



被災前後に撮影した都市域空撮画像の位置合わせ手法

佐治齊¹⁾、田村裕之²⁾、小林真紀³⁾

- 1) 正会員 静岡大学創造科学技術大学院、教授 博(理)
e-mail : saji@inf.shizuoka.ac.jp
- 2) 総務省消防庁消防研究センター大規模火災研究室、室長
e-mail : tamura@fri.go.jp
- 3) 静岡大学大学院情報学研究科
e-mail : gs09020@s.inf.shizuoka.ac.jp

要約

大規模災害後の都市域における被災地周辺の広域情報を、空撮画像を用い自動解析する研究が数多くなされている。それらの中で、災害前後に撮影された画像の統合や、画像と地図の統合により被災地情報を取得するものがいくつか提案されているが、これを自動化するためには画像間の自動位置合わせ手法が必要となる。本研究では、都市域において災害前後に撮影された空撮画像の自動位置合わせ手法を新たに提案する。具体的には、災害前後の空撮画像内から被災前後で変化の少ない特徴点を自動抽出し、その特徴点の位置情報と幾何学変換を用いて自動位置合わせを行うものである。

キーワード： 災害、都市域、空撮画像、自動位置合わせ

1. はじめに

大規模災害時に被災地周辺の広域状況を把握することは、災害後の様々な復旧活動のために重要である。この広域情報把握のため、空撮画像を用いて被災地周辺の情報を解析する手法がこれまで数多く提案されてきた[1-5]。それらに関連して、災害前後に撮影された画像や地図などの複数の情報を統合して利用し解析するものがあるが、多量のデータを円滑に解析するためには、災害前後画像をはじめとした複数のデータの自動位置合わせ手法が必要となる。飛行体と撮像機器の位置・角度情報を様々な機器を用いて算出し、画像と地図の自動位置合わせを実現するシステムは存在する(例えば[6])。しかし現状では、そのようなシステムでも画像の位置ズレがおきやすく、またその補正において、災害の影響によって生じる画像内の色・形状の変化は考慮されていない。また、実際の大規模災害時には、そのような機器が搭載されておらず映像を撮影するだけのヘリコプターや航空機が飛来するケースが多い。よって、画像データのみを用いたソフトウェア的な自動位置合わせ手法も必要となる。

すでに、リモートセンシングやコンピュータビジョンの分野において、画像の位置合わせ手法は数々提案されている[4, 7-10]。それらの多くは、局所的な特徴検出オペレータを用いて画像全体から何らかの共通特徴を抽出し、その照合に基づいた位置合わせを実現している。しかし、そのような手法を、災害前後に撮影された空撮画像の自動位置合わせ処理に直接活用することは困難である。なぜなら、災害による建物や道路の倒壊により、空撮画像内で色や形状が局所的に変化する箇所が生じ、位置や形状が不変な特徴のみを局所的に抽出することが困難となり、また照合処理の単位領域と被災領域の大きさの相対的な違いにより、位置合わせ結果が変動してしまうからである。

以上を踏まえ、本研究では、都市域において大規模災害前後に撮影された空撮画像から、災害の影響による変化が少ない共通の特徴を大局的に抽出し、それを用いて自動位置合わせを行う手法を提案する。

2. 位置合わせ手法

2.1 手法概要

災害前後に撮影された空撮画像から画像特徴を算出し、得られた画像特徴を用いて幾何学変換パラメータを決定し、画像の位置合わせを行う。この位置合わせに用いる画像特徴は、災害の影響により生成・消滅、あるいは位置変化するような箇所からの抽出を避けなければならない。これに対処するため、本研究では、災害の局所的な影響を排除しつつ建物境界線や道路境界線の交点を大局的に抽出する手法を提案する。具体的には、画像内の直線分の交点を特徴として抽出するが、その処理において、組合せ Hough 変換の考え方をを用いる [11-12]。組合せ Hough 変換は、画像内の任意の 2 点の座標対から直線の方程式を大局的に求めるものである。これを応用し、画像から長いエッジを持つ画素を検出し、その中からエッジ画素対を選択し、そのエッジ画素対を通る 2 直線の交点を投票により求める。最後に、求められた交点の位置情報をもとに幾何学変換の最適パラメータを算出し、自動位置合わせを行う。以上の処理により、長い線分同士の間交点を、その線分の一部が変形し途切れたとしても求めることができる。すなわち、建物の角や道路境界線の交点などを、その交点を構成する直線分の一部が大規模災害により崩壊したとしても、残存している線分情報により特徴点として抽出することができ、自動位置合わせのために活用することが可能となる。以下に提案手法の詳細を順に説明する。

2.2 エッジ検出

まず、災害前後に撮影された空撮画像からエッジ画素を検出する。ここでのエッジ画素の検出には、Sobel フィルタを用いる。そして、エッジ検出によって画像内の画素ごとにエッジ強度とエッジ角度を求め、その結果をエッジ角度画像として生成する。なお、この段階において災害後画像から得られる短いエッジは、建物や道路などの崩壊により生成された瓦礫領域内に数多く存在する。すなわち、災害前画像には存在しない、または存在しても位置が変化して位置合わせには利用できない可能性が高い。そこで、エッジ角度画像から短い（ここでは長さが 4 画素以下の）エッジのみを削除する処理を行う。

2.3 交点計算

建物や道路の境界線の交点を検出するために組合せ Hough 変換の考え方を利用する。まず、エッジ角度画像内の各エッジ画素の近傍（ここでは 100 画素 × 100 画素の矩形領域）内で他のエッジ画素を探索する。そして各画素を通り各エッジ角度に垂直な 2 本の直線分の交点座標を求め、その位置に投票を行う（図 1）。この処理を、画像内のすべてのエッジ画素に対して行う。その結果、最終的に投票数の多い箇所は、長い直線分の交点である可能性が高くなる。以上の処理を、災害前後のエッジ角度画像それぞれに対して行い、投票数を画素値とした投票結果画像を作成する。最後に、災害後の投票結果画像から特徴点を抽出する。ここでの特徴点は、その投票数が一定閾値（ここでは 100 票）以上で、かつその近傍（ここでは 100 画素 × 100 画素の矩形領域）内において最大の投票数を持つ箇所である。この処理により、特徴点は、長い線分の間交点に位置し、災害の影響の少ない領域から数多く得られる。

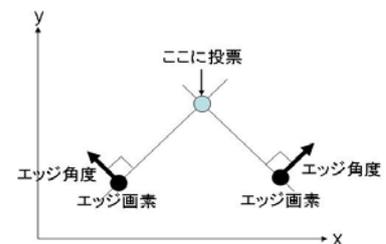


図1 投票による交点算出

2.4 幾何学変換

災害前の投票結果画像と災害後の特徴点の位置情報を用い、幾何学変換を行って自動位置合わせを行う。ここでの幾何学変換としては射影変換を用いる。災害後画像から得られた特徴点座標群を災害前画像上に射影変換により投影し、投影された特徴点座標における投票値の総和 T を下式により求める。

$$T = \sum_{(x,y) \in L} I\left(\frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_7x + a_8y + 1}, \frac{a_4x + a_5y + a_6}{a_7x + a_8y + 1}\right) \quad (1)$$

ここで、 $I(x,y)$ は災害前の投票結果画像、 L は災害後画像から得られた特徴点の座標群、及び a_1, a_2, \dots, a_8 は射影変換パラメータとする。以上の計算を、射影変換パラメータ a_1, a_2, \dots, a_8 を少しずつ変化させつつ行い、 T の最大値を生成する a_1, a_2, \dots, a_8 を、位置合わせに用いる最適変換パラメータ値とする。最後に、求められた変換パラメータを用いて災害前後の画像の位置合わせを行う。

3. 実験

実画像を用いた実験を行った。災害後の画像として兵庫県南部地震直後の神戸市東灘区を 1995 年 1 月 18 日に撮影した 1m 解像度の航空画像(©(株)パスコ)を 6 例用いた。図 3 にそのうちの 2 例を示す。なお、災害前の画像は入手できなかったため、上記災害から 6 年経過した 2001 年 3 月 19 日に同地区を撮影した 1m 解像度の衛星画像(©(株)日本スペースイメージング)を仮想的に災害前画像として用いた(図 2)。画像サイズは、災害前画像が 3120 画素×3120 画素であり、災害後画像が 960 画素×960 画素である。なお、衛星画像のみオルソ補正済みである。また、実験で使用した PC の性能は、CPU が Pentium(R) 2.8GHz でメモリが 1.0GByte である。図 4 に、災害前画像と災害後画像とのそれぞれの位置合わせ結果を示す。射影変換パラメータの算出は、災害前画像上における正解位置から上下左右に 480 画素程度の範囲内で行った。位置合わせの結果、画像の位置ずれは、この 2 例を含めた 6 例の実験画像で最大 4 画素であった。計算時間は 1 例あたり 80 秒程度かかったが、最も計算時間に影響を及ぼしたのは、投票処理であった。多量なデータ処理への応用を想定すると、処理の高速化が必要となるが、時系列画像のように連続して撮影されたものであれば、飛行体の動きを予測しつつ投票を行う領域を限定することができるため、位置合わせ処理時間を大幅に縮めることは可能である。なお、今回は 2 枚の画像解像度をほぼ合わせた上で実験を行った。提案手法では、エッジ画素集合が構成する線分の交点を投票により求めているため、エッジ画素を直接利用する手法よりも画像解像度の違いによる影響は受けないが、エッジの太さや鮮明さの違いにより投票総数は変化する。これに対処するため、非極大点の抑制手法などによりエッジを鮮明にし、エッジの太さを統一する方法を考案する予定である。

4. まとめ

本稿では、大規模災害前後に都市域において撮影された空撮画像の自動位置合わせ手法を提案した。各処理は計算機上で自動化されており、災害前後に撮影された画像を入力すると、位置合わせ結果が自動生成される。今後は、個々の手法の改善により処理速度や精度の向上をはかる予定である。特に、時系列空撮画像を高速に自動位置合わせする手法を考案し、広域における被災地解析への実応用を目指していきたい。なお、現状の提案手法では、特徴点に相当する位置の高低差やレンズの歪みによる影響を考慮に入れておらず、それに起因する誤差への対処は行っていない。これに対処するため、文献[4]で示しているような非線形的手法を統合活用し、誤差への対処を試みる予定である。また、低空で撮影された画像の場合、ファールレンジの範囲では建物を斜めから見ることになり、都市域ではその影響が大きくなる。(今回は航空画像の中心部分を活用した)。これに対しては、災害前後の画像だけでなくデジタル地図も活用し、道路面や空き地などの水平面上に絞ったマッチング方法を検討する予定である。さらに、本稿では都市部の画像に限定した位置合わせ手法を提案したが、今後は、山間部の画像も含めた位置合わせ手法も考案する予定である。ただし、山間部は都市部とは異なり、直線分に関する情報が少なく特徴抽出が困難であるため、曲線分や曲面の情報から得られる新たな特徴の利用を検討する必要がある。

謝 辞

本研究の一部は、財団法人日本交通管理技術協会のご協力と、総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度と文部科学省科学研究費補助金(課題番号 20310094)の助成によるものである。ここに感謝する。

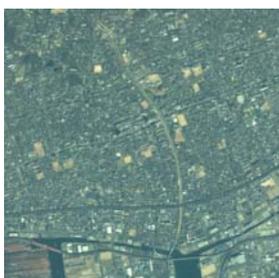


図2 災害前画像



(a) (b)
図3 災害後画像



図4 自動位置合わせ結果 [左(a), 右(b)]

参考文献

- 1) 松岡昌志、山崎文雄、翠川三郎：1995年兵庫県南部地震での被害地域における人工衛星光学センサ画像の特徴、土木学会論文集、No. 648/I-54、2001年、pp. 177-185.
- 2) 三富創、松岡昌志、山崎文雄：最近の地震災害の空撮画像を用いた建物被害地域の自動抽出の試み、土木学会論文集、No. 703/I-59、2002年、pp. 267-278.
- 3) 三富創、松岡昌志、山崎文雄：空撮画像を用いた汎用的な建物被害抽出方法に関する考察、土木学会論文集、No. 710/I-60、2002年、pp. 413-425.
- 4) Kosugi, Y., Sakamoto, M., Fukunishi, M., Wei Lu, Doihara, T. and Kakumoto, S. : Urban change detection related to earthquakes using an adaptive nonlinear mapping of high-resolution images, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Volume 1, Issue 3, 2004, pp. 152-156.
- 5) 浦部和哉、佐治斉：空撮画像を用いた山間部における地震災害後の道路閉塞領域検出、日本地震工学会論文集、第9巻、第4号、2009年、pp. 26-38.
- 6) 野々山泰匡、井尻昌男、前田佳子：ヘリコプター位置映像表示システム、三菱電機技報、Vol. 78、No. 5、2004年、pp. 59-65.
- 7) 金澤靖、金谷 健一：2画像間の特徴点対応の自動探索 —シーンに関する知識を上手に使う—、画像ラボ、日本工業出版、vol. 15、no. 11、2004年、pp. 20-23.
- 8) 李琦、佐藤功、村上裕：マルチモーダルな画像位置合わせアルゴリズムを用いたロバストな自動システムの構築に向けて、日本リモートセンシング学会第40回学術講演論文集、2006年、pp. 101-102.
- 9) Lin, Y., Yu, Q. and Medioni, G. : Map-Enhanced UAV Image Sequence Registration and Synchronization of Multiple Image Sequences, WACV, 2007, pp. 15-20.
- 10) Eastman, R. D., Le Moigne, J. and Netanyahu, N. S. : Research issues in image registration for remote sensing, Computer Vision and Pattern Recognition 2007, 2007, pp. 1-8.
- 11) 小林真紀、田村裕之、佐治斉：地震災害前後の空撮画像の自動位置合わせ、ITS シンポジウム 2008、2008年、in proceedings CD.
- 12) Ben-Tzvi, D. and Sandler, M. B. : A combinatorial Hough transform, Pattern Recognition Letters, vol. 11, No. 1, 1990, pp. 94-98.

(受理：2009年 8月 3日)

(掲載決定：2010年 1月 21日)

A Method for Registration of Urban Aerial Images Taken before and after a Disaster

SAJI Hitoshi¹⁾, TAMURA Hiroyuki²⁾ and KOBAYASHI Maki³⁾

1) Member, Professor, Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, Dr. Sci.

2) Head, Large-Scale Fire Laboratory, National Research Institute of Fire and Disaster

3) Graduate School of Informatics, Shizuoka University

ABSTRACT

Many methods of automatic analysis of wide urban areas after a large-scale disaster using aerial images have been researched. In several of these methods, information is obtained by integrating aerial images taken before and after the disaster or by integrating the images and a map. For their automation, images must be registered automatically. In this paper, we propose a new method of automatic registration of urban aerial images taken before and after a disaster. First, this method detects feature points whose changes are few in the images taken before and after the disaster. Then, this method registers the images automatically by using the locations of the feature points and a geometric transformation.

Key Words: Disaster, Urban Area, Aerial Images, Automatic Registration