

# UAVによる災害時の通行可能経路の探索

## Traversable Route Search in Disaster Scenes using Unmanned Aerial Vehicle

三平 悠磨<sup>\*1</sup>      堀 浩一<sup>\*1</sup>

Yuma Mihira      Koichi Hori

<sup>\*1</sup>東京大学大学院工学系研究科

School of Engineering, University of Tokyo

In the scenes of a disaster, the discovery of traversable routes is necessary for rescue operation and fire fighting. However traversable route search by humans or ground vehicles in the aftermath of a disaster might be difficult. In this paper we propose a method for searching traversable route by an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). First, road lanes and obstacles are detected in the image from camera of the UAV. Next, the shapes of obstacles are estimated from the images of obstacles from multi-angles using a method of Structure from Motion (SfM). We applied this method to videos from the UAV and car-mounted camera. We confirmed that roads and obstacles are detected.

### 1. はじめに

近年 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の研究が益々盛んになり、小型化や低価格化がすすむにつれ、様々な場面での需要は高まっている。特に未知の危険環境下や災害発生箇所の探索のような、人または地上ロボットが立ち入ることが難しい場面において、UAV の活躍の幅が広がつつある。

災害発生直後において、緊急車両等が通行可能な経路を探索することは、救助活動や救援物資の運搬において重要な課題である。特に緊急車両により救助活動や消火活動を行う上で、情報提供までの時間が短いことが非常に重要である。通行可能な経路情報を手に入れる手段として、災害発生後に実際に通行可能だった道路の情報を共有するサービスが既に存在する [1]。しかし、このサービスでは車両が通行しなかった道路に関する情報は提供されないため、幹線道路以外の細かい道路に関しては情報がない場合も多く、このサービスから得られる情報だけでは緊急車両が目的地に向かうための最適な経路が判断できないという課題がある。

また、人工衛星の光学センサや合成開口レーダを用いたセンサからによって被災地の状況を観測し、情報を提供するサービスや研究が行われている [2, 3]。災害時の情報収集に衛星を用いることで広範囲の情報を提供することができ、特に、合成開口レーダを用いることで、天候や時間帯に影響されずに観測することができるというメリットがある。しかし、静止軌道以外の衛星の場合、災害発生直後に衛星が被災地上空を通過するとは限らず、また、高解像度衛星の場合でもそのセンサ情報から各道路を車両が通行可能であるかを正しく判断するのは困難である。

これらの課題を解決するため、災害発生直後に迅速に通行可能な道路の情報を提供できるよう、よりローカルな地域を対象として探索を行う必要がある。しかし、有人による探索は余震による建造物の倒壊等の危険が伴い、また、地上ロボットでは道路の寸断等があった場合に探索不能領域が発生する恐れがある。そこで、小型 UAV を用いて災害発生直後に観測を行うことで、路面状況に影響されることなく安全に、緊急車両等が通行可能な経路を探索することができる。

UAV を災害時の情報収集に用いる従来の研究では、災害発生直後の一次情報取得のために小型 UAV に搭載されたカメラから広範囲の映像を撮影し、位置・姿勢情報とともに用いる研究が存在する [4, 5]。これらの研究では、UAV から得られた情報を解析することで、土砂崩れ、道路状態等の観測や火災等の状況確認に用いており、道路のおおよその状態を把握することはできる。しかし、上空からの映像のみで各道路を緊急車両が実際に通行可能であるかを判断することは困難である。

そこで本研究では、災害発生直後に UAV を用いて道路を観測し、各道路を緊急車両が通行可能であるかの情報を短時間で提供することを目的とする。本論文では、このような目的を達成するためのシステムを提案し、そこで用いる障害物の推定方法について述べる。

### 2. 道路の観測と障害物情報の推定

本システムでは、以下の 2 ステップによって道路面を観測し、道路上の障害物の情報を推定する。

#### 2.1 ステップ 1：障害物候補の推定

ステップ 1 では、道路上を観測しながら障害物が存在する位置の候補を推定することを目的とする。まず、道路にそって UAV が飛行し道路面を撮影する。撮影された映像中から、道路領域及び障害物の候補を推定し、その位置を記録する。道路領域と障害物検出の方法は以下の通りである。

##### 2.1.1 道路領域の推定

単眼カメラの映像から道路領域を推定するアルゴリズムには、消失点を用いる方法や道路のモデルを用いて分類する方法等が存在する [6, 7]。本システムでは、オンラインで道路領域及び障害物候補を推定するため、以下のようなアルゴリズムで道路領域を推定する。ただし、道路は直線であり、UAV のカメラ座標系の  $z$  軸方向は道路方向と平行であると仮定している。

1. Hough 変換によって画像中の直線を検出し (図 1 中央上)、そのうち、直線の一端が画像の下半分の縁に存在する線分を道路境界と仮定する (図 1 右上)。
2. 道路境界と仮定した線分同士の交点のうち、式 (1) で表される周辺の交点数及び画像横方向中央からの距離の関数  $f_v$  を最大にする点を道路方向の消失点とする (図 1 右上の黄色点)。

連絡先: 三平 悠磨, 東京大学大学院工学系研究科, 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部 7 号館, 03-5841-1839, mihira[at]ailab.t.u-tokyo.ac.jp

3. 検出された線分のうち消失点方向に向かっている線分を道路境界とみなし、この境界を用いて消失点よりも下側の画像領域を分割する (図 1 左下)。
4. 分割された画像領域に対して、領域内の各ピクセルの色情報から、道路であるかを判定する (図 1 中央下、青色の領域が道路と推定された領域)。

$$f_v(P_i) = \alpha \sum_{j \neq i} f_n(P_i, P_j) + \beta f_c(P_i) \quad (1)$$

$$f_n(P_i, P_j) = \begin{cases} 1 & (\text{distance}(P_i, P_j) < \gamma) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $f_c(P)$  は点  $P$  と画像中央の  $x$  方向距離の 2 乗に反比例する関数である。また、 $\text{distance}(P_i, P_j)$  は、点  $P_i, P_j$  の画像上での距離である。ただし、画像左上を原点とし、左から右へ  $x$  軸、上から下へ  $y$  軸を定める。 $\alpha, \beta, \gamma$  はパラメータであり、実験を行った結果、 $\alpha = \beta, \gamma = (\text{画像の対角線の長さ}) \times 0.02$  と定めた。また、実験では道路領域の判定のために色情報として各ピクセルの彩度の情報を用いた。

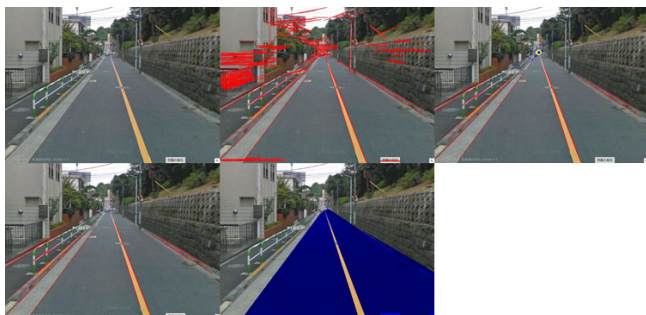


図 1: 道路領域の検出 (画像出典: Google マップ)  
 左上: 元の画像, 中央上: 検出されたライン, 右上: 消失点仮定に用いたラインと消失点, 左下: 道路境界と判定されたライン, 中央下: 道路と判定された領域

### 2.1.2 障害物候補の推定

道路領域の検出後、続いて、画像中から障害物の存在する領域を検出し、その位置を推定する。障害物候補の位置推定は以下の手順で行われる。

1. 道路と判定された領域のうち、ピクセルの色情報によって道路とは判定されなかった点を抽出する (図 2 左下赤点)。
2. 1. で抽出された点が群となっている領域で道路面から一定の高度を超える領域を、そのフレームにおける障害物候補とみなす (図 2 右下青枠内)。
3. UAV の自己位置及び姿勢から障害物候補の位置を地図上に反映する。

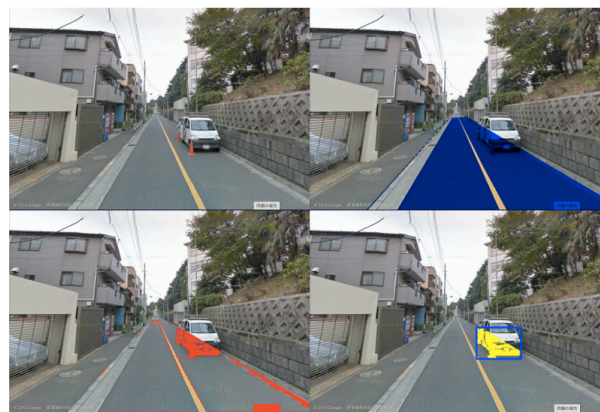


図 2: 障害物候補の検出 (画像出典: Google マップ)  
 左上: 元の画像, 右上: 道路と判定された領域, 左下: 道路と判定されなかったピクセル, 右下: 障害物候補 (青枠内)

### 2.2 ステップ 2: 障害物形状の推定

ステップ 2 ではまず、ステップ 1 で推定された障害物候補の存在する位置を観測する。そして、観測された映像から障害物の三次元形状を復元し、その情報を地図上に反映することを目的とする。

ステップ 1 で推定された各障害物候補位置について、各障害物候補を注視しながらその周辺を撮影する。撮影した画像群に対して、Structure-from-Motion (以下 SfM とする) の手法を用いて、障害物候補の三次元形状を復元する。この際、用いる画像数によって計算時間が大きく影響を受けるので、カメラの移動距離や姿勢変化、経過フレーム数によって撮影された画像の一部のみを選択して利用する。また、本システムでは各ビデオフレームにおけるカメラの位置及び姿勢情報を利用することができるので、これらを利用して計算時間を短縮する方法について今後検討する。なお、図 4 は VisualSfM を用いて図 3 の画像に対して SfM の手法を適用した結果である。点群の表示には MeshLab を利用した [8, 9]。



図 3: 障害物周辺を撮影した画像

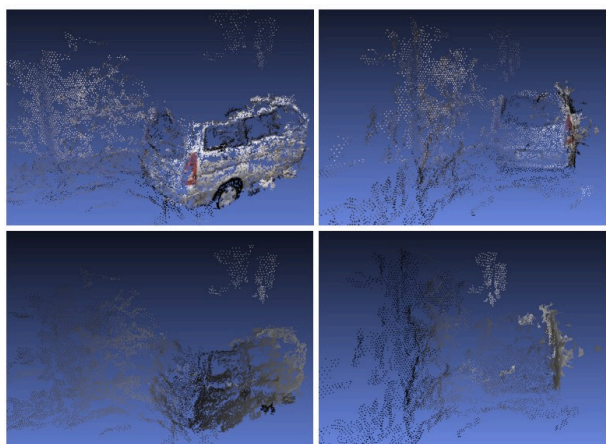


図 4: 図 3 の障害物に SfM を適用した結果  
 上段: 位置の推定された特徴点群, 下段: 各点の奥行き (手前が黒で奥に行くほど明るくなっている)

### 3. システムの構成

本システムは, UAV, GPS, 及び PC から構成される. 従来研究では固定翼の UAV を用いており旋回半径等の制約が存在したため, 建造物等が存在しない高度から観測を行う, もしくは, 建造物を避けるような経路計画を行う必要があった [4]. 本研究では, UAV として運動性能の高いクアッドローター型の UAV である Parrot 社の AR.Drone 2.0(図 5) を用いている. これにより, 飛行高度に建造物等が存在しても道路に沿って飛行することができ, 各道路についてより詳細に観測を行うことができる. また, UAV の自己位置を推定するために, リアルタイムでデータ取得が可能な GPS レシーバとして Wintec 社の WBT-202 を用いた. PC では, UAV の内部センサの情報と GPS の情報から UAV の自己位置の推定及び, UAV のカメラ映像から道路や障害物の推定を行う.



図 5: Parrot 社 AR.Drone 2.0(中央) 及び Wintec 社 WBT-202(右)

前面カメラ	1280×720pixel 30fps
底面カメラ	320×240pixel 60fps
内部センサ	3 軸加速度計 3 軸ジャイロスコープ 3 軸磁気センサー 超音波距離センサー 気圧計
航続可能時間	約 12 分

表 1: AR.Drone 2.0 諸元

位置精度	2.5m
フレームレート	1Hz

表 2: WBT-202 諸元

## 4. 実験

### 4.1 実験概要

自動車の車載カメラから撮影された映像の各フレームに対して, 道路領域の検出及び障害物候補の推定を行った. 自動車は片側 3 車線の直線道路の中央車線を走行しており, 道路上には駐車している自動車や, 走行している他の自動車が存在している. 道路領域は, 自車の走行車線が正しく判定できている場合を成功とした. また, 自車以外の自動車を障害物と仮定し, 自車の走行車線を走る他の自動車を障害物候補と判定できた場合を成功, 障害物候補と判定されなかった場合を失敗とした. 車載カメラからの映像として, Caltech Pedestrian Detection Benchmark の映像を用いた [10].

### 4.2 実験結果と考察

実験結果は表 3 の通りである. ここで, 障害物存在とは, 自車の走行車線上に他の自動車 (障害物) が存在することを示している.

総フレーム数	450 フレーム
道路領域検出	271 フレーム
障害物存在	306 フレーム
障害物検出	60 フレーム

表 3: 実験結果

#### 4.2.1 道路領域の検出

道路領域は全フレーム数のうち約 60% において正しく検出することができた. 道路領域が正しく検出できないフレームが存在したのは以下のような原因によると考えられる.

- 路面表示が薄いもしくは隠れているなどの理由によって, Hough 変換の際に道路境界となる直線が検出されなかったため, 消失点が誤って推定された. また, 消失点は正しく推定されたが, 道路と道路以外の箇所が同一領域とみなされたため, 色情報によって道路領域ではないと推定された.
- 横断歩道や道路上の模様によって, 道路領域が細かく分断されてしまい, 部分的に道路領域ではないと推定された.

また, カメラの姿勢がほぼ一定の場合, 連続したフレームにおいて道路方向の消失点や道路領域の位置は大きく変化しないため, 前のフレームにおける消失点および道路境界の情報を用いることで, 道路領域の検出を補完することが出来ると考えられる.

#### 4.2.2 障害物の検出

障害物が存在したフレームのうち、障害物の存在する領域に障害物が存在すると正しく検出できたフレームは約 20 % だった。障害物の検出確率がこのような低い値となったことには以下のような原因が考えられる。まず、各ピクセルの色情報のみを用いて道路領域か障害物かの二値化をしているため、各フレームごとに変化するしきい値の設定によって、障害物とみなされる領域がほとんど存在しないフレームがあった。また、障害物候補の推定は道路領域と判定された領域内のみで行なったため、道路領域が誤って推定された際に障害物候補が検出されない場合があった。道路領域が正しく推定されたフレームのみにおいて、障害物の存在したフレーム数に対する障害物が正しく検出されたフレーム数の割合は約 29 % であった。

## 5. まとめと今後の展望

本論文では、UAV を用いて道路面を観測し道路上の障害物を推定する方法について述べ、これを利用することで、災害発生直後に短時間で障害物の情報を提供するシステムを提案した。

今後の課題として以下のようなものが挙げられる。まず、災害発生直後に想定される様々な環境へ対応する必要がある。現在の方法でははっきりとした境界線を持つアスファルト舗装の直線道路のみに対応しているが、曲線の道路や交差点等の環境及び照明条件の異なる環境でも道路や障害物を正しく検出できることを目指す。現在は前のフレームの情報や、自己位置・姿勢の情報を用いずに道路及び障害物の推定を行なっているが、これらの情報を合わせて推定をすることで道路や障害物検出の安定化を目指す。また、SfM の手法を用いた障害物形状の推定について計算時間や精度について実験を行う。

## 参考文献

- [1] 本田技研工業株式会社. インターナビ・リンク. <http://traffic.premium-club.jp/earthquake/sanriku/>.
- [2] Goole. Google クライシスレスポンス. <http://google.co.jp/saigai>.
- [3] 山崎文雄. リモートセンシングによる広域災害の把握. 予防時報, Vol. 248, pp. 12–18, 2012.
- [4] 廣川類, 辰己薫, 佐藤幸一, 瀧口純一, 久保大輔, 土屋武司, 鈴木真二, 鈴木太郎, 目黒淳一, 天野嘉春, 橋詰匠. 小型自律飛行ロボットを用いた災害時における情報収集システムの構築. 日本ロボット学会誌, Vol. 26(6), pp. 553–560, 2008.
- [5] 和田昭久. 災害監視における小型無人機システムの活用. 建設の施工企画, Vol. 10, pp. 39–43, 2009.
- [6] Hui Kong, J. Y. Audibert, and J. Ponce. Vanishing point detection for road detection. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on*, pp. 96–103, 2009.
- [7] J. M. A. Alvarez, T. Gevers, and A. M. Lopez. Vision-based road detection using road models. In *Image Processing (ICIP), 2009 16th IEEE International Conference on*, pp. 2073–2076, 2009.
- [8] Changchang Wu. VisualSfM : A visual structure from motion system. <http://homes.cs.washington.edu/~ccwu/vsfm/>.
- [9] Meshlab. <http://meshlab.sourceforge.net/>.
- [10] Caltech pedestrian detection benchmark. [http://www.vision.caltech.edu/Image\\_Datasets/CaltechPedestrians](http://www.vision.caltech.edu/Image_Datasets/CaltechPedestrians).