

第 3 章

複数 LiDAR の位置校正方法と オクルージョン範囲を 考慮した撮影計画

3.1 はじめに

本章では，LiDAR の位置を取得するために使用した手法を説明する．また，決定した LiDAR の位置とそれが認識した人物の位置からオクルージョンが起こっている範囲を導出し，その範囲を UAV が撮影できるように目標位置を設定する手法を説明する．

3.2 複数 LiDAR の位置決定方法

まず始めに，複数 LiDAR の位置の取得方法について述べる．先行研究では 1 台の LiDAR の位置を UAV に搭載している GPS センサと同じものを使用してを取得していた．しかし，

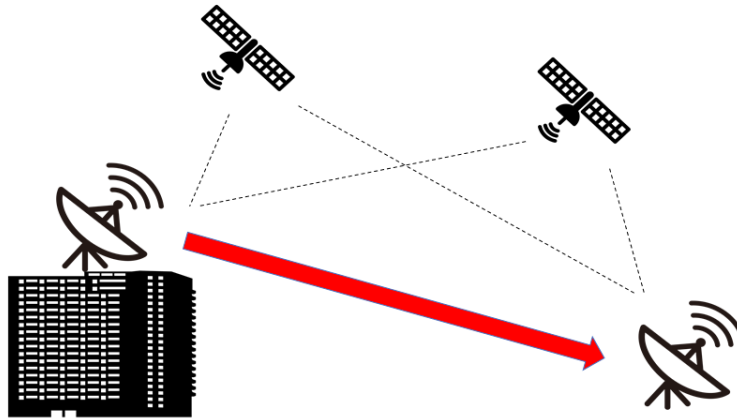


Fig. 3.1 Image of RTK-GPS Positioning System

UAV に搭載されている GPS センサから得られる緯度経度情報は数 m から十数 m の誤差がある。複数の LiDAR を使用する際、位置の誤差が大きいと、1 つの物体を 2 つの物体と誤認してしまう恐れがある。そのため、2 つの LiDAR の正確な相対位置を取得するために RTK-GPS 測位という手法を利用して位置を取得する。

3.2.1 RTK-GPS 測位

RTK-GPS(Real-Time Kinematic GPS) 測位とは、位置が分かっている移動しない基地局 (Base) と位置情報を取得しようとしている観測点である移動局 (Rover) で同時に GPS 観測を行い、基地局で観測したデータを移動局へリアルタイムに送信し、基地局の位置に基づいて移動局の位置を求める手法である。さらにネットワークを利用して基地局と移動局のデータ送信を行うことで、基地局と移動局が長距離で離れていても精度の高い演算ができる。

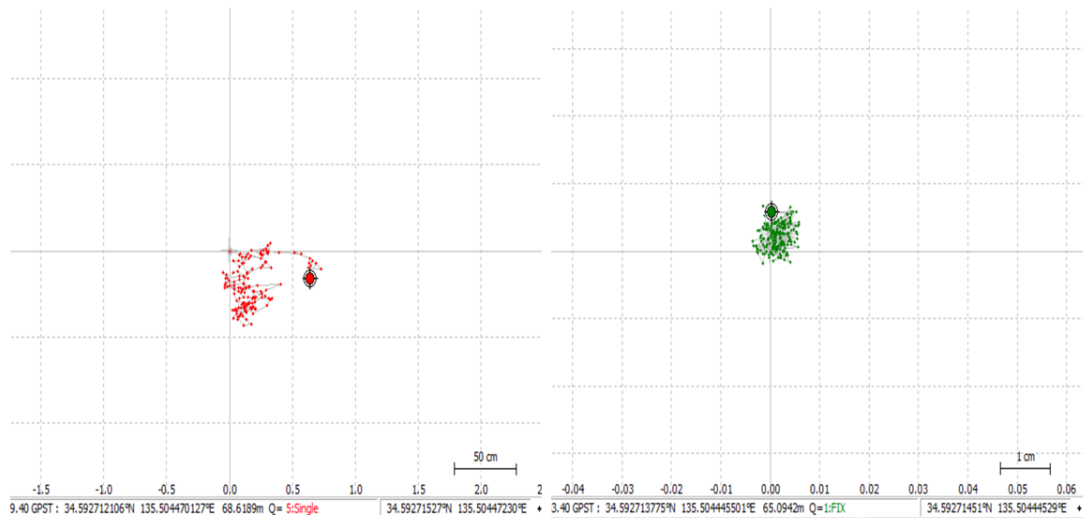


Fig. 3.2 Single GPS Positioning (right) and RTK-GPS Positioning (left)

3.2.2 RTK-GPS 測位と単独測位の比較

単独測位では数 m から十数 m の誤差が発生するのに対して，RTK-GPS 測位では数 cm の誤差が発生するといわれている．ここで，実際に計測したデータを比較して測位の性能の差を述べる．計測位置は大阪市立大学 F 棟 507 号室のベランダであり，Fig. 3.2 は 30 秒の計測データをグラフ化したものである．Fig. 3.2 左のグラフは単独測位の結果であり，グラフは 1 マス 50cm である．同図右のグラフは RTK-GPS 測位の結果であり，グラフは 1 マス 1cm である．グラフはから見て取れるように，単独測位は 50cm から 1m の誤差があり，RTK-GPS 測位の誤差は 1cm から 2cm 以内に収まっている．

3.3 GPS 座標から map 座標への変換

本研究では，東を x 座標正方向，北を y 座標正方向とする map 座標系を用いる．また座標原点は LiDAR1 の座標をもとに算出する．ここでは，GPS センサから得た LiDAR1 の緯

度経度と座標から原点の緯度経度の値の算出方法、原点の緯度経度の値と LiDAR2 の緯度経度の値から LiDAR2 の map 座標の算出方法を述べる。

LiDAR1 の GPS 座標を $lon_{lidar1}, lat_{lidar1}$, map 座標を x_{lidar1}, y_{lidar1} とすると求める map 座標原点の緯度経度の値 $lon_{origin}, lat_{origin}$ は以下の式 (3.1) で算出される。なお式中の R は地球の赤道半径である。

$$\begin{aligned} lat_{origin} &= \frac{y_{lidar1}}{R} \times \frac{180}{\pi} + lat_{lidar1} \\ lon_{origin} &= \frac{x_{lidar1}}{R} \times \frac{180}{\pi} \times \frac{1}{\cos(lat_{origin} \frac{180}{\pi})} + lon_{origin} \end{aligned} \quad (3.1)$$

式 (3.1) より得られた map 座標原点の緯度経度の値を用いて、LiDAR2 の map 座標 x_{lidar2}, y_{lidar2} を式 (3.2) 求めることができる。LiDAR2 の GPS 座標を $lon_{lidar2}, lat_{lidar2}$ とする。

$$\begin{aligned} x_{lidar2} &= R(lon_{lidar2} - lon_{origin}) \frac{\pi}{180} \cos((lat_{lidar2} - lat_{origin}) \frac{\pi}{180}) \\ y_{lidar2} &= R(lat_{lidar2} - lat_{origin}) \frac{\pi}{180} \end{aligned} \quad (3.2)$$

3.4 オクルージョンが発生した場合の UAV の撮影位置の決定

前節まででは、LiDAR の位置を取得するための手法を述べた。人物行動範囲内に複数人の人物が存在する場合、オクルージョンが発生し、地上設置 LiDAR では人物行動範囲内の全ての人物をとらえきれない場合が存在する。この節では、オクルージョンが発生した場合の LiDAR の撮影できない領域と、その領域を考慮した UAV の目標位置の導出方法について述べる。

3.4.1 1 台の LiDAR に対するオクルージョンの範囲

LiDAR の設置位置と人物の位置関係から LiDAR が物体を認識することのできない領域を推定することができる。この領域をオクルージョンエリアと定義する。簡単のため人物の形

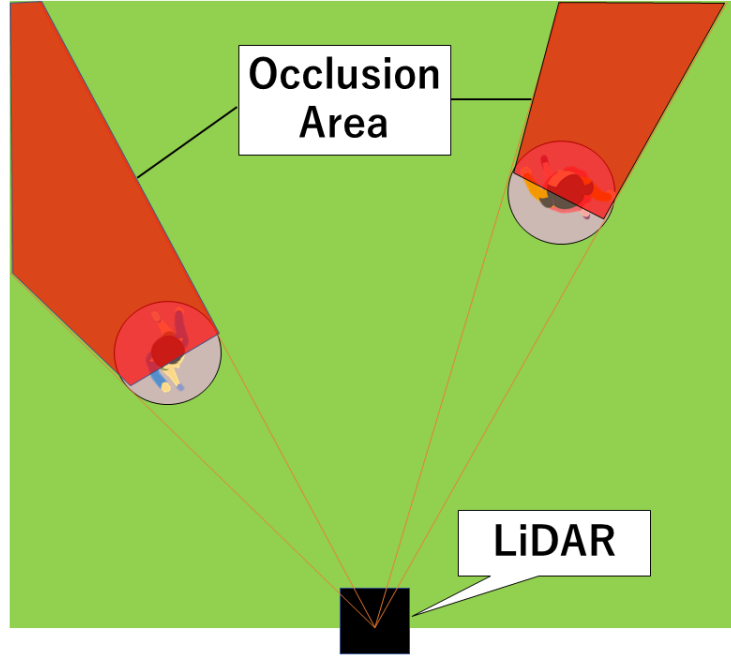


Fig. 3.3 Occlusion Area

を円形としその半径を r とすると Fig. 3.3 で示される領域がオクルージョンエリアとなる．

オクルージョンエリアは人物の円に対して LiDAR の座標を通る 2 本の接線を考え、2 接点を結んだ線と 2 本の接線、人物の移動可能範囲の境界に囲まれる領域になる．このオクルージョンエリアに人物が存在した場合、地上カメラから捉えられないため UAV が撮影する必要がある．本研究では、オクルージョンエリアに架空の人物がいると想定して撮影計画を行う．架空の人物（ダミー）の座標を設定することで、ダミーに対しても撮影ベクトルが付与されオクルージョンエリアを撮影範囲に収めることができる．

ダミーの座標の位置は、LiDAR と人物を表す円の中心座標を結ぶ直線と人物移動可能範囲の領域との交点を導出し、その交点の座標と人物の円の中心座標の midpoint に設定する．LiDAR の座標を x_{lidar}, y_{lidar} 、人物の円の中心座標を x_{person}, y_{person} とすると 2 点を結ぶ直線の方程式は式 (3.3) で求めることができる．ここでは人物移動可能領域の中心を原点とする座標系を使用する．

$$y = \frac{y_{person} - y_{lidar}}{x_{person} - x_{lidar}}x + \frac{x_{person}y_{lidar} - x_{lidar}y_{person}}{x_{person} - y_{lidar}} \quad (3.3)$$

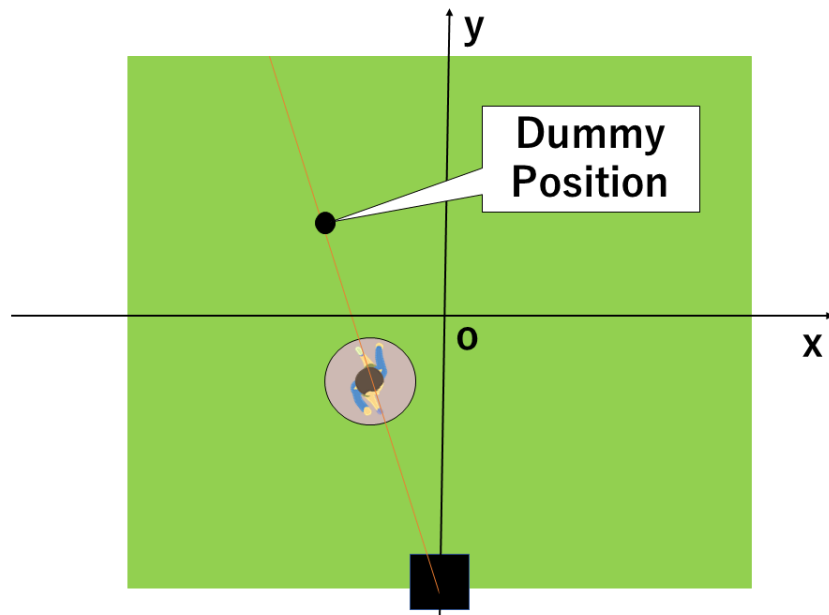


Fig. 3.4 Dummy Position

式 (3.3) の方程式より境界の座標を代入することにより交点の座標が求められる．1 人の人物に対して 1 つのダミーが生成されるためダミーを含めた人物の数は，LiDAR が認識している人物の数を n 人とする，撮影ベクトルを付与される人物とダミー人物の合計の数は $2n$ となる．

3.5 複数 LiDAR での人物認識

LiDAR を複数使用して人物認識を行う場合、それぞれの LiDAR でとらえた物体を同一の座標系に合わせる必要がある。この別々に認識された物体を 1 つの座標系にマージする際、同一人物を別の人物として捉えてしまうと unnecessary な撮影ベクトルが存在することになり効率の悪い撮影計画になる。

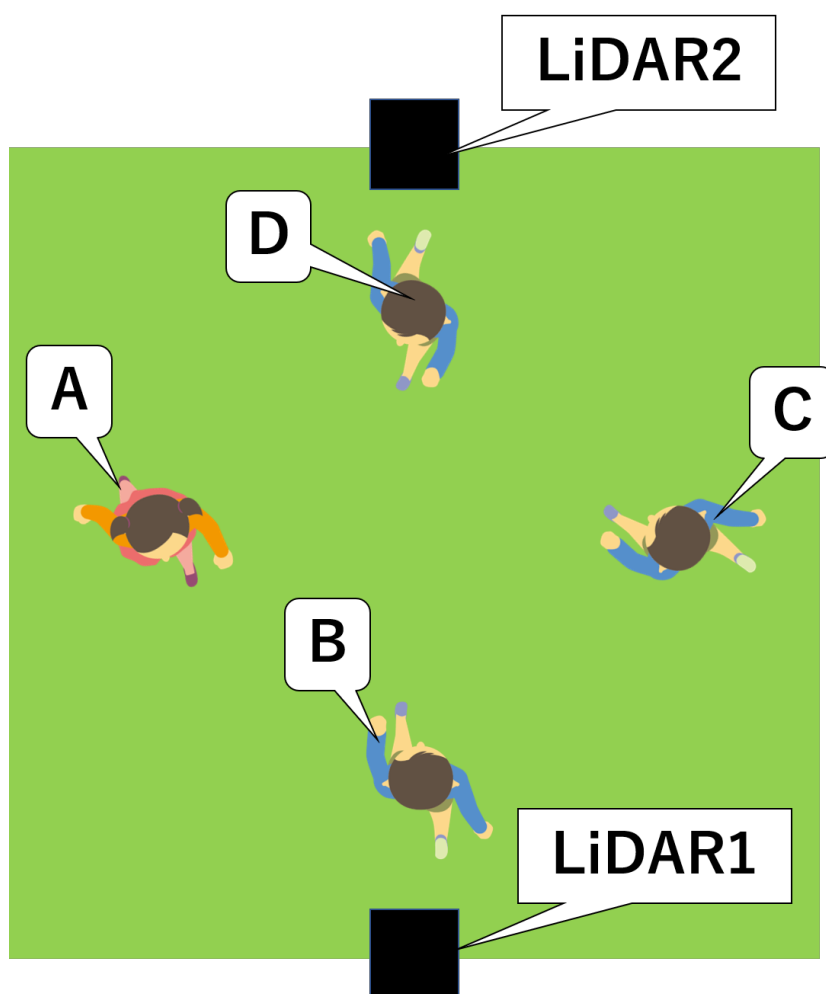
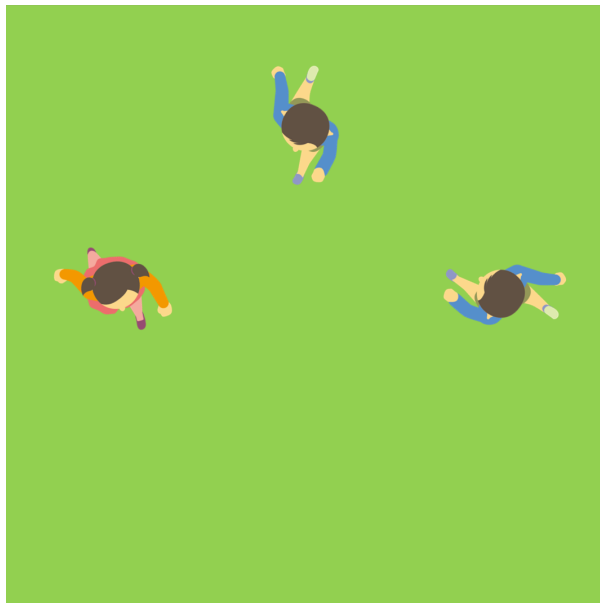


Fig. 3.5 Example of Person Recognition



(a)



(b)

Fig. 3.6 Person recognized by LiDAR1 or LiDAR2

例として Fig. 3.5 のような人物と LiDAR の配置を考える．4 人の人物それぞれに A,B,C,D のラベルを割り振る．前節で述べていたオクルージョンエリアを LiDAR1, LiDAR2 についてそれぞれ考慮すると，人物 D が LiDAR1 のオクルージョンエリアに配置されていて，人物 D が LiDAR2 のオクルージョンエリアに配置されている．人物 A,C は両方の LiDAR から認識することができる．LiDAR1 が認識できる人物を Fig. 3.6(a), LiDAR2 が認識できる人物を Fig. 3.6(b) に示す．2 つの LiDAR の認識している人物をそのままマージすると人物 A,C が重複して数えられることになる．

3.5.1 重複人物のマージ方法

2 つの LiDAR で同一人物を認識するとき，Fig. 3.5 の人物 A を例として考えると，LiDAR1 は人物 A の前面，LiDAR2 は人物 A の背面を認識することになる．この認識のずれにより，それぞれの LiDAR が認識した点群から生成される円の中心座標が完全一致する可能性は限りなく低いと考えられる．

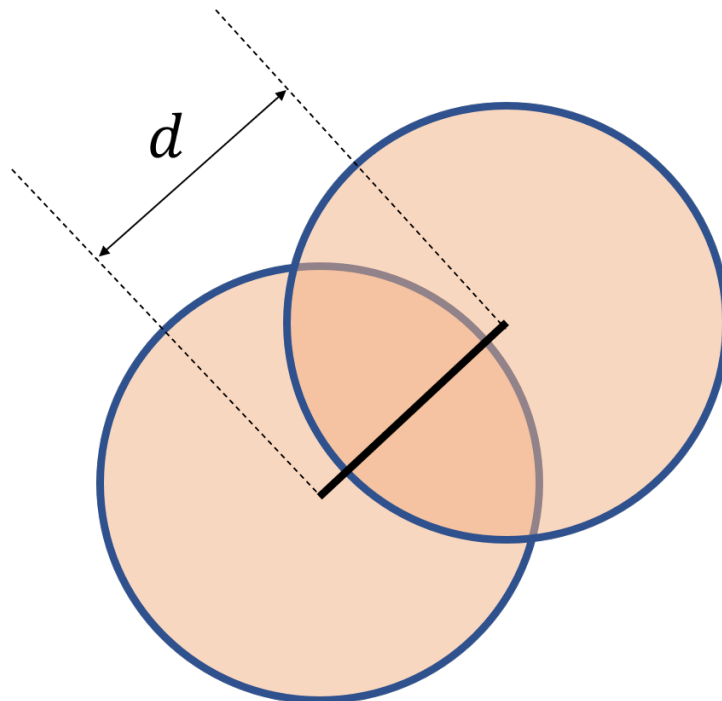


Fig. 3.7 Distance of Two Circle

Fig. 3.7 に各 LiDAR が同一の人物から認識した 2 つの円を示す. 2 つの円の中心間の距離を d とする. この中心間の距離の大きさで同一人物であるかどうかの判定を行う. 2 円が同一人物であるとする中心間の距離を d_{max} と設定すると, d が式 (3.4) を満たすとき 2 つの円は同一人物から生成された円と判定する.

$$d \leq d_{max} \quad (3.4)$$

3.6 本章のまとめ

本章では, 始めに精度の高い LiDAR の位置情報を取得するために用いた演算方法について説明した. 次にオクルージョンエリアについて言及し, そのエリアを撮影するためにダミーの人物の配置方法について述べた. 最後に 2 台の LiDAR が認識した物体のマージ方法について述べた.

次章では実機実験を行うための実際のシステムについて説明する.