

THE IEICE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS (JAPANESE EDITION)

IEICE 電子情報通信学会 B 論文誌

通 信

VOL. J106-B NO. 9
SEPTEMBER 2023

本PDFの扱いは、電子情報通信学会著作権規定に従うこと。
なお、本PDFは研究教育目的（非営利）に限り、著者が第三者に直接配布することができる。著者以外からの配布は禁じられている。

通信ソサイエティ

一般社団法人 電子情報通信学会

THE COMMUNICATIONS SOCIETY

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

研究速報

Wi-SUN を用いた RTK 補正情報の送信システムの試作

坂中 勇太[†] 鈴木 一哉^{††a)} (正員)

A Prototype of RTK Correction Information Transmit System Using Wi-SUN

Yuta SAKANAKA[†], Nonmember and Kazuya SUZUKI^{††a)}, Member[†] 秋田県立大学大学院システム科学技術研究科, 由利本荘市

Graduate School of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University, Yurihonjyo-shi, 015-0055 Japan

^{††} 秋田県立大学システム科学技術学部, 由利本荘市

Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University, Yurihonjyo-shi, 015-0055 Japan

a) E-mail: kazuya-suzuki@akita-pu.ac.jp

DOI:10.14923/transcomj.2023JBL4004

あらまし 本研究では、農地のような広大な土地において RTK 測位を使うために、Wi-SUN を用いた RTK 補正情報送信システムを提案する。試作したシステムを用い、実際に RTK 測位ができることを確認した。

キーワード LPWA, Wi-SUN, RTK 測位

1. まえがき

近年、農機の自動運転において、精度の高い位置情報測位システムが必要とされている。精度の高い測位の実現には、GNSS を用いた RTK 測位が広く用いられている [1]。RTK 測位では、基準局から移動局へ補正情報を送信する必要がある。広大な農地での利用を想定した場合、数百 m 先と通信可能な無線技術が必要である。この無線技術の候補として、低消費電力で長距離通信可能な無線技術である LPWA(Low-Power Wide-Area) の一種である LoRa や Wi-SUN が挙げられる。LoRa の通信可能距離は最大 40 km [2]、Wi-SUN は 400 m [3] であることが確認されている。LoRa は Wi-SUN よりも通信可能距離は長い、伝送速度が低く、RTK 補正情報を送信することができない。そこで本研究では、Wi-SUN を用いた RTK 補正情報送信システムを提案する。実際に試作したシステムを用い、RTK 測位が可能であるか評価したので、その結果を報告する。

2. RTK 測位

RTK 測位とは、二つの受信機から衛星までの距離を搬送波の位相を使って求める方式である干渉測位の一種であり、設置場所の位置を正確に分かっている基準局は、観測したデータから補正情報を生成して、位置を算出したい移動局へ何かしらの無線を利用して伝送し、移動局で観測したデータと組み合わせることで数

cm 単位でのリアルタイム測位が可能となる測位方式である。受信機に搬送波が到達した際に、衛星から受信機までの全体の波のうち観測した波数の小数部を除いた整数部の波数は不明である。この未知である整数値を整数値バイアスと呼ぶ。RTK 測位はこの整数値バイアスを求めることで数 cm 単位の測位を可能とする。整数値を決定するまでの間を実数値を使用した測位解を Float 解といい、その測位誤差は数 m である。整数値が決定した後の測位解は Fix 解と呼ばれ、その測位誤差は数 cm 単位となる。RTK 補正情報をやり取りする際のメッセージのフォーマットは米国船舶電波技術委員会 (Radio Technical Commission For Maritime Services) が定めており [4]、本論文では RTCM メッセージと呼ぶ。

RTK 測位を行う場合、基準局が生成した補正情報を何らかの方法で移動局まで送る必要がある。RTK 補正情報の送信をインターネット上にて行うためのプロトコルが NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) である [5]。NTRIP は HTTP をベースに作られた TCP 上のプロトコルである。基準局で生成された RTK 補正情報は、NTRIP を用いて、いったん NTRIP Caster と呼ばれるサーバーへ送られる。RTK 補正情報を必要とする移動局は、NTRIP Caster に TCP で接続し、NTRIP を用いて RTK 補正情報を受け取る。

3. 提案システム

3.1 無線技術の選定

RTK 補正情報の単位時間当りのデータ量は、条件によって変動はあるが、文献 [4] では約 6 kbps とされている。LoRa の最大伝送速度は約 5 kbps [6] である。ARIB の規定 [7] により 1 時間当りの送信時間総和が 360 秒以下と定められているため、LoRa の実効伝送速度は 500 bps 程度になると考えられる。そのため、本研究では RTK 補正情報の送信に最大伝送速度が 100 kbps である Wi-SUN を用いることとした。

3.2 提案システムの構成と動作

提案システムの構成を、図 1 に示す。基準局と NTRIP Caster は、NTRIP を使用する従来システムと同じものを使用した。

NTRIP を用いて NTRIP Caster から受け取った RTK 補正情報を、Wi-SUN のフレームに載せて送信するプログラムを作成し、Wi-SUN モジュールを接続した Raspberry Pi 上で動作させたものを中継局とした。このプログラムでは、一つの Wi-SUN フレーム内に複数の RTCM メッセージを詰め込むようにし、1 秒に 1

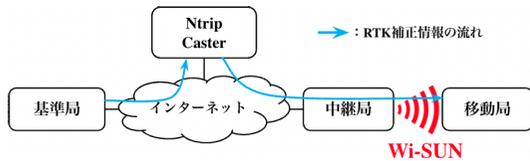


図1 RTK 補正情報の送信に Wi-SUN を用いたシステム
Fig.1 The proposed system.

表1 Wi-SUN パラメータ
Table 1 Wi-SUN parameters.

項目	内容
周波数	920 MHz 帯
チャンネル幅	400 kHz
変調方式	Filtered 2FSK
送信出力電力	20 mW

度送信するようにした。このとき、もし一つの RTCM メッセージが分割され複数の Wi-SUN フレームにて送られるとすると、これらのフレームのうちいずれか損失した場合、受信側で RTCM メッセージを復元することができない。このことを避けるために、一つの RTCM メッセージが複数の Wi-SUN フレームに跨らないようにした。

また Wi-SUN モジュールと RTK 測位に対応した GNSS モジュールを接続した PC を移動局とした。移動局上では Wi-SUN で受け取った RTK 補正情報を STRSVR に送る自作プログラムと、STRSVR を動作させた。この STRSVR は、GNSS 測位に関するオープンソースプログラムのパッケージである RTKLIB [9] に含まれるソフトウェアである。STRSVR は、自作ソフトウェアから受け取った RTK 補正情報を GNSS モジュールに送り、GNSS モジュールから RTK 測位結果である位置情報と測位状態（得られた位置情報が Fix 解なのか否か）を受け取り、ログに記録する。

提案システムを用いて RTK 測位を行う際の動作を以下に示す。

- (1) 基準局は、衛星から取得した観測データから RTK 補正情報を生成して NTRIP Caster へ送信する。
- (2) 中継局は、NTRIP Caster から RTK 補正情報を受け取り、Wi-SUN を用いて移動局へ送信する。
- (3) 移動局は、中継局の Wi-SUN から取得した RTK 補正情報と実機で取得した観測データを用いて測位をする。

Wi-SUN モジュールには、ROHM 社製の BP35C0 [8] を用いた。このモジュールにて使用した Wi-SUN のパラメータを表 1 に示す。

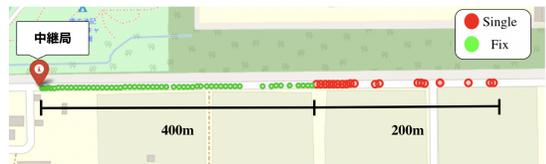


図2 提案システムを用いた RTK 測位の結果
Fig.2 Positioning results of the proposed system.

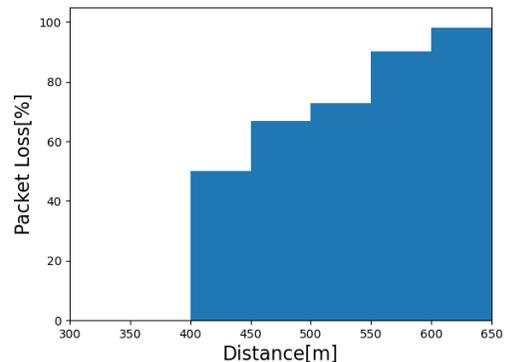


図3 中継局からの距離とフレーム損失率の関係
Fig.3 Relationship between distance and frame loss ratio.

4. 評価

4.1 評価方法

評価は、秋田県立大学アグリイノベーション教育研究センター (AIC) の全長 1.2 km の見通しの良い直線で行った。基準局は、AIC が公開している 2 周波対応の基準局を NTRIP Caster 経由で使用した。中継局は三脚を用いてアンテナの高さを 180 cm に設定した。また、移動局は車両の上に GNSS、Wi-SUN のアンテナを設置し、時速 20 km で移動して測位を行った。

4.2 RTK 測位の可否に関する評価

提案システムを用いて、実際に RTK 測位が可能であるかを評価した。図 2 は、提案システムを用いて、中継局の Wi-SUN から送信された RTK 補正情報を取得できた地点の測位状態を表示した図である。中継局からおおよそ 400 m 付近までは、Wi-SUN からフレームを受け取ることができており、Fix 解を取得可能であることが確認できた。しかし、400 m 以遠の地点では、Wi-SUN からフレームを一部受信できているにもかかわらず、移動局単独で測位を行う状態 (Single) となっている。

4.3 距離とフレーム損失率の関係

400 m 以遠の地点で Single 状態となる原因を調べるため、通信ログから通信距離とフレーム損失率の関係調べた (図 3)。通信距離が 400 m 以下の地点は、フ

フレーム損失率が0であるが、通信距離が400 m以上になると、フレーム損失が生じていることが確認できる。そのため、Wi-SUNの通信距離が長距離になるにつれてフレームを取得できないことが、RTK測位に悪影響を及ぼしていると考えられる。

5. むすび

本研究では、農機の自動運転などでの高精度な位置測位実現のために、Wi-SUNを用いてRTK補正情報を送信することでRTK測位を実現するシステムを提案した。提案システムを用いた評価を行い、中継局からおよそ400 m程度の距離であればRTK測位が可能であることを確認した。

Wi-SUNが使用する920 MHz帯は、ドローンに搭載し、上空から利用することが許されている。また、Wi-SUNはマルチキャストにも対応しているため、中継局から送信したRTK補正情報を複数のドローンが受信して利用することも可能であると考えられる。今後、これらの応用について検討していきたい。

本システムにおける中継局を複数台設置することで、今回評価を行ったAICのような広大な敷地で使用することが可能となる。南北方向に約1.2 km、東西方向に約1.7 kmの長さがあるAICの敷地で使用する場合、単純計算で中継局が6台あれば敷地の大半をカバーできる。

しかし実際には、圃場の中など中継局を置けない場所もあるため、更に多くの中継局が必要になると考えられる。中継局が多くなると、台数に応じて中継局自体のコストや中継局をインターネットに接続するためのコストがかかる。そのため、1台の中継局がカバー

できる範囲が、より広くなることが望ましい。今回の評価では中継局から400 m以上離れた地点では、フレーム損失が生じるため、Fix解を求めることができなかった。400 m以上離れた地点でのRTK測位を実現するために、他のLPWA方式の利用、無線パラメータの調整、アンテナの設置位置の調整などを検討したい。

文 献

- [1] H. Suna, D.C. Slaughtera, M. Pérez Ruizb, C. Glievera, S.K. Upadhyayaa, and R.F. Smithc, "RTK GPS mapping of transplanted row crops," *Computers and Electronics in Agriculture*, ISSN: 0168-1699, vol.71, no.1, pp.32-37, 2010.
- [2] 坂中勇太, 高橋拓也, 鈴木一哉, "受信アンテナの違いによるLoRa無線の到達距離測定," *信学総大*, B-11-2, 2020.
- [3] 荘司洋三, "地域におけるWi-SUNとスマートフォンの融合利活用による徘徊高齢者創作支援システム," *信学通誌*, vol.11, no.1, pp.39-47, 2017.
- [4] Radio Technical Commission For Maritime Services, "RTCM standard 10403.3 differential GNSS (global navigation satellite systems) services - version 3."
- [5] Radio Technical Commission For Maritime Services, "RTCM standard 10410.1 networked transport of RTCM via internet protocol (NTRIP) - Version 2.0. RTCM," 2011.
- [6] 鈴木一哉, 森本昌治, 岩井孝法, "IoT技術の最新動向," *信学通誌*, vol.12, no.1, pp.12-20, 2018.
- [7] 電波産業会, 920 MHz帯テレメータ用, テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備, ARIB STD-T108 version 1.3, 2019.
- [8] "BP35C0 Wi-SUN対応無線モジュール," <https://www.rohm.co.jp/products/wireless-communication/specified-low-power-radio-modules/bp35c0-product>.
- [9] "RTKLIB: An open source program package for GNSS positioning," <http://www.rtklib.com/>.

(2023年1月30日受付, 4月25日再受付,
5月17日早期公開)