

建設現場での UAV 利用時における無線通信品質の実測による一検討

湘南工科大学 正会員 ○宗 秀哉, 渡邊純矢
株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク 正会員 横山 壮, 春田健作
株式会社富士ピー・エス 杵築和弘
株式会社桑原組 東 雄介

1. はじめに

国土交通省では建設現場の生産性を 2025 年度までに 2 割向上させることを目指しており、様々な生産プロセスで ICT 等を活用する i-Construction を推進している [1]. 橋梁等のインフラ設備点検や建設現場の施工管理のために無人航空機 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) の利用が検討が進んでいる [2]. これまで、UAV は障害物の少ない開けた空間で使用されることが多く、建設現場のように建設中の構造物や建機が存在する場所での飛行は少ない. 構造物により反射波が多く発生し、無線通信の品質の低下の原因となるため、建設現場において安全安心に UAV を運用するには、電波の特性を明らかにする必要がある. 上空における電波伝搬に関する検討 [3] が行われているが、UAV を建設現場で使用した際の電波伝搬の検討は多くない. そこで本論文では、UAV が送信するパケットをキャプチャすることで受信電力強度を測定し、建設現場における UAV の電波伝搬特性を明らかにする.

2. 無線通信の品質低下につながる要因

無線通信の品質が低下する要因として、1) 電波の距離減衰、2) 反射波によるフェージング、3) 同一周波数を用いた他システムからの干渉波、がある. これらについて説明する.

1) 距離減衰に関して、遮蔽物が少ない環境において UAV を使用する場合、UAV とコントローラ (プロポ) 間の電波伝搬は自由空間における電波伝搬とほぼ同等となる. プロポと UAV 間の距離を r (m) としたとき、見通し環境における自由空間損 L (dB) は

$$L \text{ (dB)} = 20 \log(4\pi r/\lambda) \quad (1)$$

と表すことができる. ここで、 λ は使用周波数の波長を表し、2.462 GHz (無線 LAN の 11 ch における中心周波数) において約 0.12 m となる. つまり、UAV までの距離の 2 乗に反比例して、電波が減衰する.

2) 建設現場では、構造物からの反射波によりフェージングが発生し損失が増大するため、伝搬損失は (1) よりも大きくなる. 構造物が存在する環境における伝搬損失の推定法として、幾何工学に基づくレイトレーシング法が検討されている [4]. レイトレーシング法は、構造物をモデル化し、電波をレイとみなすことで受信点における受信電力をシミュレーションにより求めることができる. しかしながら、建設現場は日々構造物が変化するため、変化毎にモデル化してレイトレーシング法を用いることは現実的ではない.

3) UAV が使用する周波数帯域の多くは 2.4 GHz 帯を用いている. 2.4 GHz 帯は免許不要のアンライセンス帯であるため、無線 LAN や Bluetooth といった様々な無線システムからの電波干渉が問題となる. 現状の建設現場では周囲で使用されている他無線システムが多くないため電波干渉の影響は少ないが、将来的に建設現場の ICT 化が進むことにより様々な無線システムの運用が運用され電波干渉の影響がでる可能性がある.

建設現場で安全安心に UAV を運用するためには、これら要因が無線通信に与える影響を考慮した上で飛行させることが重要となる.

3. 実測結果

本論文では、建設現場での UAV の使用における電波状況を明らかにするため、実現場にて測定を行い、無線通信の品質を明らかにする. 測定環境として、構造物が存在しない空間 (滋賀県野洲市河川敷建設現場) と構造物が存在する空間 (静岡県賀茂郡河津町建設現場) を選定した. 無線通信では、UAV - プロポ間の電波

キーワード i-Construction, インフラ点検, 施工管理, UAV, 電波伝搬

連絡先 〒 251-8511 神奈川県藤沢市辻堂西海岸 1-1-25 湘南工科大学 Mail: so.hideya@m.ieice.org

の受信電力の強さが通信の品質に影響する。そこで、UAV が送信する無線 LAN のパケットを MacBook Pro (13 インチ, 2018) を用いてキャプチャし、その受信電力 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) を測定した。キャプチャしたパケットの RSSI を 500 ms 毎に平均化した。使用周波数は無線 LAN の 11 ch を用いた。

まず、構造物が存在しない空間における、UAV までの距離 r に対する受信電力を図 1 に示す。UAV の高度は 15 m とし、プロポに対して UAV が正面と後方となる 2 種類の向きで測定した。比較のため、(1) から求めた伝搬損失の理論曲線も示す。理論曲線と較べて、実測結果は傾向が一致している。プロポに対して UAV が正面を向いている方が後方を向いている場合よりも RSSI が約 10 dB 劣化していることがわかる。これは、UAV の後方にアンテナが配置されているため、アンテナが直接見えなくなると受信電力が低下する。UAV を長距離飛行させる場合には、アンテナの向き (UAV の向き) を意識して操縦することが、RSSI の観点から重要となる。また、UAV との距離が 100 m を超えると、プロポの映像に乱れが発生し、飛行中の映像を確認することが困難になる。今回の結果より、RSSI が -85 dBm を下回る状況において映像伝送が不安定になることがわかる。

つぎに、構造物が存在する空間における、UAV の位置に対する RSSI を図 2 に示す。UAV の高度は 12 m とした。構造物が存在しない場合と同様に、測定点に近い場所では RSSI が高くなる傾向にある。一方で、測定点から橋脚やクレーンといった構造物の裏側を UAV が飛行する際には、RSSI が著しく低下していることがわかる。これら構造物によって UAV - プロポ間の直接波が遮蔽され、RSSI が低下したと考えられる。また、クレーン後方は全体的に RSSI が低くなるが、橋脚から離れた場合には RSSI が高くなることが確認できる。クレーン周辺にその他構造物が多数存在しており、反射波により RSSI が低下している。一方で、橋脚周辺には構造物が存在しないため、電波の回り込みにより橋脚から離れることにより RSSI が高くなる。UAV の高度が構造物に対して低い場合、構造物による遮蔽が RSSI 低下の原因となることがわかる。

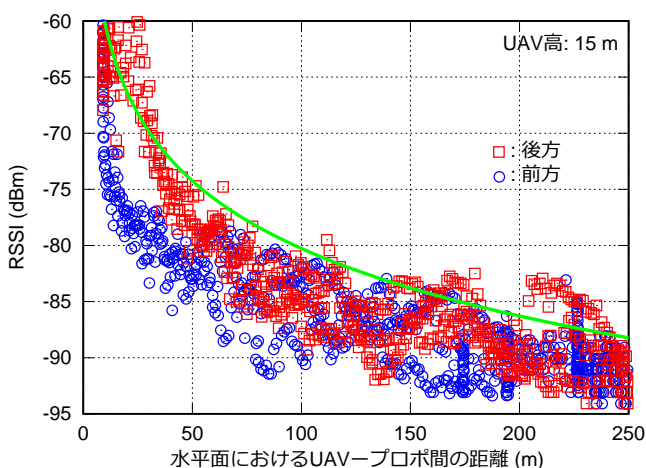


図 1: 距離に対する受信電力の実測値



図 2: 構造物による受信電力への影響

4. まとめ

安全安心な UAV 運用のため、建設現場における UAV の電波伝搬特性をパケットキャプチャにより明らかにした。構造物のない環境では、理論式と同様傾向が得られた。構造物がある環境では、直接波が遮蔽されることによって受信電力が低下することがわかった。今後は、別の構造物が存在する環境での測定や、電波干渉が存在する建設現場における測定を行い、UAV の無線通信の品質を明らかにしていく。

参考文献

- [1] 国土交通省: i-Construction 推進コンソーシアム, <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>
- [2] 横山 壮 他: UAV 及び建設マネジメントシステムを用いた生産性向上の取組みについて, 令和 4 年度土木学会全国大会, 2022 年 9 月.
- [3] 鈴木 信雄, 松野 宏己, 吉岡 達哉, 鈴木 利則: ドローン運用のための上空電波環境の推定, *Technical Journal of Advanced Mobility*, vol. 1, no. 1, pp. 24-31, 2020 年 11 月.
- [4] 今井 哲朗: 電波伝搬解析のためのレイトレーシング法, コロナ社, 2016 年.