析し、種々の用途に応用していくものである。今回の研究調査では、前年度までに構築した道路交通情報解析に関するシステムの実用化を踏まえ、デジタル地図と航空画像との統合部の改善を中心に、システム全体の改善を行った。また実画像を用いた実験により、システムの有効性を確認した。

1 はじめに

現在、自動車が広く普及していく中で、道路交通状況の把握は実社会において非常に重要となっている。例えばラッシュ時には高速道路や主要道路における渋滞状況に関する情報が多くの人々に活用される。また、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対応することが望まれる。

このような状況下で、近年 ITS (Intelligent Transport Systems) が注目されてきている。ITS とは、最先端の情報通信技術を用いて交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築する新しい交通システムのことである。このシステムにより安全性や輸送効率、快適性の向上が期待されており、現在多くの研究・開発が進んでいる。

道路交通情報の把握や解析には、道路上に設置された感知器や監視カメラを用いた研究が数多くなされてきた⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、地上に一定距離間隔で設置された感知器やカメラにより得られた定点観測情報からでは、個々の車両の動きなど道路交通情報の詳細を広い領域にわたって一度に把握することは困難である。また地震災害時などにおいては、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い可能性もある。

広い地域の情報を地震災害などの影響を受けずに一度に得る手段として、航空画像や衛星画像など、上空からの情報の収集と解析は非常に有効と考えられており、これまでも、上空からの画像を用いて、地上の情報を解析する研究は多く行われている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

航空画像には、ヘリコプターやセスナによる撮影のほか、地上 20km 程度の気象の安定した成層圏に無人飛行船を静止させ、地上に対する観測を行うという成層圏プラットフォーム構想等も推進され、さらに容易にデータを取得することが可能になると予想される⁽⁶⁾。

しかし、広域を詳細に調査する目的で活用する航空画像処理には、動物体を認識する処理に用いる背景差分などの汎用手法をそのまま用いることができず、解析が困難になる。特に、航空画像の解析における処理の一つとして、道路領域を抽出することは重要である。道路領域を抽出する手法としては、テンプレートマッチングを利用し、道路ネットワークを作成する方法⁽⁷⁾等があるが、確実にすべての道路領域を抽出できるものではない。これに対し、デジタル地図を活用し、これとの位置合わせを行うことは非常に有効であり、位置合わせを行えた航空画像は、ほぼ確実に道路領域のみを抽出することができる。

本研究では、道路領域抽出の改善を目的として、2次元デジタル地図と航空画像との自動位置合わせ手法の改善を行い、さらに車両の動きを効率よく行う手法を考案した。

2 アルゴリズム

2.1 概要

本研究では、以下の手順で、デジタル地図と航空画像の自動位置合わせを行う。

- ・ライン抽出による回転角の確定
- ・道路領域内の方向成分の抽出
- ・分割ブロックマッチング
- ・航空画像のデジタル地図への投影

以下、順に説明する。

2.2 ライン抽出による回転角の確定

まず、ラインを抽出するために、航空画像とデジタル地図に対してハフ変換を適用する。ここで、航空画像とデジタル地図において、エッジ抽出を経てハフ変換により抽出されるラインは、主に道路方向に沿ったものであると考えられる。次に、ライン上の各点についてエッジの角度に関して投票処理を行うと、道路の方向に沿う角度に多く投票されると考えられる。これにより、画像内の道路の方向成分が得られ、その方向成分の分布範囲が限定されている画像内では、道路の幅などに関係なく、航空画像とデジタル地図の双方で同様の結果が得られると考えられる。具体的な処理方法として、まず、航空画像とデジタル地図それぞれにおいて、エッジ画像を求め、ハフ変換によりラインを抽出する。そして、抽出されたライン上の各点についてエッジ角度を求め、ヒストグラムを作成する。最後に、航空画像とデジタル地図それぞれのヒストグラムを用いて、相関計算を行い、その相関値が最大になる角度が、航空画像とデジタル地図の位置合わせ回転角として求まる。

2.3 道路領域内の方向成分の抽出

航空画像とデジタル地図の位置合わせを行うにあたり、双方のデータの性質が異なるため直接比較することができない。そこで、一般的に用いられるのが、エッジ画像によるマッチング手法である。しかし、この問題点として、航空画像上の道路の境界エッジは必ずしもデジタル地図上の境界線上に抽出されず、逆に、建物の密集している都市部においては、建物の境界エッジの方が数多く抽出されてしまい、道路境界の抽出が困難となることがある。これに対し、デジタル地図には、建物情報も含まれているため、建物の境界エッジにそったマッチングを行う方法もある。デジタル地図上の建物の境界エッジははっきりと抽出されやすく、ほぼ真上から撮影された航空画像を用いた場合は有効であるが、地上面に対して傾いた角度から撮影された画像においては建物の高低さにより境界エッジがずれるため、正確な位置合わせが行えない。そこで本手法では、ほぼ同じ高さにある道路をマッチングの対象とし、その色情報を用いて道路領域を限定し、さらに周辺エッジから道路全体の方向を求めることで、方向が一致している道路領域間のマッチングを行い、向きの異なる道路間の誤マッチングを防ぐ方法を用いる。以下に航空画像とデジタル地図双方について、道路領域内の方向成分の抽出方法を説明する。

① 航空画像について

まず、航空画像内の道路上の基本色を求める。道路領域は画像内で占める面積が多いが、同じ道路でも影などにもより、同一の色となるとは限らない。そこで、元画像をいくつかの領域に分割し、各領域ごとに R, G, B それぞれの濃度ヒストグラムを作成し、最も投票数の多い基本色 $C_I (R, G, B)$ を求める。分割した領域分の数だけ道路基本色が求まるが、この基本色に対して、その領域内における画素 $C_x (R, G, B)$ との間で、以下の全てが成り立つ場合には、その画素を残し、他の画素を除去する。

$$\begin{aligned} |C_I (R) - C_x (R)| &< \text{閾値} \\ |C_I (G) - C_x (G)| &< \text{閾値} \\ |C_I (B) - C_x (B)| &< \text{閾値} \end{aligned}$$

残された画素から構成される領域に対し、さらに収縮膨張処理を行うことで小領域を除去し、道路候補領域が得られる。

道路候補領域周辺に SOBEL フィルタを適用し、エッジの強度と角度を算出しエッジ画像を作成する。なお、

エッジ強度が閾値以上の画素に対してのみエッジの角度を求め、それ以外の画素に対しては、角度は無効値とする。

次に、道路領域内の方向成分を求めるために、得られた道路候補領域画像とエッジ画像を用いて道路内の画素の方向を求める。エッジ画像上で得られている道路領域内のエッジ角度はほとんどが道路の方向に沿った角度となっている。これを道路領域内のすべての画素に拡張することで、エッジのない道路領域内各点における角度も道路方向に沿った角度として求められる。

以上の手順により、デジタル地図との比較に用いる航空画像の道路領域内方向成分画像が得られる。

② デジタル地図について

本研究では、道路領域とそれ以外の領域とが、画像として二値化されているデジタル地図を用いる。このデジタル地図に Sobel フィルタを適用することにより、道路境界の部分のみが明確に抽出される。しかし、二値画像に適用した Sobel フィルタは、算出されたエッジ角度が道路の方向に沿った正しい角度として算出できず、これを膨張させても道路領域内における角度が均一にはならない。そこで、まずラインの抽出に適しているハフ変換をデジタル地図から抽出されたエッジ画像に適用する。そして、これにより、道路境界に沿ったラインのみが明確に抽出することが可能になる。最後に、ライン上に存在する各エッジ点において、そのエッジ角度の膨張処理を行うことで、デジタル地図の道路領域内方向成分画像が得られる。

2.4 分割ブロックマッチング

2.3より求められた航空画像とデジタル地図の道路領域内方向成分画像を比較し、位置合せを行うための幾何学変換式のパラメータを求める。なお、ここでの変換式として、次式を用いる。

$$X_2 = a \cdot \cos\theta \cdot X_1 + a \cdot \sin\theta Y_1 + A$$

$$Y_2 = -b \cdot \sin\theta \cdot X_1 + b \cdot \cos\theta Y_1 + B$$

ここで、 (X_1, Y_1) は変換前座標、 (X_2, Y_2) は変換後座標を表し、 (a, b) は拡大・縮小率、 θ は回転角、 (A, B) は平行移動を表すパラメータとする。

これらパラメータのうち、2.2より回転角はすでに確定している。残りの4つのパラメータを求めるため、それぞれの値を変動させながら位置合わせを行うと探索に膨大な時間がかかる。特に、各パラメータの値をばらばらに変動させ、航空画像上の各画素をパラメータにより投影した後の位置におけるデジタル地図上の画素と比較を行い、マッチングを行う手法を用いると、何度も同じ位置における比較演算が繰り返されることで、余計な計算時間がかかる。

そこで本手法では、大きさ比率のあまり変わらない画像のデジタル地図への投影においては、ある程度小さく分割された画像領域をデジタル画像上へ投影しても、画素ごとに投影したものと比べて位置ずれは大きくない、という考えを用いる。境界エッジによる比較においては、このようなずれも見逃せないものとなってくるが、本手法のような道路領域を比較する方法においては、微小な位置ずれは全体の比較演算には影響しないと考えられる。パラメータを変動させながら、分割された領域を投影し比較演算を行う時に、異なるパラメータ値において、同じ投影先位置上でのマッチングスコアを計算し用いることがある。ここで、同じ領域同士のマッチングスコアが必要とされた時に繰り返し計算することなく、すでに求められている計算結果を再利用することで、計算時間を短縮することが可能となる。

以上の方法を実現するための具体的な処理手順は以下の二つとなる。

まず、航空画像の道路領域内方向成分画像をいくつか（ここでは 8×8 ）の領域に分割する。次に、画像上のブロックごとにデジタル地図上の全領域へ投影し、各位置においてマッチングスコア $S_{ij}(x, y)$ を計算し、その結果を配列 $S[i][j][x][y]$ に格納しておく（図1参照）。ここでのマッチングスコアの評価は、航空画像とデジタル地図それぞれの道路領域内方向成分画像において、道路領域内の方向の一致している画素を数え上げていくものであり、具体的には、航空画像の角度データ θ_1 とデジタル地図の角度データ θ_2 を用いて、次式から計算される。

$$S_{i,j}(x,y) = \sum_m \sum_n F(m,n)$$

$$F(m,n) = 1 \left(\left| \theta_1(m,n) - \theta_d(m,n) \right| < \text{閾値} \text{ の場合} \right)$$

$$= 1 \left(\theta_1(m,n) = \theta_d(m,n) = \text{無効値の場合} \right)$$

$$= 0 \text{ 上記以外}$$

ここで、無効値（黒画素）同士も数え上げているのは、方向の一致している画素のみを数え上げた場合、デジタル地図内の道路領域の面積が大きいくほど、そのマッチングスコアも同様に大きくなる可能性が高くなることを補正するためである。

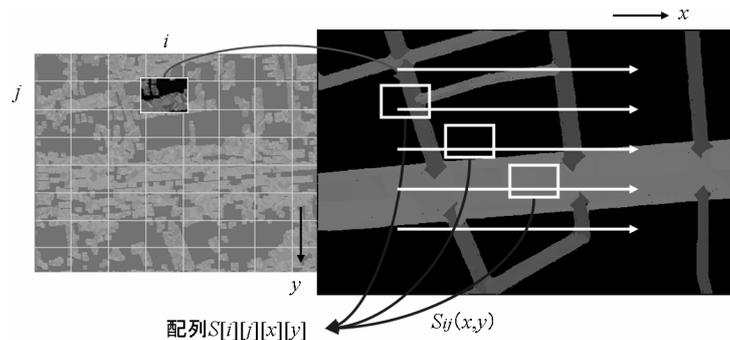


図1 ブロックのデジタル地図上での走査

2.5 航空画像のデジタル地図への投影

これまでに求められた、平行移動、縦横比、回転角の各パラメータを用いて、航空画像に幾何学変換を適用し、デジタル地図上に投影する（図2）。

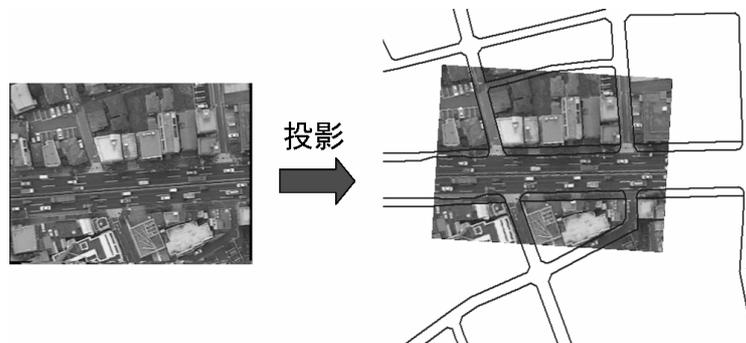


図2 デジタル地図への投影

3 実験結果

これまでに述べた手法を用いて実画像による実験を行った。ここでの実験環境と、用いたデータを以下に示す。

- ・ 計算機環境 CPU 3.0GHz, メモリ 1.5GB
- ・ デジタル地図 ミューエス株式会社東京地価23バージョン3
(承認番号) 11都市施交第102号, 1/2500縮尺
- ・ 航空画像 東京都杉並区高度約 500m からヘリコプターにより撮影,
画像サイズ640画素×480画素, フルカラー画像, 約 20cm 解像度

本研究で提案した自動マッチング手法を用い、図3と図4を位置合せした結果を図5に、図6と図7を位置合せした結果を図8に示す。なお、探索範囲は、デジタル地図上の正解位置より ±50m 範囲内、縦横比0.8~1.2、回転角 ±20 として設定した。

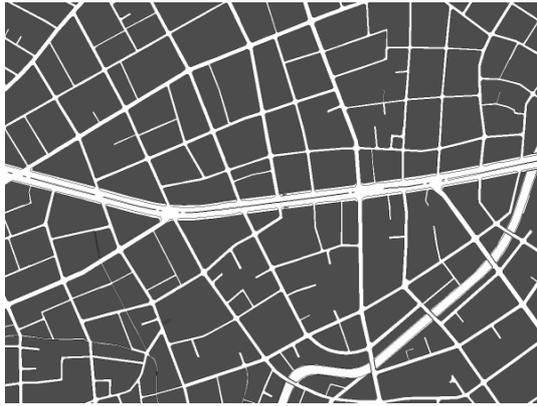


図3 デジタル地図例1



図4 航空画像例1



図5 位置合わせ結果例1



図6 デジタル地図例2



図7 航空画像例2

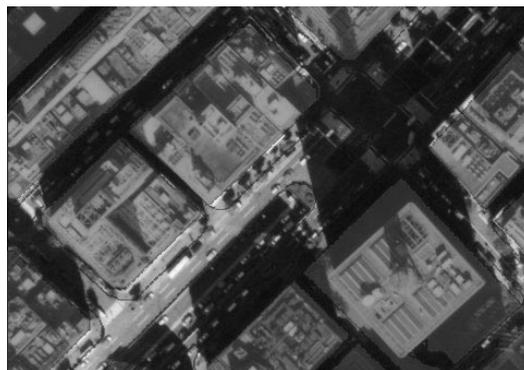


図8 位置合わせ結果例2

実験の結果、ほぼ正確な位置合わせを行うことができた。地上面に対して正確に垂直方向からの航空画像の撮影はほぼ不可能であり、高さが高い建物においてはその高低差によるずれが生じたが、本手法では、ほぼ水平面上にある道路を基準にしてマッチングを行ったため、建物に遮られていない道路における位置合わせが正しく行えたことにより、建物に遮られた道路においても、その正確な道路の境界における位置合わせが行えた。8枚の航空画像に処理を適用した結果を以下に示す。

① 航空画像 4 枚

画像サイズ640画素×480画素,最大誤差 1.2m~4.7m, 計算時間15秒

② 航空画像 4 枚

画像サイズ960画素×720画素, 最大誤差 1.1m~1.9m, 計算時間25秒

最大誤差は、画像上での道路の数が少ない画像ほど、その値が大きくなる傾向にあった。また計算時間は、探索範囲を固定したため、画像のサイズのみ依存した結果となった。

道路交通情報の解析を目的とした道路領域抽出のための航空画像とデジタル地図との位置合せにおいて、実験によって本手法で抽出された結果から、道路内に複数の道路が存在している画像においては、その位置合せ精度は1m程度単位の誤差であり、道路領域が実際よりその程度ずれていても、その解析に与える影響はほとんどないと考えられた。ここで述べたように、本手法では、画像内に存在する道路本数が、その位置合せ精度に大きく影響する。道路領域内において方向が同じ領域同士がマッチングするのであるが、その道路が画像内に縦横それぞれ一本ずつしか存在しない場合は、画像間の大きさの比率を合わせる基準が求められないため、正確に位置合わせを行うことが困難となる。に画像内に平行な道路が複数あると、それぞれの道路の位置合せにより、道路間の位置関係から大きさの比率についても正確に求めることが可能となる。以上のことから、本手法による自動位置合わせには、最低でも平行な道路が2本、縦横それぞれについて合わせるためには、4本の道路が画像内に存在しなければならないことになる。

なお、1枚の広域画像内に道路が複数存在する場合においては、ほぼ正確に自動位置合わせを行うことができるが、ビデオカメラで撮影された動画像などにおいては、その撮影範囲が狭く、画像内に平行な道路が複数存在しない可能性が高くなる。そこで、さらに広い範囲からの位置合せを行うことで問題を解決する必要が出てくるが、その具体的方法の検討は今後の課題となる。

4 おわりに

実験結果より、本研究において提案したアルゴリズムにより、航空画像とデジタル地図の自動位置合わせにおいて問題となることについて、以下の改善を行えた。

- ・道路内の主方向成分の抽出により、方向の同じ道路同士をマッチングすることにより、精度のよい位置合わせを行えた。
- ・ハフ変換を用いた投票による回転角度の算出と分割マッチングによるマッチングスコアの再利用により計算時間の短縮が可能となった。

以上の手法により、航空画像とデジタル地図の自動位置合わせを行うことで、航空画像上の道路領域の自動抽出を容易に行うことが可能となり、さらに災害時における道路交通情報の解析が可能となる。

今後の課題としての検討項目を、以下に示す。

① 広範囲位置合せによる精度の向上

画像内に複数の道路が存在した場合、その位置関係より正確な位置合せが行える本手法の特性を利用した上、さらに広範囲における画像を用いてデジタル地図との位置合せを行うことで、より精度の高い位置合せを行うことが可能となる。特に、時系列航空画像においては、連続フレーム間において、微小時間間隔での画面の移動量は微小であり、その位置合せは正確にかつ高速に行える。したがって、この連続フレームを貼り合わせることで、長く連続した航空画像を得ることができ位置合せに用いることできる。

② 計算時間の短縮

本手法によって、従来の全探索における計算時間に比べ百倍単位の計算時間短縮が行え、数十秒での探索処理が可能となったが、さらに計算時間の短縮を目指す。単純な方法としては、マッチング評価におけるサンプリング間隔を長くすることが考えられるが、精度の低下は避けられない。

他に計算時間を減らすための方策として、探索範囲を限定する手法がある。また、階層マッチングにより順次探索範囲を絞り込んでいく手法もある。本手法においても、これらの方法が有効となるか、今後検討していく予定である。

③ 奥行き歪みにも対応した射影変換式による位置合せ

画像の歪みにも対応する位置合わせを行うには、射影変換式を用いなければならないが、これを活用すると探索パラメータがさらに増えることになる。本手法にかかる計算時間が数十秒程度であるのに対し、さらにパラメータが増えることは、さらに何十何百倍の時間がかかることになり、とても現実的ではない。そこで、各部分的な領域画像における位置合せを行うことで、航空画像とデジタル地図上の対応点を個別に求める方法を検討する。対応点を4点以上得られれば、航空画像全体のデジタル地図への射影変換式を得ることが可能となる。

④ 応用

本研究では、航空画像から道路交通情報の解析において、その解析を容易にする目的としてデジタル地図との位置合せにより道路領域を抽出している。抽出された道路領域に限定して車両を探索することにより、安定した道路交通情報の解析を行うことができる。

本研究で提案した航空画像とデジタル地図との位置合せ法は、様々な用途に用いることができると考えられる。例えば、デジタル地図が、陸橋やトンネルなどの道路周辺情報や建物情報などの属性情報を保持することにより、デジタル地図と位置合せされた航空画像上の建物や道路周辺の情報を統合して解析に役立てることが可能になる。また、災害地域抽出の研究において、災害前と災害後の航空画像の位置合わせを行う場合に、航空画像とデジタル地図との位置合せ結果を利用することが可能となる。これにより、災害によって変色・変形した航空画像間同士の位置合せが難しくなる場合であっても、それぞれの航空画像をデジタル地図と個別に位置合せすることで、画像相互間の位置合せを容易に実現することが可能となる。

参考文献

- (1) 高藤政雄, 北村忠明, 小林芳樹, “空間微分および差分処理を用いた車両抽出法”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-D-II, No.11, pp.2976-2985, 1997.
- (2) 山田啓一, 水野守倫, “領域分割を用いた画像による駐車車両検出法”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J82-D-II, No.12, pp.2316-2324, 1999.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) 荒井隆宏, 増山久美子, 本間正勝, 佐治斉, “時系列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”, 情報学ワークショップ2004論文集, pp.1-8, 2004.
- (6) 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.
- (7) 上瀧剛, 内村圭一, 脇坂信治, “交差点の検出に基づく航空画像からの道路の抽出”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2003-ITS-14, No.16, pp.99-105, 2003.

〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
時系列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	情報学ワークショップ2004論文集	2004年9月