

# 複数の GNSS アンテナ搭載 UAV を用いた高精度位置姿勢推定と精密三次元計測

## Precise Position and Attitude Estimation of UAV by Using Multiple GNSS Receivers for 3D Mapping

○正 鈴木太郎 明比建 増渕拓馬 正 天野嘉春 (早大)

Taro SUZUKI, Waseda University, taro@aoni.waseda.jp

Takeshi AKEHI, Takuma MASUBUCHI, Yoshiharu AMANO, Waseda University

This paper describes an accurate attitude determination technique using multiple global navigation satellite system (GNSS) receivers and antennas for small unmanned aerial vehicles (UAVs). A laser survey using a small UAV needs highly accurate position and attitude information for reconstructing 3D models. The proposed technique uses the multiple GNSS antenna's positions computed by the GNSS carrier phase measurements to estimate the UAV's position and attitude. To solve the GNSS carrier phase ambiguity, the reliable ambiguity search is performed with a couple of constraints for the base line vector. The performance of the proposed technique is evaluated in the static test. From the test, the proposed technique could estimate UAV's attitude in 0.1 degree accuracy. Furthermore, the accurate UAV's position could be estimated in almost 100 % availability.

**Key Words:** UAV, Localization, Attitude Estimation, GNSS

### 1. 緒言

近年、衛星、航空機や有人ヘリ等を用いたりリモートセンシングに加え、自律飛行ロボット (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) を用いた上空からの様々な情報収集手法が研究されている。中でも特に、マルチコプタ型の UAV は、空中でのホバリングによる静止観測が可能であり、またペイロードも比較的大きいため、現在このマルチコプタを用いた三次元計測手法が盛んに研究されている[1][2]。

しかしながらマルチコプタを航空測量の代替として利用する場合、搭載可能重量の制限から、有人機で用いられているような高精度な姿勢計測センサを搭載することができない。現在利用されているジャイロによる姿勢計測システムでは、姿勢精度が $\sim 5$ 度程度であり、正確な測量や地図の作成には不十分である。また、UAV の位置計測に関しても、現在多くの UAV で使用されている GNSS (Global Navigation Satellite System) による単独測位の精度は $\sim 3m$ 程度であり、構造物の近くではマルチパスと呼ばれる GNSS 信号の反射波によって測位精度が低下するという課題があった。

従来、このような低ペイロードの飛行体の位置姿勢の推定手法として、地上に座標が既知のマーカを設置し、カメラにより観測する手法[3]が一般的に利用されている。しかしながら、地上にマーカを設置する手法は、マルチコプタの特長である運用性を損なうといった問題がある。

そこで本論文では、マルチコプタに搭載可能な高精度な位置姿勢計測手法の確立を目的とする。具体的には、複数の廉価な一周波 GNSS アンテナ、受信機を機体に搭載し、その相対位置関係から機体の姿勢を推定し、さらに複数の GNSS 受信機の冗長性を用いたマルチパス検出による高精度位置推定手法を構築する。これにより、レーザスキャナを用いた地上の精密三次元計測に利用可能な 0.2 度、5cm 精度で UAV の位置姿勢を計測することを目標とする。

### 2. 複数の GNSS アンテナ搭載 UAV

本研究では、全幅と全長が 1m、搭載可能重量 $\sim 2kg$  のヘキサコプタを対象とし、複数の GNSS アンテナ、受信機を用いた位置姿勢決定システムの構築を行う。マルチコプタでは搭載重量が限られているため、廉価で小型・軽量の 1 周波 GNSS

受信機および GNSS アンテナ 3 台を位置姿勢計測用として用いる。図 1 に制作したプロトタイプのマルチコプタ、図 2 にマルチアンテナ GNSS システムの概要を示す。マルチコプタとして、DJI 社の S800EVO を利用し、u-blox 社の一周波 GNSS 受信機を三台搭載している。GNSS 受信機三台を搭載した GNSS ロガーをマルチコプタに搭載することで、三台の GNSS 観測値を同時に 10Hz で記録が可能である。図 2 に示すマルチ GNSS アンテナシステムの重量の合計は 749g となり、小型マルチコプタに十分搭載できると考えられる。



Fig.1 Prototype multicopter.



Fig. 2 Three GNSS antennas and receivers for UAVs.

### 3. 複数の GNSS アンテナからの姿勢推定

提案手法では、GNSS の観測値である搬送波位相を用いた相對測位を行うことで、搬送波位相の整数値バイアスを求めた Fix 解と呼ばれる cm 精度の測位解を算出し、姿勢を推定する。提案手法では以下のステップで姿勢角を算出する。

(1) Master アンテナ, 2 つの Slave アンテナ間の基線ベクトルをそれぞれ  $b_1, b_2$  とする。Master アンテナと Slave アンテナの GNSS 観測値から、アンテナ間、衛星間の二重差分を算出し、搬送波位相の整数値バイアスを決定することで、高精度に 2 つの基線ベクトル  $b_1, b_2$  を算出する。

(2) 得られた 2 本の基線ベクトル  $b_1, b_2$  から、幾何学的なアンテナの配置を考慮して、マルチコプタの姿勢を決定する。

搬送波位相観測値の整数値バイアスの決定には広く RTK (Real-Time Kinematic) -GNSS 手法で用いられている LAMBDA 法[4][5]を利用する。廉価な一周波 GPS 受信機・アンテナを使用した場合、測量等で用いられる二周波 GNSS 受信機と比較して、観測値の数が少なく正確な整数値バイアスの決定に失敗する場合がある。そのため、2 つの基線ベクトルの長さが既知であるという拘束条件、さらに 2 つの基線ベクトル間の角度が既知であるという拘束条件を用いて、搬送波位相の整数値バイアスを決定することで、正確なアンテナ間の基線ベクトルの算出が可能になる。

### 4. 複数の GNSS アンテナからの位置推定

構造物の近くなどマルチパスが発生する環境では RTK-GNSS による Fix 解が求まらず、Fix 率が低下しその結果位置が高精度に推定できないという課題がある。そこで本論文では、複数の GNSS 受信機の冗長性を用いたマルチパス検出による測位精度向上手法を提案する。提案手法の前提として、前章で示した手法により UAV の姿勢角が既知ならば、3 つの GNSS アンテナのうち少なくとも 1 つのアンテナの位置が分かれば UAV の位置が算出可能である。

図 3 に提案手法の概要を示す。複数の GNSS アンテナにおいて、マルチパスが発生する環境では同一衛星からの信号はそれぞれ異なる経路で入力される。このため、複数のアンテナ間で異なるマルチパス誤差が発生するため、(1)複数の GNSS アンテナの Fix 解を合成する、(2)複数の GNSS 間で同じ衛星からの信号強度(SNR)がばらつく場合、マルチパスとして棄却する、という二つの手法を組み合わせることで Fix 率を向上させる。この手法では、どれか一つの GNSS 受信機から Fix 解が得られれば、機体の高精度位置が算出可能であり、また複数の GNSS 受信機間の SNR のばらつきを検出することでマルチパス削減が可能である。

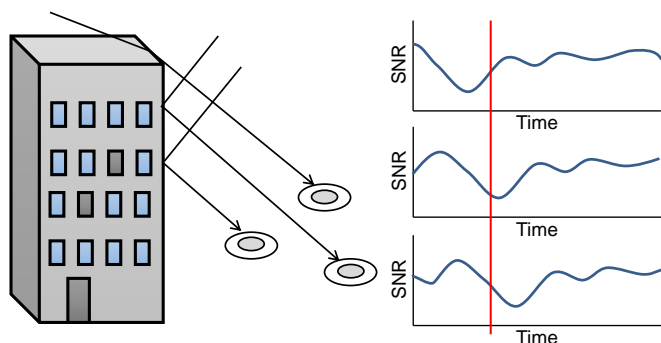


Fig.3 Multipath signals and SNRs in multiple GNSS antennas.

### 5. 評価試験

実際の GNSS 環境における位置姿勢の推定精度を検証するために地上静止試験を行った。図 4 に実験環境を示す。周囲が建物に囲まれた環境において、数分間の計測を行った。

まず姿勢角の推定において、通常の LAMBDA 手法を用いた解析では Fix 率が 68.1%だったのに対し、提案する基線長拘束条件を用いた姿勢推定手法では Fix 率が 99.6%と大幅に向上した。提案手法による姿勢角の誤差の標準偏差はそれぞれ、ロール角 0.30 度、ピッチ角 0.23 度、ヨー角 0.07 度となった。従来の小型 UAV の姿勢角精度が $\sim$ 5 度であるのに対して、提案システムでは姿勢計測精度の大幅な向上を確認した。

次に位置推定においては、通常の方法ではそれぞれのアンテナの Fix 率が 67.2%, 82.4%, 80.0%であったが、マルチパス検出手法と Fix 解の合成により、最終的な提案手法の Fix 率は 99.9%となった。以上により、マルチパスが発生する環境においても高精度な位置推定が可能であることを確認した。



Fig.4 Test environment (static test).

### 6. 結言

本論文では、1m サイズの小型マルチコプタに搭載可能な、高精度な位置姿勢計測手法を確立することで、地上の精密三次元計測を実現することを目的とした。複数の廉価な一周波 GNSS アンテナ、受信機を機体に搭載し、その相対位置関係から機体の姿勢を計測し、また複数の GNSS アンテナの冗長性からマルチパスを検出し通常の GNSS では大きな測位誤差が発生する場所において高精度な位置を推定する手法を構築した。

地上静止試験での評価では、姿勢計測精度の大幅な向上を確認し、三次元計測に利用可能な 0.2 度精度での姿勢推定を達成した。また位置推定においても、Fix 率が大幅に向上し、提案手法により高精度に位置が推定できることを確認した。

今後の課題として、飛行試験による推定精度の評価と、計測した位置姿勢情報を用いた三次元計測の実現に取り組む予定である。

### 参考文献

- [1] F. Remondino, L. Barazzetti, F. Nex, M. Scaioni, D. Sarazzi, "UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling—current status and future perspectives," *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38, 2011.
- [2] Nex F, Remondino F, "UAV for 3D mapping applications: a review," *Appl Geomatics* 6(1), pp.1–15, 2014.
- [3] Rui Hirokawa, et al., "A Small UAV for Immediate Hazard Map Generation", *Proc. of AIAA Infotech@Aerospace 2007 Conference and Exhibit*, pp.153-158, 2007.
- [4] P. J. G. Teunissen, "Least Squares Estimation of the Integer GPS Ambiguities," *Invited lecture, Section IV Theory and Methodology, IAG General Meeting, Beijing, 1993.*
- [5] P. J. G. Teunissen, "The LAMBDA method for the GNSS compass," *Artif Satell* 41(3), pp.89–103, 2006.