

第 2 章

地上固定 LiDAR と複数 UAV

を用いた撮影計画の概要

2.1 はじめに

本章では，昨年度まで佐々木らが行っていた地上固定 LiDAR と複数 UAV を用いた撮影計画の概要について述べる．[12] またその研究における問題点，課題点などについて述べる．

2.2 撮影ベクトルと移動カメラの撮影領域

2.2.1 撮影ベクトル

カメラで撮影対象を撮影するとき，撮影対象の表面に対して垂直な方向から撮影することが望ましい．撮影対象の表面に垂直な方向を撮影ベクトルと定義する．また定義した撮影ベクトルに対して，一定の解像度以上で撮影できる領域を撮影領域と定義する．要求解像度と UAV に搭載されている移動カメラの性能から撮影領域は計算できる．

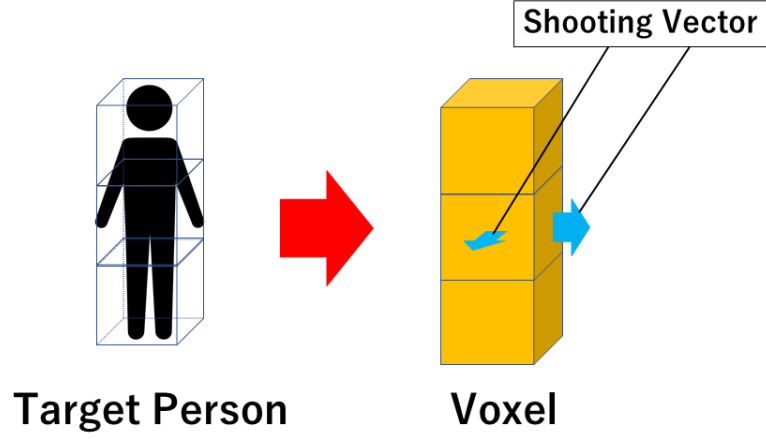


Fig. 2.1 Model of Shooting Vector

撮影領域の導出において、三次元空間および二次元空間はグリッドによって分割され、それぞれボクセル、セルとして管理される。Fig. 2.1 は撮影対象人物とその人物に対するボクセルと撮影ベクトルである。この研究では Fig. 2.1 で中心のセルから撮影ベクトルが表されているように、簡単のため、対象人物をは 1 つのボクセル内で存在するものとし、その 1 つのボクセルから垂直な方向に撮影ベクトルを定義する。

2.2.2 要求解像度

この研究では、1[mm] を表すために必要な画素数 [pixel/mm] で解像度を表現する。あるカメラが撮影対象を撮影しているとき、カメラの水平 (垂直) 解像度を R_{camera} 、カメラの水平 (垂直) 画角を α [rad]、撮影対象を写している水平 (垂直) 画角を β とし、セルの 1 辺の長さが S [mm] であるときの、撮影対象の解像度 R [pixel/mm] は式 (2.1) で求められる。

$$\frac{\beta R_{camera}}{\alpha S} [\text{pixel/mm}] \quad (2.1)$$

任意の要求解像度 $n[\text{pixel/mm}]$ が与えられたとき、要求解像度の満たすための条件は式 (2.1) より $n \leq R$ で表される。この式より、要求解像度を満たすためには画角 β に対して式 (2.2) を満足する必要がある。

$$\beta \leq \frac{\alpha n S}{R_{\text{camera}}} [\text{rad}] \quad (2.2)$$

以上より、ある撮影ベクトルについて要求解像度を満たす撮影領域は、条件式 (2.2) を満たす水平画角 β_h 、垂直画角 β_v の点の軌跡である。

2.2.3 撮影領域の導出

撮影領域の導出を平面について順番に導出していく。まず始めに x, y 平面について考える。撮影ベクトルが設定されたセルの中心を原点とする x, y 座標系を考える。カメラの座標を $(x, y)[\text{mm}]$ 、撮影ベクトルと x 軸のなす角を γ 、セルの 1 辺の長さを $2\lambda[\text{mm}]$ とすると水平画角 β_h はのようになる。

$$\beta_h = \left| \arctan \left(\frac{y + \lambda \cos \gamma}{x - \lambda \sin \gamma} \right) - \arctan \left(\frac{y - \lambda \cos \gamma}{x + \lambda \sin \gamma} \right) \right| \quad (2.3)$$

簡単のために $\gamma = 0$ のときを考えると、 xy 平面における水平画角 β_h で捉えることのできる点の軌跡は式 (2.4) のようになる。

$$\left(x - \frac{\lambda}{\tan \beta_h} \right)^2 + y^2 = \left(\frac{\lambda}{\tan \beta_h} \right)^2 + \lambda^2 \quad (2.4)$$

この式を極座標形式に変換すると??になる。

$$r(\phi) = \frac{\cos \phi + \sqrt{\cos^2 \phi + \tan^2 \beta_h}}{\tan \beta_h} \lambda \quad (2.5)$$

zr 平面について考える。 xy 平面の時と同様に、セルの中心を原点とする座標系を考える。

カメラの位置を z , $r(\phi)$ [mm], 撮影ベクトルと r 軸のなす角を ψ [rad], セルの 1 辺の半分の λ [mm] とする. 撮影対象を捉えている垂直画角 β_v は, 式 (2.6) のようになる.

$$\beta_v = \left| \arctan \left(\frac{z + \lambda \cos \psi}{r(\phi) - \lambda \sin \psi} \right) - \arctan \left(\frac{z - \lambda \cos \psi}{r(\phi) + \lambda \sin \psi} \right) \right| \quad (2.6)$$

xy 平面のとき同様に, \tan に変形すると, 式 (2.7) のようになる.

$$\tan \beta_v = \frac{2r(\phi)\lambda \cos \psi + 2z\lambda \sin \psi}{z^2 + r(\phi)^2 - \lambda^2} \quad (2.7)$$

簡単のために, $\psi = 0$ の時を考えると, zr 平面における撮影ベクトルを捉えるために必要な垂直画角 β_v [rad] で捉えることのできる点の軌跡は, 式 (2.8) のようになる.

$$\begin{aligned} z^2 + r(\phi)^2 + \lambda^2 &= \frac{2r(\phi)\lambda}{\tan \beta_v} \\ z^2 + \left(r(\phi) - \frac{\lambda}{\tan \beta_v} \right)^2 &= \left(\frac{\lambda}{\tan \beta_v} \right)^2 + \lambda^2 \end{aligned} \quad (2.8)$$

上式を z 軸方向を θ の正とした距離 r , 角度 θ による 3 次元極座標系の式に変形し, $r(\theta, \phi)$ について解くと式 (2.9) となる.

$$r(\theta, \phi) \leq \lambda^2 \left\{ \left(\frac{\sin \theta + \sqrt{\sin^2 \theta + \tan^2 \beta_v}}{\tan \beta_v \cos \theta} - \frac{\cos \phi}{\tan \beta_h} \right)^2 + \left(\frac{\sin \phi}{\tan \beta_v} \right)^2 \right\} \quad (2.9)$$

式 (2.9) と式 (2.2) を合わせた条件を満足する位置が撮影領域である.

2.2.4 カメラの高さや向きを考慮した撮影領域の算出

この研究では UAV の高度を一定にして実験を行っている. そのときの UAV の高度を h [mm] とするとその時の式 (2.9) に課される拘束条件は式 (2.10) になる. 次にカメラのロール, ピッチ, ヨーの可動域を考える. ピッチを ω [rad] で固定した場合, ヨー, ピッチを, μ , ω [rad] とし, μ , ω , ϕ , θ およびカメラの水平画角 α_h と垂直画角 α_v に関して, 式 (2.11) の

拘束条件が課される.

$$\text{subject to } r(\theta, \phi) \cos \theta = h \quad (2.10)$$

$$\text{subject to } |\phi| \leq \mu + \frac{\alpha_h}{2}, \quad \omega - \frac{\alpha_v}{2} \leq \theta \leq \omega + \frac{\alpha_v}{2} \quad (2.11)$$

2.2.5 1 人の撮影人物に対して設定する撮影ベクトルの本数

前節では撮影ベクトルの領域の導出をしたが、その領域は 1 つの撮影ベクトルの方向のみ補完している．実際に人物認識を行うためには、対象人物の周囲の領域を全てフォローする必要がある．その条件を満たすために 1 人の人物に複数本の撮影ベクトルを付与する．1 つのセルから出る撮影ベクトルの本数が 4 本であることを考慮すると、撮影ベクトルの本数は 4 の倍数であることが望ましい．

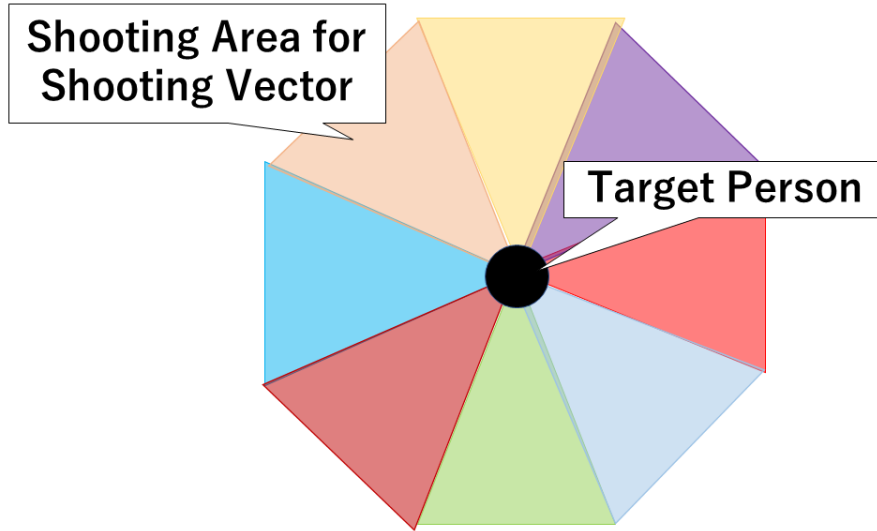


Fig. 2.2 Shooting Area of One Target Person

2.3 Obstacle Detector

LiDAR を用いた人物認識を行う際、ROS (Robot Operating System) のパッケージである、Obstacle Detector を使用した。このパッケージは Mateusz らによる、二次元 LiDAR の点群情報からの障害物検出 [13] を基に作成されたものである。以下このパッケージの概略を述べる。

このパッケージ点群情報から 2 種類の障害物モデルを近似で導き出すことができる。1 つは両端の座標によって表される線形障害物であり、もう 1 つは中心の座標と半径で表される円形障害物である。

点群情報の処理方法を説明する。入力された点群情報を、点同士の距離から点集合にグルーピングを行う。次にグルーピングされた点集合をさらに細かい点集合に分割可能かの判断を行う。分割された点群情報に対し、両端の点を結び、上記に述べた線形障害物を作り出す。得られた線分情報から、その線分を 1 辺とする正三角形を導出し、導き出された正三角形が内接する円を算出する。算出するされた複数の円のうち半径の距離が閾値以下であれば統合を行い 1 つの大きな円とする。これによって導出された円が上記に述べた円形障害物である。最後に検出された現在の障害物の位置と、カルマンフィルタを用いて過去の障害物の位置の推移から位置の推定を行うことで、障害物の位置検出の精度向上を図ることが可能となる。なお、この処理は移動する可能性のある円形障害物に適用され線形障害物には適用されない。

2.4 UAV の目標位置の導出

2.4.1 グリッドマップと目標位置

本研究では、人物移動領域と UAV 移動可能領域をグリッドマップで管理する。人物移動領域で認識された人物と前節までに導出した撮影ベクトルの領域から UAV の移動可能位置

における目標位置の投票を行う。撮影人物に付与された撮影ベクトルをグリッドマップに投影し、撮影ベクトルの領域に含まれるグリッドマップのセルが UAV の目標位置になる。実際には撮影人物は複数人存在し 1 人に対して撮影ベクトルは複数本付与されているため、UAV の目標位置は撮影ベクトルがある領域のうち、撮影ベクトルがより多く重なっているセルである。

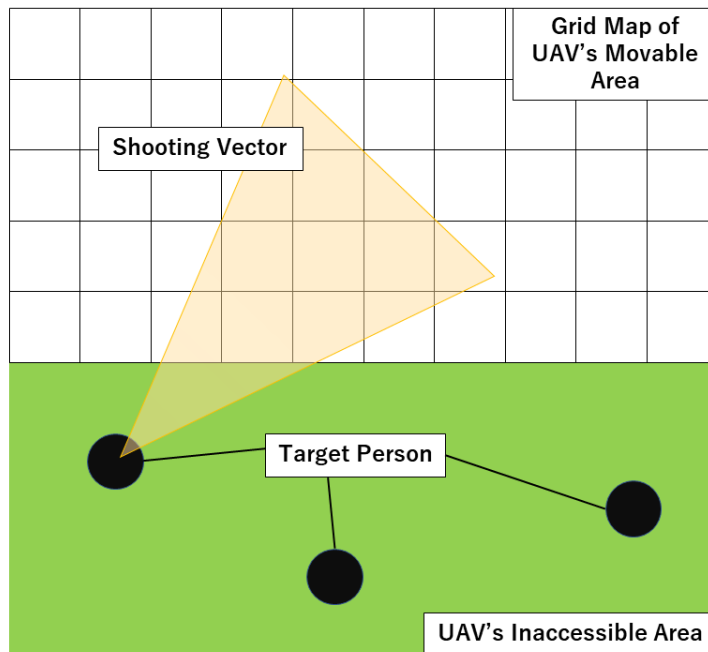


Fig. 2.3 Grid Map and Shooting Vector (a)

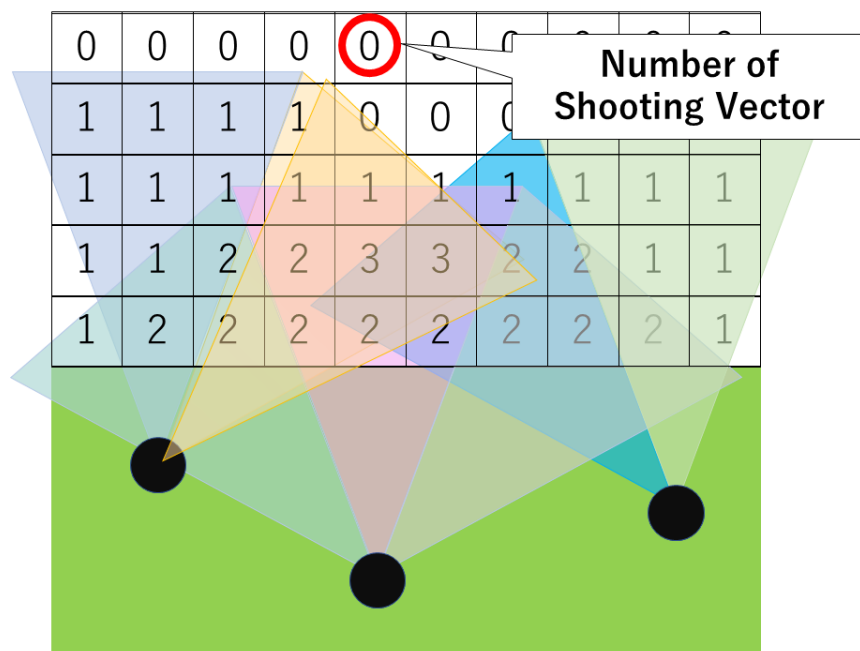


Fig. 2.4 Grid Map and Shooting Vector (b)

移動カメラが現在いる位置から次の目標位置を受け取るまでに動くことができる距離には制限がある．移動カメラの最大並進速度を $v_{max}[\text{m/s}]$ ，撮影計画の実行周期を $f_{plan}[\text{Hz}]$ とすると，1 周期内で移動カメラが移動できる最大並進距離 $d_{max}[\text{m}]$ は，式 (2.12) のようになる．

$$d_{max} = \frac{v_{max}}{f_{plan}} \quad (2.12)$$

移動カメラの現在位置を中心とし d_{max} を半径とする円が，実行周期内に UAV の移動できる領域になる．この円の中にあり撮影ベクトルが一番多く重なっているグリッドマップのセルが UAV の目標位置である．

2.5 先行研究の課題点と本章のまとめ

本章では，先行研究で使用していたシステムや手法について説明した．前節までに導出した撮影ベクトルの設定や UAV の目標位置決定の導出の手法を使って UAV 撮影計画を行っていたが，実機実験では様々な問題点が発生していた．

UAV の GPS センサの精度が低く，目標位置に移動する際に実際の目標位置と UAV が到達した目標位置にずれが生じる．また LiDAR の位置情報を UAV に搭載されている GPS センサと同じものを用いて取得しているため，LiDAR が認識している人物の位置の精度が低い．LiDAR に対して撮影対象が複数人いる場合に遮蔽 (オクルージョン) が発生する．オクルージョンが発生した場合，位置情報が取得できない人物が存在するため撮影ベクトルの本数が減少し，UAV の目標位置が人物を捉えきれない位置に設定されることがある．

次章では LiDAR の精度の高い位置の決定方法とオクルージョンが発生した場合の UAV の目標位置の補完方法について述べる．