

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24651195

研究課題名(和文) UAVによる大規模津波・洪水被災地の生存者探索技術の開発

研究課題名(英文) Development of Searching Survivors in Disaster Affected Areas Using UAV and Image Analysis

研究代表者

越村 俊一 (Koshimura, Shunichi)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：50360847

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：UAVにより得られる光学画像を用いて、被災者を精度良く発見する手法の構築を目的とする。まず、撮影条件を細かく設定した上でUAVを用いて取得された画像を解析対象画像として準備した。次に、それらの画像に対して既存の人検出手法を評価すると共に、解析の一部を撮影条件に合わせて調整することで精度の向上を図った。さらに精度を向上させるために、画像中に存在する線分、人の影、そして人の上半身に着目し、それらを抽出する解析手法、および既存手法の検出結果と組み合わせるための手順を構築した。最終的に得られた検出結果を画像の撮影条件との関係から整理し、人検出に適した撮影方法や画像の諸元について明らかにした。

研究成果の概要(英文)：When natural disasters strike, such as tsunamis and floods, people are sometimes left and they are isolated in disaster-affected areas. For searching those people more quickly, UAV (Unmanned Aerial Vehicle), which can be easily operated by remote control, is believed to have the capability. In order to make the search activity using UAV more reliable and efficient, methods for detecting survivors automatically are necessary. In this study, by applying several image analysis methods to the images taken with UAV, we tried detecting humans from those images with high accuracy. As a result, we succeeded to detect them with zero to eight misdetections and little nondetections by utilizing their whole bodies, upper bodies, shadows, and line segments in the images.

研究分野：自然災害科学

キーワード：UAV リモートセンシング 地理情報システム 減災 自然災害

1. 研究開始当初の背景

大規模な津波や洪水といった災害の被災地では、被災者が避難先の高台や建物などに取り残され孤立する事態が数多く発生しており、彼らの早期発見は人命救助の観点から極めて重要である。現在は有人のヘリコプター等の航空機を用いた捜索・救助が殆ど唯一の手段として行われているが、ここには多くの課題がある。例えば 2011 年の東日本大震災において被災地に投入されたヘリコプターは約 190 機に上るが、緊急時に備え待機する機体も必要であったことなどから、実際に捜索に従事できたのはそのうちの半数に満たなかったと報告されている。また、被災者がいる可能性のあるポイントを見つけてはその都度大きく高度を下げ、目視による確認を行っているため、捜索に時間がかかるほか、サイレントタイム確保の観点からも、有人航空機の活用には課題がある。

2. 研究の目的

この課題を解決するための新たな手段として、遠隔操作により飛行する UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の活用が期待されている。UAV を用いた被災者捜索をより迅速かつ確実なものにするためには、UAV のハードウェアの開発だけでなく、上空から撮影した画像や動画から人を機械的に検出するための手法が必要である。本研究は、UAV により得られる光学画像を用いて、被災者を精度良く発見する手法の構築を目的とする。具体的には、撮影条件を細かく設定した上で UAV を用いて取得された画像を、解析対象画像として準備する。それらの画像に対してまず既存の人検出手法を適用し、その精度を評価するとともに、解析の一部を撮影条件に合わせて調整することで精度の向上を図る。次に、既存手法において生じた誤検出を除き更に精度を向上させるために、画像中に存在する線分、人の影、そして人の上半身に着目し、それらを抽出する解析手法、および既存手法の検出結果と組み合わせるための手順を構築する。最後に、最終的に得られた検出結果を画像の撮影条件との関係から整理し、人検出に適した撮影方法や画像の諸元について明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 撮影条件

解析に使用した画像は、撮影に際して撮影側・被写体側それぞれに関して幾つかの条件が設定が可能であった、仙台市宮城野区蒲生から選定した 2 箇所撮影したものを利用した(図 1, 2)。1 箇所は元々水田だった場所で、東日本大震災以降は、雑草が生い茂り湿地となっていた。主に背の低い草、土、道路、背の高い草等が存在しており、多様な自然物を含む背景を取得することができる。もう 1 箇所は、東日本大震災により発生した瓦礫の集積所である。自動車や電車などの大きなもの

から、金属片やプラスチック片などの小さなものまで、様々な色・大きさの瓦礫が散らばっており、実際の被災地に存在した人工物を含む背景を取得することができる。

撮影における UAV の飛行高度は、30m で一定とした。またカメラの角度については、地面に対して斜め 45 度の方向に設定した。被写体については、湿地には 6 人、瓦礫域に 5 人を配置し、赤・水色・枯草色の上着を 2 着ずつ(瓦礫域では枯草色のみ 1 着)を着た状態で撮影した。被写体の姿勢に関しては、立った状態で腕は身体の横に置き、視線は撮影方向に対して真っ直ぐ正面、もしくは若干斜め横を向くように統一した。最後に、湿地での撮影は順光、瓦礫域での撮影は逆光になるよう撮影方向を設定した。以上の条件の下で撮影された画像の中から、湿地の画像 19 枚、瓦礫域の画像 5 枚の画像を解析に利用する。なお、画像の画素数は 4000×3000 pixel、画像中央の分解能は約 1.6cm/pixel である。



図 1 湿地での撮影画像 (赤丸が人の位置)



図 2 瓦礫集積所での撮影画像

(2) 解析手法

① HOG 特徴量による人の抽出

まず、HOG (Histograms of Oriented Gradients) 特徴量を用いた人の全身検出手法を適用した。HOG 特徴量は、対象物体の持つ輝度勾配を局所領域ごとにヒストグラムとして表すことで多少の形状変化を許容できるほか、繰り返し正規化を行うことで照明変

化にも頑健となっており、人検出技術の研究において現在最も用いられている特徴量である。しかし、道路や大きな瓦礫、背の高い草といった、縦方向に伸びる線分を人として誤検出してしまうことは、既往の解析手法の適用によりわかっていた。本研究では、画像からそうした線分を個別に抽出することを試み、最終的に抽出された線分を、HOG 特徴量を用いた人検出結果と組み合わせることで、誤検出を除き検出精度を向上させた。線分の抽出には確率的 Hough 変換と呼ばれる、画像からの線分抽出において広く用いられている手法を利用した。この手法を用いた解析は、エッジの抽出と線分の抽出の2つの手順で構成される。

②エッジの抽出

エッジの抽出を行うためのアルゴリズムとして、最も一般的に用いられている Canny エッジ抽出を使用した。Canny エッジ抽出では、「高い閾値」と「低い閾値」という2つの閾値を設定することでエッジの抽出を行う。これら2つの閾値は、その比が3:1から2:1の間に収まることが推奨されていることを踏まえ、(高い閾値, 低い閾値) = (250, 125), (200, 100), (150, 75), (100, 50) の4つの値を適用した。以上、フィルタ2種類、フィルタサイズ2パターン、閾値4パターンの計16パターンの設定でエッジ抽出を行った上で、それら全ての結果に対して線分抽出を行い、最も良い結果が得られるパターンを採用することとした。

③線分の抽出

得られたエッジ画像に対して確率的 Hough 変換を適用し、線分を抽出する。この確率的 Hough 変換で扱うパラメータの値については、以下の基準に沿ってパラメータスタディを行うことで決定する。まず、線分の直線らしさを表す、 θ - ρ 空間における曲線の交差数の下限値については、人の体を線分として抽出することが無い中で最も大きな値とする。次に抽出する線分の最小長さについては、同じく人の体を線分として抽出しない中で、最も小さな値に設定する。最後に2つの線分を1つにまとめる際の線分間の最大距離については、やはり人を線分として抽出しない範囲で、最も大きな値を採用する。以上の基準により、人の体を線分として誤って抽出することなく、同時に可能な限り多くの線分を抽出することを目指した。

④人の影および上半身の検出

人の持つ特徴として人の影および上半身に着目し、それらを画像から検出する手法を構築する画像から人の影および上半身を抽出するために、本研究ではオブジェクトベース画像解析を用いた。この手法は、画像を類似した情報を持つピクセルの集合(オブジェクト)に分割するセグメンテーション、そし

て生成されたオブジェクトを最小単位として幾つかのクラスに分類するオブジェクト分類という2つの処理から構成される。セグメンテーションにより画像をオブジェクトに分割した後、オブジェクトを任意のルールに従って分類することで、特定のオブジェクトだけを抽出する。このルールは、オブジェクトが持つ以下の3種類の情報を用いて定められる。Spectral (バンドごとのオブジェクトの画素値)、Shape (オブジェクトの形状)、Texture (オブジェクトの滑らかさ) という各情報に関して数種類のパラメータが定義する。例えば Shape であればオブジェクトの面積、オブジェクトの周長といったパラメータについて閾値を設定することで、一定範囲の値を持つオブジェクトだけを抽出することができる。これらの特徴を効果的に組み合わせることで、検出対象に応じた分類のルールを作成することができる。

人の影を対象にセグメンテーションを行った結果、湿地・瓦礫域共に一定のパラメータ値を用いて影の輪郭を再現することに成功した。ただし、幾つかの影は地面の段差や瓦礫などの地表物と重なっていたことで複数のオブジェクトに分断されてしまっていたほか、被写体の履いていたズボンや靴などと統合されることで形状が変化してしまっているものも見られた。また、元々地面の色が極端に暗く影が認識できないために、全く輪郭を再現できない場合も見られた。一方で上半身を対象としたセグメンテーションの結果としては、順光で撮影された湿地の画像を対象とした場合、日差しによって上半身の表面に明暗差が生じており、そこを境目にオブジェクトが細かく分断されてしまうため、良好な輪郭の再現は難しいことがわかった。一方で逆光で撮影された瓦礫域の画像を対象とした場合では、全ての上半身の輪郭を良好に再現することができた。

⑤画像解析手法の統合

最後に、上記の一連の解析を統合した。まず、HOG 特徴量から人検出の結果を示す矩形の中心の座標を取得し、それを③の解析によって抽出された線分の端点の座標と比較した。そして、線分が x 方向・ y 方向共に矩形の中心を跨いでいる場合、その矩形内には人は写っていないと判断し、検出結果から除外した。次に、残った矩形の座標を、④の解析で検出された影および上半身のオブジェクトの座標と比較した。そして、影の検出と組み合わせる場合は、影として抽出されたオブジェクトと人を示す矩形が一定の位置で重なっているとき、その矩形は真に人であると判定した。また、上半身の検出と組み合わせる場合には、上半身として抽出されたオブジェクトが一定の位置で矩形の内側に収まっているとき、やはりその矩形は人であると判定し、最終的な検出結果として画像に描画した(図3, 4)。その結果、影検出と組み合わせ

た場合にはやはり 38/44~86%の人を、上半身検出と組み合わせる場合には、瓦礫域の画像に限るものの、全ての人を漏れ無く検出することに成功した。各解析結果の統合による誤検出数の推移を図 5 に示す。



図 3 統合解析による人検出結果 (湿地)



図 4 統合解析による人検出結果(瓦礫集積所)

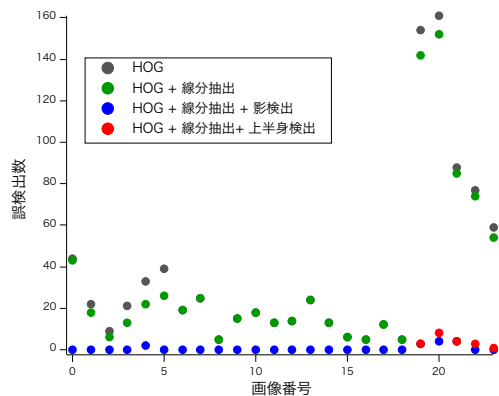


図 5 統合解析による誤検出数の推移

4. 研究成果

本研究では、津波等の被災地を想定した環境において UAV により撮影された斜め空撮画像を対象に、複数の異なる解析手法を適用しその結果を統合することで、画像から人を高精度に検出する手法を構築した。得られた結論を以下に列挙する。

- 解析対象範囲を限定した画像に対して HOG 特徴量を用いた人検出を適用することで、画像から漏れ無く人を検出できることを確

認した。さらに、画像中の位置に応じて検出ウィンドウサイズを適切に設定することで、効果的に検出精度を向上できることがわかった。

- 対象画像に確率的 Hough 変換を用いた線分抽出を適用することで、人の体を線分として誤抽出すること無く、道路や瓦礫などに含まれる線分を抽出できることを示した。また、その結果を HOG 特徴量を用いた人検出の結果と組み合わせることで、画像によっては十分効果的に誤検出を除けることを明らかにした。

- 人の影および上半身を対象に、オブジェクトベース画像解析による検出を試みた。その結果、影・上半身共に、HOG 特徴量を用いた人検出に比べて少ない誤検出数の下で検出できることを示した。さらに、その結果を HOG 特徴量を用いた人検出および線分抽出の結果と組み合わせることにより、瓦礫が多数存在するような複雑な背景を持つ画像であっても、影を用いた場合は誤検出数 0~2 個、上半身を用いた場合は誤検出数 1~8 個と、高い精度で人を検出することに成功した。

- 一連の解析により得られた結果を、解析対象画像の取得に際して設定された撮影条件や、空撮画像特有の歪みと照らし合わせることで、人検出に適した画像を得るために有効な撮影条件の一部を提示した。

以上より、光学画像に対して本研究の手法を適用し、さらにその結果を熱赤外画像を用いた手法と統合することにより、高い汎用性を持つ高精度な人検出を実現できることが示された。また、今回光学画像だけを使用した場合であっても高い検出精度を得られたことから、今後更に手法を発展させていくことにより、光学画像単体を使用した検索についても実現できる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Koshimura, S., S. Hayashi, H. Gokon, The impact of the 2011 Tohoku earthquake tsunami disaster and implications to the reconstruction, *Soils and Foundations*, Vol. 54, 4, pp. 560-572, 2014.
- ② Adriano B., H. Gokon, E. Mas, S. Koshimura, W. Liu and M. Matsuoka: Extraction of Damaged Areas Due to the 2013 Haiyan Typhoon Using Aster Data: Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, pp. 2154-2157, 2014
- ③ 佐藤遼次, 越村俊一, UAV による空撮と画像解析を用いた被災者捜索技術の開発, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol. 69, No. 2, pp. I_1461-I_1465, 2013.
- ④ 福岡巧巳, 越村俊一, 航空写真と

LiDAR データの統合解析による津波瓦礫の 3 次元マッピング, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_1436-I_1440, 2013.

- ⑤ 林 里美, 越村俊一, 映像解析による 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の流速測定, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. I_366-I_370, 2012.
- ⑥ 福岡巧巳, 越村俊一, オブジェクトベース画像解析による津波被災地の瓦礫量の把握, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. I_371-I_375, 2012.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 佐藤遼次, 越村俊一, UAV による空撮と画像解析を用いた被災者捜索手法の構築, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2015 年 3 月 5 日, 仙台市
- ② S. Koshimura, Lessons learned from the Great East Japan Tsunami, 6th Asian Ministerial Conference on Disaster Risk Reduction, 2014 年 6 月 22 日, Bangkok, Thailand
- ③ 佐藤遼次, 越村俊一, UAV による空撮と画像解析を用いた被災者捜索の有効性に関する検討, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2014 年 3 月 8 日, 八戸市
- ④ R. Sato, S. Koshimura, Searching survivors in disaster-affected areas with UAV and image analysis, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), 2014 年 8 月 1 日, 札幌市
- ⑤ R. Sato and S. Koshimura, Searching survivors in disaster-affected areas with combined use of UAV and image analysis, The 9th APRU Research Symposium on Multi-Hazards around the Pacific Rim, 2013 年 10 月 28-29 日, 台北, 台湾
- ⑥ S. Koshimura, Lessons from the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami -Remote Sensing and Other Techniques to Identify and Detect Disasters, Science and Technology in Society Forum, 2012 年 10 月 8 日, 京都市

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

越村 俊一 (KOSHIMURA, Shunichi)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号: 50360847

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし

(4)研究協力者
佐藤 遼次 (SATO, Ryoji)
福岡 巧巳 (FUKUOKA, Takumi)
林 里美 (HAYASHI, Satomi)