

ドローンを活用した計測事例(2)

—MRH型無人航空機の自律制御向上に向けたステレオビジョンセンサの応用—

(有)オリオール 徳島大学
高津 貢 三輪昌史

1 はじめに

ダムなど大型構造物の損傷点検調査のためにMulti Rotor Helicopter (MRH) にカメラを搭載し接近して撮影する場合、MRH自体に衝突防止ならびに一定離隔まで接近して自動航行できる自律制御技術が求められている。この自動航行を実現するためには、GNSS測位障害に頑健で、衝突防止を含めた自律制御技術が必要となる。本論文では、MRHの自律制御技術にステレオビジョンセンサを利用する方式を紹介する。

2 GNSS測位に依存した自動航行の限界

MRHが大型構造物近傍を自動航行で飛行する際、磁気コンパス異常、マルチパス発生でのGNSS測位誤差、GNSS電波遮断によるGNSS測位障害が悪影響を及ぼす(図1)。

磁気コンパス異常は経験上、大型構造物から2 m以上の間隔を保つことで防止でき、仮に異常が発生しても自動的にフィードバック制御で機体の方向を追従させないことで暴走を防止でき飛行を継続できる。

GNSS測位障害はMRHのGNSS測位情報を用いた位置制御および自動航行の停止を起こすため、操縦士の練度

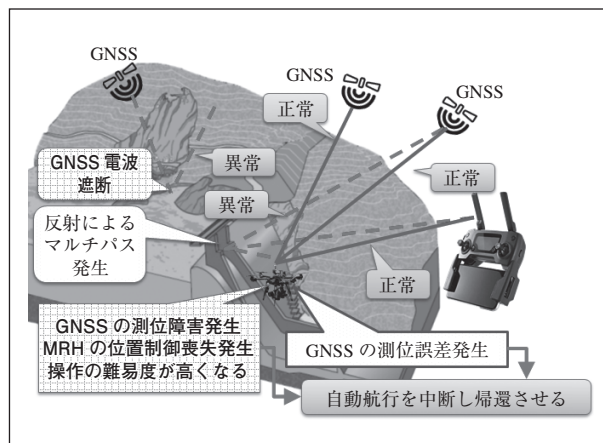


図1 大型構造物がGNSS測位に与える影響

に依存した目視またはFPVによる操縦をすることになり、結果として本来の目的である構造物の空撮が困難になる。つまり、GNSS測位に依存したMRHの大型構造物付近での自動航行には限界があるといえる。

3 GNSSの測位障害がMRHの挙動に与える影響

GNSS測位誤差やGNSS測位障害がMRHの挙動に与える影響を理解するためには、MRHの制御装置(FC:フライトコントローラー)の仕組みについて知る必要がある。MRHは操縦士の操作に従って空中を安定して自在

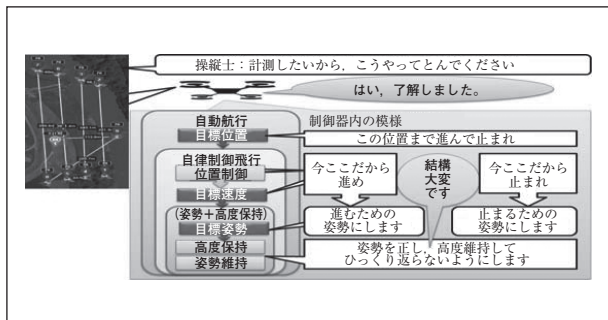


図2 FCの自律制御と自動操縦のしくみ

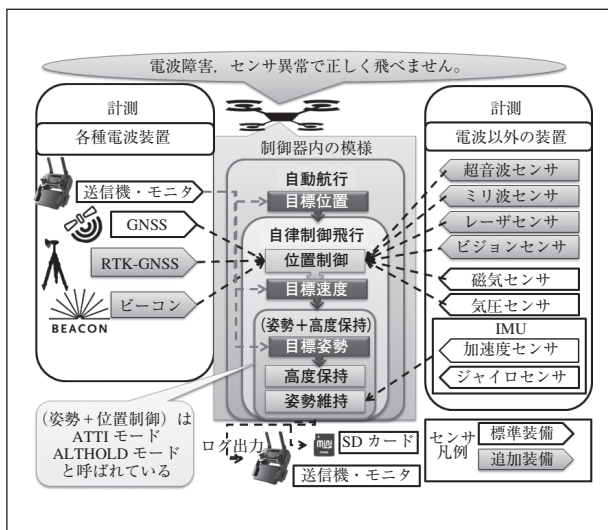


図3 FCの自律制御機能と各種センサ

に飛行できる能力を有しているが、それはMRHに搭載されたFCにより実現される(図2)。FCはMRHの機体姿勢や位置・速度などの状態をセンサで常に把握して機体の自律制御を行っている(図3)。GNSS測位障害は位置制御に影響を与え、さらに上位機能である自動航行も実行不可能になる。

3.1 RTK-GNSS測位でのGNSS測位障害対応の限界

RTK-GNSS測位はGNSSの測位精度を向上できる。しかしGNSS電波のマルチパス発生や測位障害に対しての十分な耐性はないため、GNSS測位障害に頑健で、衝突防止を含めた自律制御技術を実現するセンサを搭載する必要がある。

3.2 GNSS以外の位置制御用各種センサ

GNSS以外でMRHの位置制御に使用できるセンサの一覧を表1に示す。ビーコンを除く各センサは、MRHに搭載して構造物との距離を計測するセンサ(距離センサ)である。

ステレオビジョンセンサはMRHの位置制御で使用する場合、他の距離センサに比べ、2つの優位性を持っている。

- 1) 光学式は物理的干渉が少なく安定している。
- 2) 直交した面から計測した距離、動きベクトル、移動量の検出ができる。

以上の優位性に注目するとともに、表2に示す機能・性能要件にもとづき、本稿ではステレオビジョンセンサを利用する方式を解説する。

4 ステレオビジョンセンサを用いた大型構造物近傍での自動航行

MRHにステレオビジョンセンサを搭載すると、その計測結果から以下の処理を実現でき、結果として大型構造物近傍での安全な自動航行が可能となる。

- 1) 大型構造物との衝突回避制御
- 2) 大型構造物を利用した自律制御の安定性化
- 3) 自動航行におけるGNSS測位の補完

ステレオビジョンセンサから得られる計測情報をMRHの位置制御に使用するには、経験上200ms以内のサンプリング周期が求められる。一方、ステレオビジョ

表1 位置制御に使用できるセンサ

センサ種別	方式	有効距離	計測出力	特性
ビーコン	電波方式		絶対空間座標	構造物の電波干渉が発生
超音波センサ	超音波方式	5m以下	間隔のみ	音波干渉や機体振動の影響での誤動作
ミリ波センサ	電波方式	10m程度	間隔のみ	安定した計測が可能
レーザセンサ	光学式	150m程度	間隔のみ	安定した計測が可能、遠くまで計測
ステレオビジョンセンサ	光学式	12m程度	間隔、動きベクトル	安定した計測が可能、応答速度が速い

表2 ステレオビジョンセンサの機能・性能要件

項目	MRHの位置制御向けのステレオビジョンセンサに求められる要求要件
画像種別	移動体を含まない自然画とする(過度に汚れている等)
計測情報	一番近い構造物からの距離と1つの動きベクトル(方向と移動量、移動速度)
調整時間	100ms未満(目標は60ms以下とする)
計測時間	60ms未満(目標は20ms以下とする)
計測性能	計測可能距離:15m以上、計測距離解像度:4cm以下(近傍)
エラー判定	調整中、計測不能、計測可能の判定を正しく実施できること
実装要件	FPGAへの実装により小型・軽量のチップセットが望ましい

ンセンサの内部処理であるオプティカルフロー計測では、計測時間の長短により求める動きベクトル数の増減や精度の品質が変化する特性があり、MRHの位置制御向けに最適化が必要となる。その他、MRH向けの機能・性能要件を示す(表2)。以下、ステレオビジョンセンサ搭載で実現できる位置制御方式、各種自律制御の飛行方式について説明する。

4.1 ステレオビジョンセンサの位置制御方式

ステレオビジョンセンサでは、センサ正面の大型構造物から距離、動きベクトル、移動距離が計測できる。

一方、位置制御では、現状の状況から目標とする位置への移動と速度(目標状態)に達するフィードバック制御を行っているが、計測情報から目標状態との差が明確に把握できるので位置制御が可能となる。距離だけではなく構造物と直交した面の動きをセンシングして位置制御を実現できるのが、他の距離センサと異なる大きなメリットとなる。

4.2 1) 大型構造物との衝突回避制御

図4の様にステレオビジョンセンサをMRHの機首方向に向ければ、正面にある大型構造物との距離や、機体の動きベクトルを検出でき、位置制御にフィードバックすることで、大型構造物との距離の保持や衝突回避ができる⁴⁾。

※衝突回避は他の距離センサでも実現は容易である。

4.3 2) 大型構造物を利用した自律制御の安定性化

図5の様にステレオビジョンセンサをMRHの下方方向に向ければ、下方にある地面や大型構造物との距離や動きベクトル、移動量を検出でき、位置制御にフィードバックすることで自律制御の安定化ができる⁴⁾。

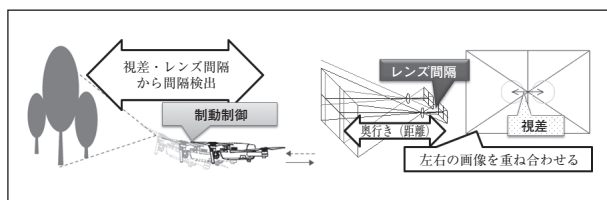


図4 前方視のステレオ計測による衝突回避制御

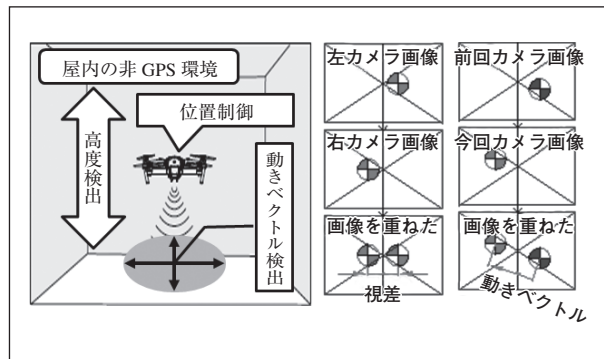


図5 下方視のステレオ計測による自律制御の安定化

4.4 3) 自動航行におけるGNSS測位の補完

ステレオビジョンセンサ計測を用いてGNSS測位を補完することで、GNSS測位障害による位置制御喪失を防止でき、自動航行の継続が可能となる。その補完方法について、飛行状況の順番に従って述べる(図6)。

①大型構造物への接近

GNSS測位によりMRHの現在位置が絶対座標で把握でき、目標状態との差が明確に把握できるので位置制御が可能となる。

②大型構造物近傍(GNSS測位異常発生前)

ステレオビジョンセンサにより大型構造物を計測開始。GNSS測位によるMRHの絶対座標と、MRHに対する大型構造物の相対座標から、大型構造物自体の絶対座標が算出できる。FCは自動航行を継続。

③大型構造物近傍(GNSS測位異常発生後)

ステレオビジョンセンサ計測により、MRHからみた大型構造物の相対座標が継続して得られ、また大型構造物の絶対座標は既知であるので、FCは大型構造物の絶対座標とMRHに対する大型構造物の相対座標からMRHの絶対座標を算出・推定して位置制御を行い、自動航行が継続できる。

④GNSS測位異常とセンサ計測不能の同時発生

③の状態中に構造物から離れると発生する。FCは自動航行を中止して“姿勢+高度保持”に切り替える。よって自動航行を継続しながら離脱させるには、大型構造物に接近した経路に戻りGNSS測位が正常な空間に移動させる航路を指定することで回避できる。

5 最後に

今回の論文をきっかけに、MRHの位置制御向けに最適化された光学式センサの実現に向けて、更なる研究・開発が促進されることを強く願う。ボーイング747の設計安全思想として「どんな危険な状況でも最終手段として操縦士の介入で安全を担保できること」がある。MRHは無入航空機ではあるが操作介入の安全担保が必要で同様である。人間の判断は制御装置に比べるとはるかに遅い。よってMRHでは各種センサと連携した自律制御システムが重要となる。

今回の論文の執筆にあたり、有用性に着目して執筆を薦めてくださった、(株)計測リサーチコンサルタント 部長 西村正三殿、芝浦工業大学 教授 中川雅史殿に、この場をお借りして感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 鈴木真二監修, (一社)日本UAS産業振興協議会, ドローンメカニズムの基礎知識, 日刊工業新聞社, 2018.
- 2) (株)自律制御システム研究所・(株)アトックス著, ミニサーバイヤー教則本(飛行原理から実用まで), (株)自律制御システム研究所, 2015.
- 3) 田邊優, 丸山勉, FPGAを用いたオプティカルフローを用いた高速計算, (一社)電子情報通信学会, 2013.
- 4) DJI MAVIC PRO ユーザーマニュアル V1.6, DJI, 2017.

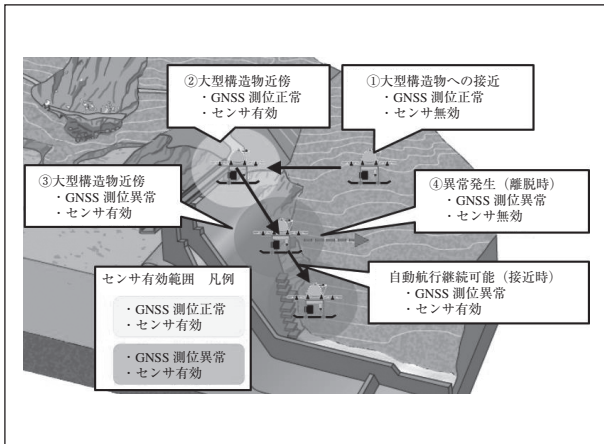


図6 GNSS測位の補完による自動航行の状況

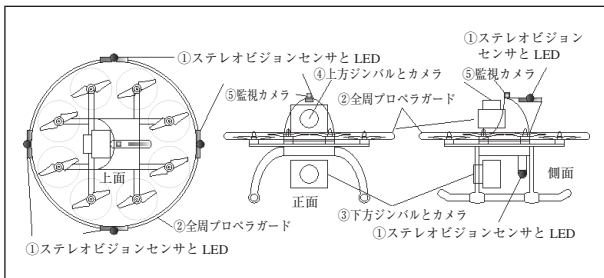


図7 理想的なセンサ配置を行ったMRH

以上から、大型構造物近傍での自動航行が可能となる。

図7に、理想的なセンサ配置を行ったMRHを示す。

4.5 ステレオビジョンセンサを搭載したMRHの使用条件

ステレオビジョンセンサを搭載したMRHが正しく機能する条件として、滑らかに色合いが変化する(適度に汚れている等)構造物であり、対象の移動がないことを前提とする。

実装に際しては、改正航空法の定める各種安全要件を満たすほか、各種機能・性能の安全要件を満たし、機体のID情報の公開、通信による計測情報漏洩を防止する等の公共の安全にも配慮することが大切である。

Application of Stereo Vision Sensor for Improving Autonomous Control of MRH Unmanned Aerial Vehicle

■①Mitsugu Takatsu ②Masahumi Miwa

■①LLC Aureole, CEO ②Tokushima University, Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Associate professor

①タカツ ミツグ

所属：(有)オリオール 代表取締役

②ミワ マサフミ

所属：徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 准教授