

レーザスキャナを用いたドローンの衝突回避

Drone collision avoidance using a laser scanner

宮野 智行¹⁾, 山口 宥人¹⁾

Tomoyuki MIYANO, Hiroto YAMAGUCHI

Abstract : Various drone had become widely used for many applications. In an infection prevention society, unmanned flight vehicles are an essential means of physical distribution. As the traffic volume becomes a lot, flight accidents will be a big problem. Unmanned aircraft is desired to be self-controlled from take-off to landing. In this paper, we propose a drone that uses laser scanner for obstacle free navigation. This paper presents the experimental production of drone equipped with laser scanner and collision avoidance experiment. Flight experimental results show good performance of drone obstacle avoidance. Consequently the laser scanner is effective in collision avoidance for drone.

Key Words : drone, collision avoidance, laser scanner

1 はじめに

無人航空機は測量における地形調査や3Dマップの作成, 農業での農薬散布や種まき, インフラの事前調査や高所点検等で, その利用が進められている. さらに, 人が立ち入れない場所での災害調査や生育調査等には今後も利用の拡大が見込まれる. 感染症のパンデミックにより, 人々は接触の機会を最小限に抑えることが求められるようになった. これまで人が介在することが前提となっていた物流業界においても, 非接触で物資を届けることが望まれるようになってきている. 無人航空機の中でもドローンは, これら社会の要求に合致した最適な輸送手段であるといえる. 個別宅への配達やイベント等の画像撮影への利用では, 多数のドローンが相互に行き交うため, ドローン同士の衝突による落下等の事故が懸念されている. ドローンの利用が進むにつれて各々が自律的に飛行し, 衝突を回避し目的地に到達することが必要となっている.

本研究ではドローンの自律飛行とそのため必要となる衝突回避を目的としている. これまでに障害物を検知するセンサとして, 超音波センサを利用した試作及び実験結果の評価についてその有効性が報告されている[1]. この研究では4つの超音波センサをドローンの4隅に搭載したもので, 全体の重量の増加や, 搭載機器が複雑化する. 一つのセンサで全方位の障害物を検知することができれば, 搭載機器の最小化, 軽量化, ソフトウェアの負荷軽減が図れる. これらの要求を満たし障害物を検出するためのセンサとしてレーザスキャナを使用した. 本稿ではレーザスキャナを搭載したドローンを試作し, 衝突回避を目的とした飛行実験の結果を報告する.

2 衝突回避とドローンの試作

2.1 衝突回避

ドローンの衝突回避のためのセンサとしてレーザスキャナを使用したドローンを試作し, 実験により自律飛行及び衝突回避機能の確認を行った. 障害物を検知した場合, 衝突を回避するために進行方向と逆向きの加速度を加えることによって, 速やかに停止することが必要となる. 今回の実験では次の2項目の機能をドローンに搭載した.

- 障害物検知
常時 360° 回転するレーザスキャナを搭載することにより, 進行方向だけでなく, 全方位の障害物を検出する.
- 緊急停止
ドローンは速度をもって飛行しているため, 衝突を回避するために, 障害物を検出した場合は, 進行方向と逆向きの加速度を加えることにより, その場所で緊急に停止可能とする.

2.2 ドローンの試作

2.1 項に示した機能を備えたドローンを設計し試作を行って, 衝突回避の実現性を検証する. 試作機はレーザスキャナによる距離, 角度情報の取得及び搭載計算機による測距性能の評価, 緊急停止機能が確認できることを目的として製作した. 製作にあたり, 次に挙げる機能を搭載するための設計仕様を定めて設計製作の指標とした.

1) 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科
航空宇宙工学コース

- (1) レーザスキャナが搭載可能であること。
- (2) レーザスキャナは常時 360° 回転しながら距離、角度を計測するために、全方位の水平方向のスキャニングが可能であること。
- (3) レーザスキャナの距離、角度情報を無線にて、地上試験装置に送信可能なこと。
- (4) 通常のドローン及びラジコン機と同様の操縦が行えること。



図1 試作したドローンの概観図



図2 機体最下部中央に搭載したレーザスキャナ RPLidar A1M8 (Shanghai Slamtec 社製)

試作機では障害物を検知し、衝突することなく安全に着陸できることを確認する。試作したドローンの外観図を図1に示す。レーザスキャナはスキャナから照射したレーザ光の反射光を検出することにより障害物との距離、角度情報を取得するセンサである。本実験ではレーザスキャナに RPLidar A1M8 を使用した。図2には機体最下部中央に搭載したレーザスキャナを示す。レーザスキャナの基本性能を表1示す。レーザの照射方法には、ドット照射、ライン照射、サークル照射があるが、本スキャナはドット照射である。

表1 レーザスキャナの基本性能

方式	360° 無指向性
検出範囲	0.15 ~ 12 m
視野角	360° 回転式
スキャン周波数	1 ~ 10 Hz
サンプリング周波数	4 ~ 8 kHz
角度分解能	1° 以下
照射方式	ドット照射
外形寸法	96×70×51(H) mm
質量	245 g

レーザスキャナは常時回転しながら距離と角度を計測するため単体で全方位 (360°) の距離、角度情報を取得することができる。また、三角法方式を用いているため距離の測定が正確で算出式が平易である。このため距離を算出するまでの時間が短く済むため時刻遅延が小さい距離を算出できる。また角度分解能が高いため距離と方位を合わせた周囲の障害物のマッピングを行うことが可能であり、ドローンの障害物検知センサとして適している。[2]

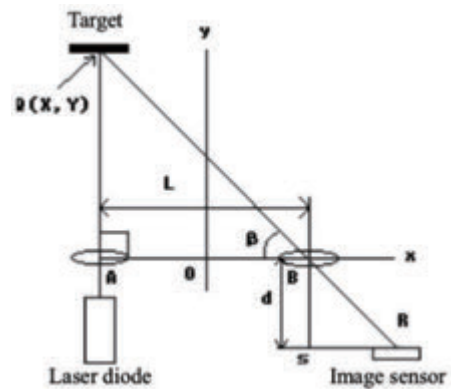


図3 レーザスキャナの測距原理[2]

距離の計測には三角法を用いた。三角法はレーザ光の反射光を受光センサで読み取り三角測量の原理を使って距離を測定する。図3に本実験で使用したレーザスキャナの測距原理を示す。図中の A は投光用レンズ、B は受光用レンズであり、直線 AB を計測の基準線とする。光源であるレーザダイオード (Laser diode) から発せられた光はレンズ A を介して Target の点 Q に照射される。点 Q における反射光は Image sensor 上で検出され、反射像の位置を R とすると、基準線 AB との成す角は β となる。基準線 AB に沿って x 軸を、垂直方向に y 軸をとると、平面 xy 上での Q の座標 (X, Y) を得る。点 Q の基準線から距離 Y は、投光用レンズ A と受光用レンズ B 間の距離を L とすると、 $Y = L \tan \beta$ で与えられるので、角度 β を計測することにより距離 Y を得ることができる。

レーザスキャナの距離、角度情報から周囲の障害物のマッピングを行う演算処理は、ドローンの飛行制御を行うフライトコンピュータで行った。フライトコンピュータには、Arduino をベースとしたドローン用コントローラである MultiWii を使用した。MultiWii は搭載プログラムがオープンソースであるため、ユーザが目的に応じてソースコードを変更することが可能である。プログラム言語は C++ を使用している。また、今回実験で使用したレーザスキャナ (RPLidar_A1M8) は Arduino 対応となっているため、MultiWii にも適用可能である。

3 実験

本報告の実験では、飛行前に行う予備実験と、実際にドローンを飛行させてレーザスキャナによるデータの取得を行う飛行実験を実施した。予備実験では、ドローンにレーザスキャナを搭載した状態で、レーザスキャナの障害物検知と、フライトコンピュータの処理時間を含めた測距精度の評価を行った。飛行実験では、飛行状態におけるレーザスキャナの距離、角度情報の取得性と、障害物検知時のドローンの衝突回避飛行について確認した。本実験は航空法の規制により体育館内で実施した。

3.1 予備実験

予備実験ではドローンにレーザスキャナを搭載し、フライトコンピュータでレーザスキャナからの距離、角度情報を処理する。次に進行方向の障害物との距離を推定し、衝突回避の必要性を判定する。予備実験の概要を図4に示す。実験の開始位置を壁から6m離れた位置とし、障害物と仮定した壁に向かってドローンを進ませた。障害物を壁とすることにより、周囲の障害物のマッピング(図6, 図9)が取得できる。スキャナの0度方向を進行方向とし、壁まで1mの位置まで進み停止させた。複数回データを取得し、フライトコンピュータの測距、測角情報をドローンの位置から求めたリファレンスデータと比較した。

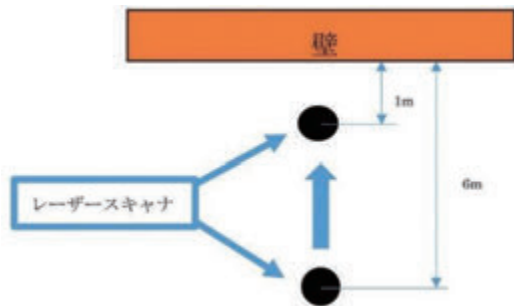


図4 地上実験の概要

実験結果から障害物の測距、測角精度、フライトコンピュータの処理時間、障害物検知機能を評価した。予備実験では、距離データと全方位(360°)の測角データ(スキャナ1回転分)を0.1 sec毎に取得できることを確認した。スキャナのサンプリング周期は最大8kHzであるが、実験ではフライトコントローラの処理負荷を考慮して、800 Hzで距離、角度情報の取り込みと障害物検知を行った。スキャナの距離情報と真値(リファレンスデータ)との比較を図5に示す。フライトコンピュータの演算は1 msec以下で演算処理することができ、測距精度は20 cm以下に収まっている。図6にはフライトコンピュータで処理した距離と方向を2次元表示した。図6では進行方向の障害物が前方の壁(図4)を計測し、進行方向の左側(270°)の障害物は横方向の壁を計測している。左側の壁は障害物とはしていない。

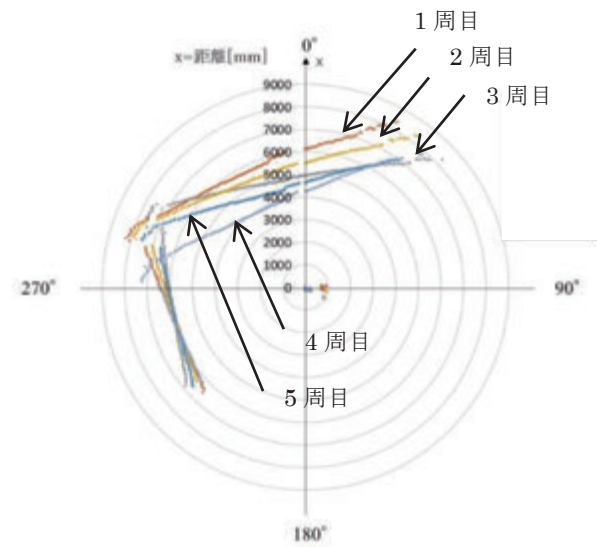


図6 予備実験時の距離と角度

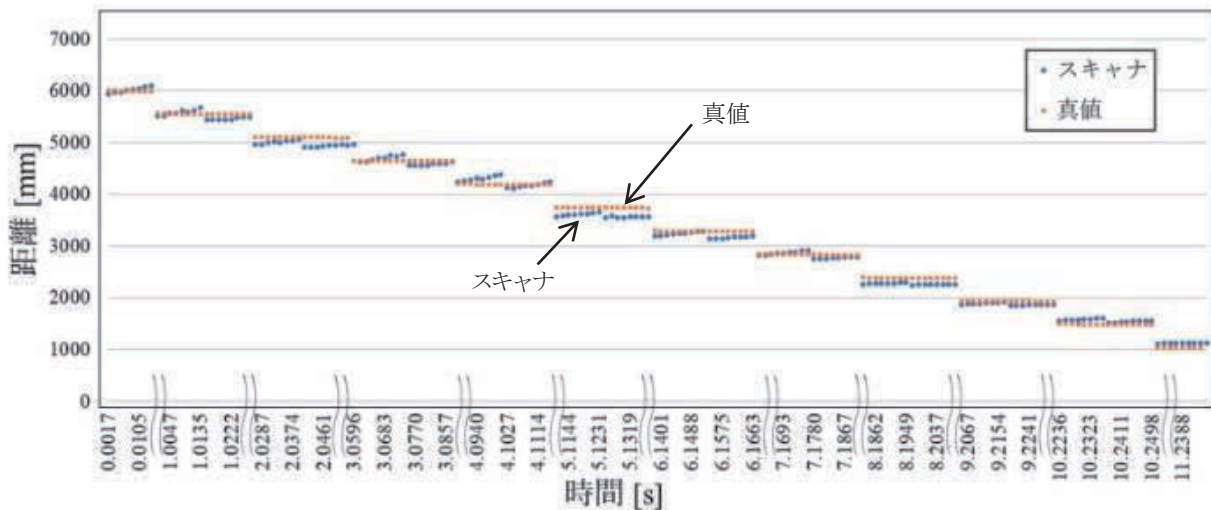


図5 スキャナの距離と真値(リファレンス)との比較

図6, 図9で障害物のマッピングが0度方向に対して反時計方向にオフセットしているのは, 実験に供したドローンは直進させると右側にずれる傾向があり, それを操縦者が0度方向に進むように操縦で修正していたためである. 本実験で使用したレーザスキャナは検知範囲が12m以下であるため, 予備実験で確認したデータ取得周期とフライトコンピュータの処理能力を考慮すると, データをオンボードで処理して障害物回避を実現するために飛行速度は6m/s以下の条件で飛行実験を行うことが必要である. フライトコンピュータでの距離, 方向の推定及び障害物検知に要する時間の合計を1sec以下とすると, ドローンに搭載されたレーザスキャナは移動速度6m/s以下において衝突回避に使用可能な障害物検知性能を有すると考えられる. 障害物検知と衝突の危険性の考え方を図7に示す.

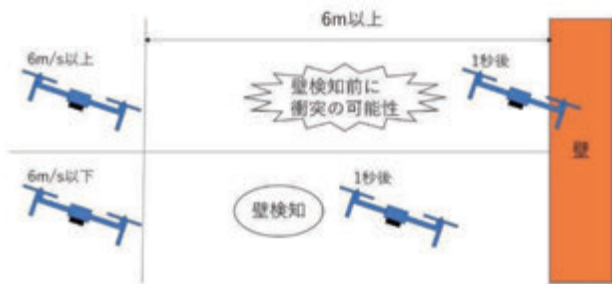


図7 データ取得のラグによる危険性

3.2 飛行実験

予備実験ではドローンに搭載したレーザスキャナを使用して障害物が検知できることを確認し, その測距精度及び処理時間について評価し, 飛行実験に供せられることを確認した. 飛行実験ではドローンを飛行させた状態でレーザスキャナから得られる距離, 角度の情報により障害物を検知することが可能か, また, 衝突を回避することが可能か確認した. 今回の報告では, 飛行中におけるレーザスキャナの測距精度については, リファレンスとなる供試体の正確な時刻, 位置, 速度情報を得ることが難しいため評価の対象とはしていない.

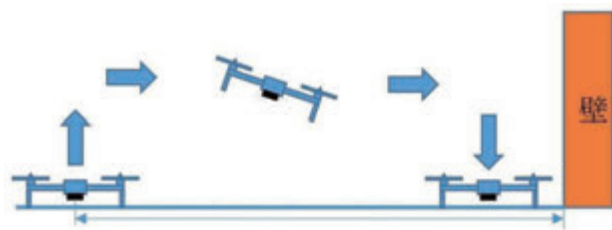


図8 飛行実験の概要

飛行実験の概要を図8に示す. 飛行実験では, 実験の開始位置を障害物(壁)から8m離れた位置とし, 開始点からドローンを離陸させた. レーザスキャナで障害物との距離と角度を計測しながら障害物に向かって飛行する. ドローンが障害物を0度方向6m以内に検知した時に衝突を回避するために, それ以上は障害物に接近しないように減速し, 速やかに下降し着陸する. ドローンの離陸から, 飛行, 障害物検知, 着陸までを1フライトとした.

飛行実験においてフライトコントローラで推定した距離と方向の図を図9に示す. 図には開始してから着陸後スキャナを停止するまでのデータ抜き出してプロットしている. 図には開始地点, 飛行中, 障害物検知後, 着陸時の距離と方向が示されている. 開始地点では物体は検知しているが, 距離が8mあるため障害物と判定していない. 飛行を継続し6m以内に障害物が検知されたために減速及び着陸を行っている. 図9よりフライトコントローラで演算処理した距離と方向が得られていることがわかる. ドローンに搭載したスキャナで全方位(360°)のスキャンを行うことによって, ドローン周囲の障害物を検知している.

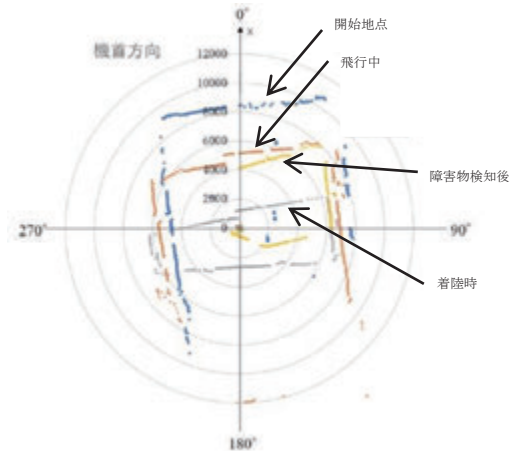


図9 飛行試験における距離, 角度の推定結果

飛行実験において, 飛行開始直後に障害物との距離が計測できていない箇所があるが, これは障害物としていた壁の低い位置に窓があり, スキャナのレーザ光がガラスで反射したことにより, 方向が変化し照射方向に戻らなかったため距離が計測できなかったと推定される. 機体姿勢の影響を受けずに全方位のスキャンを行うためには, スキャナの機体への搭載はジンバル等を用いて常にスキャナが水平に保たれるような搭載方法をとることが必要となる.

4 むすび

レーザスキャナの特性を調査し、ドローンに搭載して障害物回避用いることが可能であるか実験を行って確認した。また、レーザスキャナを障害物回避に供するために考慮しなければならない点についても整理した。スキャナの情報を地上試験装置で評価した場合には、通信及び演算処理により1秒程度の遅延時間が生じていたが、オンボードのフライトコントローラで処理することにより、処理時間をMutiWiiの演算周期である1 msec以下に抑えることができた。そのためレーザスキャナを障害物回避に活用することは十分に可能であるといえる。

今回の実験ではレーザの照射方式としてドット照射を使用した。ライン照射の回転式レーザスキャナを使用すれば上下方向のスキャニングも可能となる。ライン照射であれば上下 $\pm 40^\circ$ 程の範囲を照射できるため、他機ドローンの検出も可能となる。また、障害物を壁としてデータの取得及び評価を行ったが、他機ドローンや標識、電柱等の様々な障害物に対する検知性能についても今後実験データを取得し評価を行っていく。

参考文献

- [1] 上戸祐哉, 金井敦, 谷本茂明, 佐藤周行, 小林透, "超音波センサを用いたドローン衝突回避方式," 第25回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.162-164, 2017.
- [2] 稲荷隆彦, 青木伸也, "三角測量式レーザ距離センサの光学的条件による精度への影響," 自動制御連合講演会論文集 Vol.47, pp605-606, 2004.