

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04380

研究課題名(和文) 実環境下における無人航空機を用いたユーザ位置検出手法に関する研究

研究課題名(英文) Study on user position detection method using unmanned aerial vehicles under practical communication environment

研究代表者

石川 博康 (ISHIKAWA, Hiroyasu)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：20536495

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：無人航空機システム(UAS)では、通信機能を搭載した無人航空機(UAV)が上空を巡回飛行することにより、送受信信号にドップラーシフトが生じることから、複数のUAVで観測することにより、通信端末を所持するユーザの位置検出が可能となる。本研究では、ユーザ周辺の建物や地形の影響により発生するマルチパスや信号減衰、UAVの飛行位置制御誤差、送受信機で生じる周波数オフセットなど、様々な劣化要因を考慮したシミュレーション評価や実験を行うと共に、これら劣化要因の対策・軽減技術として、周波数オフセットとユーザ位置を同時に推定する手法やドップラーシフトを複数回観測する位置検出精度改善手法を提案している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無人航空機を用いた位置検出手法において、様々な劣化要因を考慮した研究開発は学術的にも意義が高く、ドップラーシフトに含まれる周波数オフセットの推定・補償手法、マルチパス環境下における位置検出精度改善のための測位演算アルゴリズムなどの研究課題は学術的に意義が高いだけでなく、本研究に基づくユーザ位置検出手法を実現できれば、災害時や緊急時、山岳地域などにおける遭難時など、携帯電話等の通常の通信手段の利用が困難な状況において、CW波の送信機能を有する簡易な端末を保有するユーザの存在位置の発見が早期かつ高精度に行うことが期待でき、人命救助という社会的な貢献の観点からも極めて意義が高いものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In the unmanned aircraft systems (UASs), several unmanned aerial vehicles (UAVs) are used to provide services over a large area. Here, the carrier frequencies of the transmitted and received signals experience Doppler shifts due to the variations in the line-of-sight velocity between the UAV and the terrestrial terminal.

This study aims to present positioning accuracy performance of the proposed user position detection system based on Doppler shift distributions considering several degradation issues such as multipath and signal attenuation caused by the influence of buildings around the user, and UAV flight position control error, frequency offsets caused by oscillators, as well as countermeasures and mitigation technologies for these degradation factors. As a result, we propose a method for estimating frequency offset and user position simultaneously and a method for improving position detection accuracy by observing Doppler shift multiple times.

研究分野：無線通信工学

キーワード：無人航空機 ドップラーシフト ユーザ位置検出 最小二乗法 マルチパス 三次元測位 周波数オフセット 多重観測

1. 研究開始当初の背景

(1)無人航空機システム

東日本大震災以降、自律飛行を行う無人航空機 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) と地上装置で構成される無人航空機システム (UAS: Unmanned Aircraft System) の研究・開発が積極的に行われており[1]-[2]、大規模災害時の情報収集や一時的な無線ネットワーク機能の提供など、耐災害通信システムを構築するツールとして期待されている。ここで、地震や津波などによって通信基地局が倒壊した場合、中継機能を搭載した UAV を被災地の上空で旋回させることにより、地上制御局を介して地上端末をネットワークに接続することが可能となる。また、輻輳が生じて通信規制が行われた場合、ネットワーク接続されている UAV が無線通信ネットワークの提供やデータオフロードとしての役割も果たすことが可能となる。

UAS では 2~5GHz の周波数帯の利用が想定されており[1]、2012 年に開催された TU-R 世界無線通信会議 (WRC) では、全世界の 5030~5091 MHz の周波数が UAS の制御チャンネルに配分されることが決定している[3]。また、ドローンを想定した無人移動体画像伝送システムについて、一般業務用として平成 28 年 8 月に制度化がなされ、高画質で長距離な映像伝送を可能とするメイン回線用として、2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯等の周波数が新たに確保されている[4]。

(2)無人航空機による無線中継

UAV の種類としては一般的な固定翼タイプのものと、ドローンのようなヘリコプタタイプのものが存在する[5]が、近年は遭難者の発見や人命救助を目的としたドローンの活用検討が積極的に行われている。通常、スマートフォンなどに実装されている GPS 受信機を用いて位置検出を行い、通信回線を通じて結果を制御局側に通知することによりユーザ位置を正確に把握することができる。しかしながら、災害時や遭難時にはユーザ端末のバッテリー消費を極力抑える必要があることから、GPS 受信機に頼らない位置検出手法も代替手段として検討する必要があるものと考えられる。

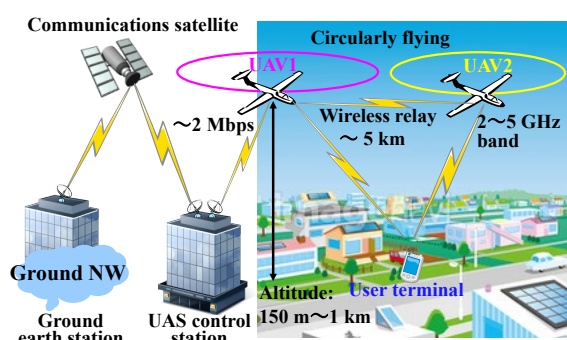


図1 UASシステムの構成例

図1に示すように、UASでは、時速40~100km/hで高度150~1000mの上空を固定翼タイプのUAVが周回することを想定しており、地上制御局においてGPS受信機を搭載したUAVの飛行位置をリアルタイムに把握することができる[1]。そのため、地上のユーザが所持する端末から送信する信号をUAVで受信することによって、地上端末-UAV間の通信回線の搬送波周波数にドップラーシフトが生じ、その値からUAVを中心とする双曲面を複数描くことにより、それらの交点としてユーザ位置を地上制御局で検出することができる[6]。

2. 研究の目的

(1)実環境下におけるUAVを用いたユーザ位置検出手法の特性評価

UASでは、通信機能を搭載したUAVが上空を旋回飛行することにより、送受信信号にドップラーシフトが生じる。これを複数のUAVで観測することにより、通信端末を所持するユーザの位置検出が可能となることから、災害・遭難時などの人命救助手段としての利用が期待できる。

そこで本研究では、UAVを用いるユーザ位置検出手法において、ユーザ周辺の建物や障害物、地形の影響により発生するマルチパスや信号減衰などの伝搬路特性、上空の気流の影響に伴うUAVの飛行位置制御誤差、送受信機が搭載する発振器や回路等により生じる周波数オフセットや受信機雑音など、実環境を想定して様々な劣化要因を考慮したシミュレーション評価を行うと共に、これら劣化要因の対策・軽減技術や位置検出精度改善手法等を提案し、簡易かつ省電力なユーザ位置検出システムとしての有効性を明らかにすることを目的としている。

(2)ドップラーシフト多重観測手法の適用による測位精度改善

ドップラーシフトを複数のUAVに対して同時に、もしくは1機のUAVに対して複数の時刻で観測し、UAVの位置情報を利用することにより、地上のユーザの位置検出が可能となる。ここで、ドップラーシフトの観測回数を複数回に拡張して最小二乗法を適用することにより、測位精度を更に改善することが期待できる。

そこで本研究では、2機もしくは3機のUAVが8の字飛行や円周飛行を行うモデルを対象として、ドップラーシフトの観測回数を2回から3回以上に拡張し、得られる測位精度の改善量を比較・評価するとともに、ドップラーシフトの適切な観測回数とUAVの初期配置の影響につ

いて検討することを目的としている。その際、従来の二次元測位だけでなく、高度情報も含む三次元測位手法も測位緯度改善の対象としている。

3. 研究の方法

(1) 実環境モデルを想定した特性評価

UAV-ユーザ端末間の電波伝搬モデルの構築を目的として、レイトレーシング法に基づく電波伝搬解析用ソフトウェアツールである RapLab を導入し、都市環境モデルや山岳モデルなど、様々な条件で特性評価を行った。具体的には、UAV-ユーザ端末間の基本的な電波伝搬モデルとして、大学キャンパスとその周辺部の建物を模擬した 3D モデルを作成し、地上高 1m の固定端末からトーン信号 (周波数=5.060GHz、送信電力=1W) を送信し、上空 150m を時速 40km で周回飛行する 1 機の UAV(Rx) が受信する場合を想定してシミュレーション評価を行った。さらに、①都市環境エリア 3D モデル、②山岳エリア 3D モデルに分類して作成し、上空 200m を 100km/h で周回飛行、並びに、8 の字飛行する 1 機の UAV(Rx) が受信する場合を想定してシミュレーション評価を行った。その際、ビル等の建物や複数の山の斜面によって発生するマルチパス波を正確に模擬し、受信信号の強度分布とドップラーシフト分布を様々な条件下で取得・解析した。

(2) 三次元測位手法への拡張とドップラーシフト多重観測手法の採用

従来は二次元測位に基づく評価を行っていたが、新たに三次元の位置検出が可能なモデルへの拡張を行うとともに、実用面の観点から UAV と地上端末の周波数クロック差に基づくドップラーシフト観測値に含まれる周波数オフセット量を最小二乗法に基づき推定する手法の研究を行った。その際、ドップラーシフトの観測回数を 2 回~6 回に拡張し、多重観測に基づく測位精度の改善効果をシミュレーションにより詳細に評価した。その結果、観測回数を 2 回に増やすことにより顕著な改善量が得られ、さらに 4 回まで拡張すると高精度の位置検出が実現可能であることを明らかにした。その他、周波数オフセットを同時に推定・補償する手法を新たに提案し、比較的高精度に動作可能であることを確認した。

4. 研究成果

(1) 最小 2 乗法の初期値選定手法の実用性評価

演算処理法である逐次計算の適切な初期値を自動的に選定するアルゴリズムの有効性を検証するためのシミュレーション評価・解析結果を論文として投稿し、採録された。初期値選定アルゴリズムは、ドップラーシフトにより得られる双曲線の直線近似により初期値の候補を簡易に提供するとともに、測定したドップラーシフトの正負の符号と UAV の速度ベクトルの法線ベクトルを用いた判定手法を適用し、時間間隔を経て複数回同様の処理を行うことにより、適切な初期値を正しく選定することが可能である。シミュレーションの結果、提案した逐次計算のための初期値選択アルゴリズムを適用することにより、高い確率で正常にユーザ位置検出が可能になること、並びに、初期値を既知 (ユーザ位置) とした場合とほぼ同等の位置検出誤差特性を示すことを明らかにした。

(2) 最大・最小位置検出誤差推定方式

観測したドップラーシフトにより作られる双曲面上に形成される双曲面上のユーザ位置における勾配ベクトルのなす角を用いて位置検出誤差を推定する手法を取り纏めて論文として投稿し採録された。ここで、2 機の UAV_i、UAV_j で時刻 t に観測されたドップラーシフトにより作られる双曲面上のユーザ位置における勾配ベクトルを $\nabla f d_i(t)$ 、 $\nabla f d_j(t)$ とするとき、それらの内積の余弦の絶対値は次式で定義される。

$$\cos \varphi_{ij} = \frac{\nabla f d_i(t) \cdot \nabla f d_j(t)}{|\nabla f d_i(t)| |\nabla f d_j(t)|} \quad (1)$$

φ_{ij} は 2 つの勾配ベクトルのなす角として表しており、 $\cos \varphi_{ij}$ が 1 もしくは -1 ($\varphi_{ij} = 0, \pi$)、すなわち $\cos \varphi_{ij}$ の絶対値 $|\cos \varphi_{ij}|$ が 1 に近い値であるほど観測したドップラーシフトにより描かれる 2 本の双曲線が平行、または接している関係となり、 $|\cos \varphi_{ij}|$ が 0 に近いほど直交関係になる。次に、2 機の UAV の最大飛行位置誤差 d を、図 2 に示すように近似できると仮定した場合、推定位置検出誤差の最大値 e_{max} 、最小値 e_{min} は勾配ベクトルのなす角 φ_{ij} を用いて次式で表される。

$$e_{max} = \frac{2d \cos(|\varphi_{ij}|/2)}{\sin|\varphi_{ij}|}, \quad e_{min} = \frac{2d \sin(|\varphi_{ij}|/2)}{\sin|\varphi_{ij}|} \quad (2)$$

一例として、 $|\cos \varphi_{ij}|$ の値に対する最大・最小推定位置検出誤差特性を図 3 に示す。この図より、 $|\cos \varphi_{ij}|$ の値が増加することで最大推定位置検出誤差も増加し、特に $|\cos \varphi_{ij}| \geq 0.95$ ではその増加が著しいことがわかる。

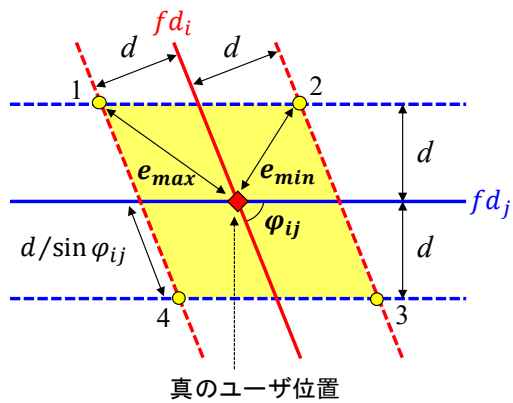


図2 φ_{ij} と最大・最小位置検出誤差

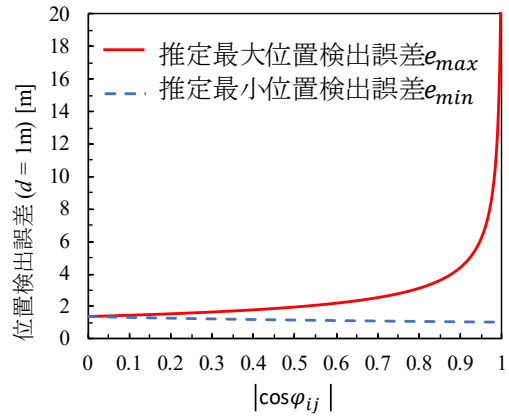


図3 最大・最小位置検出誤差特性

(3)マルチパス環境下における特性評価

1機のUAVが都市環境と山間部の上空を巡回飛行するものと仮定してモデル化を行い、マルチパスによって発生するドップラーシフトの観測誤差の影響を考慮した逐次計算処理に基づく測位精度評価をシミュレーションにより実施した。送信側となる地上端末(Tx)は、モデル1では地上高1m、幅50mの道路の中央、モデル2では2つの山の間の中心近くにそれぞれ配置するものと仮定している。ここで、Txのトーン信号は送信電力1W、搬送波周波数5GHzとし、受信側となるUAVは高度200m、半径500mの円周上を時速100kmで巡回飛行するものと仮定して10°間隔で計36ヵ所の受信点を設定してトーン信号の受信状態からマルチパスによるドップラーシフトの受信分布を評価・解析した。

モデル1及びモデル2におけるUAV巡回軌道の1周分(総評価時間約113秒、36地点)を対象とする伝搬経路ごとのドップラーシフト量の解析結果を図4(a)、(b)に各々示す。図において、レイトレーシング法に基づくシミュレーションによって得られた値を○、直接波に含まれるドップラーシフトの理論値を*として受信レベルを-60dBm~-140dBmの範囲で色分け(レベルが強いほど赤色、弱いほど青色)により示している。図4(a)より、UAVの飛行位置(ユーザ端末とUAVの位置関係)に応じてドップラー周波数の解析値が変動すること、並びに、都市環境モデルでは見通し内・外に係わらず全体的にドップラーシフトの分布が真値から $\pm 50\text{Hz}$ 以内のずれ程度に収まることが確認できる。一方、図4(b)のモデル2では、解析値であるドップラーシフト分布の真値からのずれがモデル1よりも極めて大きいことが分かる。

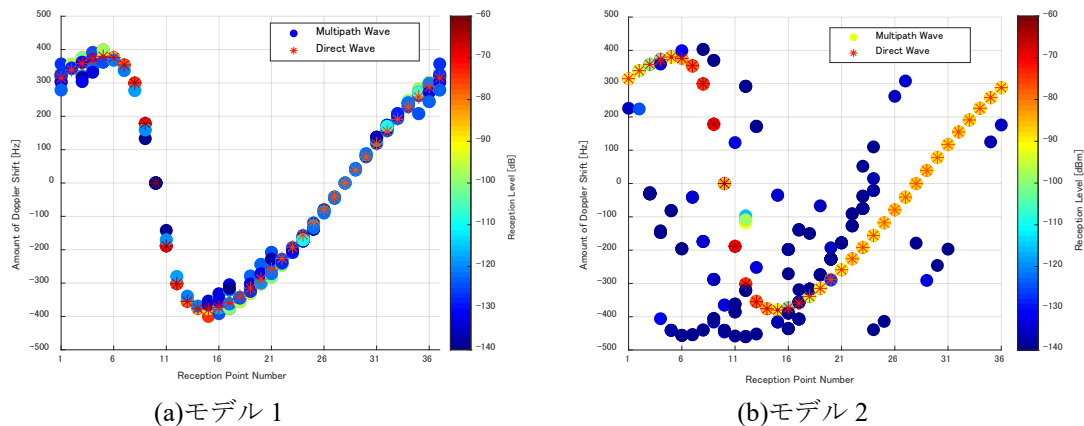
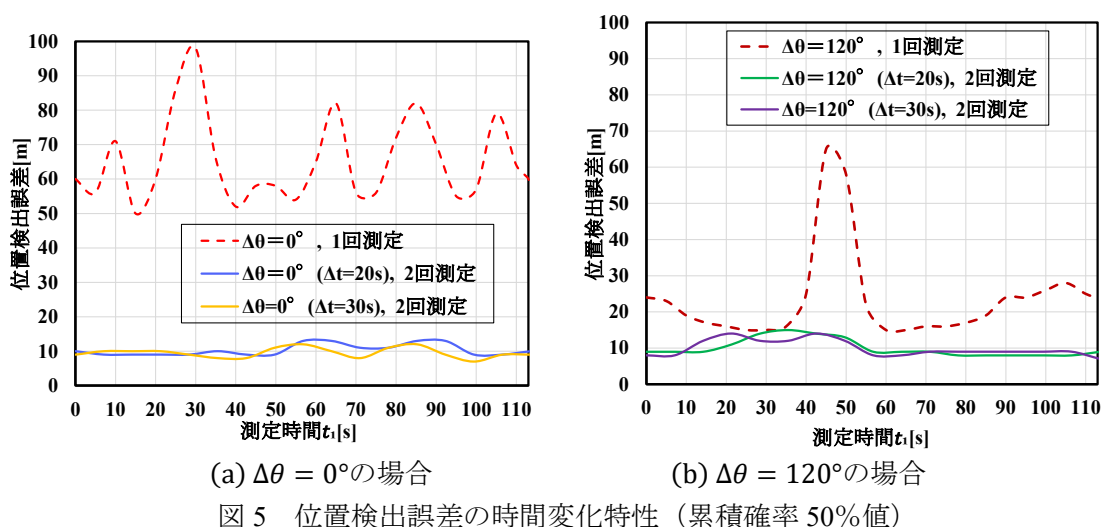


図4 ドップラーシフト分布

(4)三次元位置検出手法の特性評価と測位精度改善手法

中心座標の異なる3機のUAVが円周回飛行をするモデルにおいて、ドップラーシフトの測定回数が1回と2回の場合の三次元測位時の位置検出誤差特性を最小二乗法に基づくシミュレーションにより評価した。図5(a)は、測定時間間隔 $\Delta t = 20\text{s}$ 、 30s の2通りで固定した場合の2回測定手法と1回測定手法の計3通りに関する位置検出誤差(累積確率50%値)の時間変化特性を示している。ここで、図の横軸は測定時刻 t_1 で定義している。同図より、初期位相差が何れの場合でも2回測定手法の方が1回測定手法よりも測位精度が顕著に改善できることが確認できる。また、初期位相差 $\Delta \theta = 120^\circ$ である図5(b)では、測定時間 $t_1 = 45\text{s}$ 付近で3機のUAVの位置関係が最接近し、ドップラーシフトの双曲面の交点が得られにくい領域が発生することにより1回測定手法の測位精度が大きく劣化していたが、2回測定手法ではUAVの位置関係によらず、全時間において位置検出誤差が約10m程度まで大きく改善されていることがわかる。これは、1回測

定手法では UAV の配置関係の影響で測位精度が劣化していた評価対象エリアの一部が、2 回測定手法では 2 回目測定時の UAV の飛行位置が変化することによって 6 機分に相当する UAV の位置関係が改善し、得られたドップラーシフトで描かれる双曲面が互いに補完的な役割を果たし、それらの交点である解が得られ易くなったためであると考えられる。



(5) 周波数オフセット補償手法の特性評価

3機の UAV を用いて地上端末の位置検出と送信機で発生する周波数オフセットを同時に推定・補償する手法において、ドップラーシフトを異なる時刻に 2 回測定する手法を新たに導入し、位置検出精度及び周波数オフセット推定精度をシミュレーションにより評価するとともに、同手法において十分な測位精度が得られる最短の測定時間間隔 Δt_{min} の調査・検討を行った。その結果、測定回数を 2 回に拡張することで 1 回測定よりも測位精度と周波数オフセット推定精度が大幅に改善されること、さらに提案手法では 1 回目の測定時刻に対して 6 秒の間隔を空けて 2 回目の測定をすることで十分な精度が同時に得られることを明らかにした。

(6) ドップラーシフト多重観測手法の考案と有効性評価

8 の字周回飛行するモデルにおいて、ドップラーシフトの観測回数を 6 回まで順次増加させた場合の累積確率 50%値、90%値における位置検出誤差の時間変化特性をシミュレーションにより評価した。

表 1 は、累積確率 50%値及び 90%値における観測回数ごとの全評価時間に対する平均誤差特性を表したものであり、観測回数 4 回でモデル②の場合、モデル①の観測回数 5~6 回とほぼ同じ平均誤差が 50%値で 1.2m、90%値で 3.8m にまで改善されており、UAV の初期配置を変えることによる改善効果が得られることがわかる。これは、モデル②の場合、2 機の UAV の初期配置が 42.6s に相当する距離だけ離れていることに相当し、測定時間間隔 $\Delta t=10s$ の場合にすべての観測地点がほぼ均等な配置間隔になることから、広範囲なエリアで測位精度が良好になったものと考えられる。

表 1 観測回数ごとの平均誤差特性 ($\Delta t = 10s$)

初期配置		モデル①						モデル②
観測回数		1回	2回	3回	4回	5回	6回	4回
平均誤差 [m]	50%値	129.7	4.2	2.0	1.8	1.3	1.1	1.2
	90%値	548.7	19.4	8.1	5.6	3.5	3.1	3.8

<引用文献>

- [1] 三浦 龍, 滝沢 賢一, 鈴木 幹雄, 辻 宏之, 井上 真杉, 大和田 泰伯, “小型無人航空機を用いた無線中継の検討,” 信学技報 SAT2012-4, pp.17-21, 2012-05.
- [2] 滝沢 賢一, 辻 宏之, 鈴木 幹雄, 三浦龍, “災害に強いネットワーク構築における無人航空機の利用,” 信学技報 SANE2012-44, pp.19-24, 2012-07.
- [3] 門脇 直人, 豊嶋 守生, 三浦 周, 山本 伸一, 高橋 卓, 吉村 直子, 辻 宏之, 滝沢 賢一, 高山 佳久, 宗正 康, “新たな広がりを見せる衛星通信技術の最新動向,” 信学論 B Vol. J97-B No.11, pp.979-991, 2014.
- [4] <https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/>
- [5] 西 祐一郎, “米国における無人航空機開発と運用の概要,” 信学総合大会, BI-2-2, 2013.
- [6] 小暮 翔太, 石川 博康, “無人航空機システムを対象としたユーザ位置検出法の提案”, 信学技報, WBS2014-18, pp.51-56, 2014-07.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 毛塚 直哉、石川 博康	4. 巻 J105-B
2. 論文標題 無人航空機を用いたドップラーシフトに基づくユーザ位置検出手法のマルチパス環境下における特性評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 316 ~ 321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2021GWL0001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 ISHIKAWA Hiroyasu, HORIKAWA Yuki, SHINONAGA Hideyuki	4. 巻 E103.B
2. 論文標題 Maximum Positioning Error Estimation Method for Detecting User Positions with Unmanned Aerial Vehicle based on Doppler Shifts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1069 ~ 1077
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2019CBP0007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 斉藤 祐貴、石川 博康	4. 巻 J103-B
2. 論文標題 無人航空機を用いた逐次計算に基づくユーザ位置検出手法の初期値選択アルゴリズム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 119 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2019GTP0010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 深谷 泰良、石川 博康	4. 巻 J106-B
2. 論文標題 無人航空機を用いたユーザ位置検出システムにおけるドップラーシフト複数回観測に基づく測位精度改善手法	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 242 ~ 247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2022GWL0002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 出口 泰河・石川 博康
2. 発表標題 無人航空機を用いたユーザ位置検出システムにおけるドップラーシフト多重観測手法の測位精度特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会2023年総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 出口 泰河・石川 博康
2. 発表標題 無人航空機を用いたユーザ位置検出システムにおけるドップラーシフト複数回観測時の測位精度改善効果
3. 学会等名 電子情報通信学会2022年ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深谷泰良・石川博康
2. 発表標題 3機の無人航空機を用いたユーザ三次元位置検出手法の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 衛星通信研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山中 英・石川博康
2. 発表標題 無人航空機を用いたユーザ位置検出システムにおける周波数オフセット補償技術適用時の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 衛星通信研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山中 英・石川博康
2. 発表標題 周波数オフセット補償機能を有する無人航空機を用いたユーザ位置検出システムにおける測位精度の改善効果
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深谷泰良・石川博康
2. 発表標題 3機の無人航空機を用いたユーザ三次元位置検出手法の測位精度改善
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyasu Ishikawa・Hideyuki Shinonaga (Toyo Univ.)
2. 発表標題 Positioning Accuracy Improvement Effect Based on Multiple Observations of Doppler shift for User Position Detection System Using Unmanned Aerial Vehicles
3. 学会等名 電子情報通信学会、Korea Society of Satellite Technology (KOSST)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出口 泰河・石川 博康
2. 発表標題 無人航空機を用いたユーザ位置検出システムにおけるドップラーシフト複数回観測時の測位精度特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会2022年総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀川 裕貴、石川 博康
2. 発表標題 8の字飛行を行う高度差の異なる2機の無人航空機を用いたユーザ位置検出手法の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 衛星通信研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深谷 泰良、石川 博康
2. 発表標題 曲線飛行を行う 1 機の無人航空機を用いた位置検出手法に関する特性評価
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深谷 泰良、石川 博康
2. 発表標題 曲線飛行を行う 1 機の無人航空機を用いた位置検出手法の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 毛塚 直哉、石川 博康
2. 発表標題 マルチパス環境下における無人航空機を用いた位置検出システムのドップラーシフト推定手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 衛星通信研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 毛塚 直哉、石川 博康
2. 発表標題 マルチパス環境下における無人航空機を用いたドップラースhiftに基づく位置検出手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 衛星通信研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 毛塚 直哉、石川 博康
2. 発表標題 マルチパス環境下における無人航空機を用いた位置検出システムのドップラースhift推定手法の基礎検討
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山中 英、石川 博康
2. 発表標題 無人航空機を用いたユーザ位置検出システムにおける周波数オフセット推定・補償技術に関する基礎検討
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川 博康
2. 発表標題 IEEE AP-S Tokyo Chapter 特別講演 レイトレーシング法に基づく無線システムの特性評価例
3. 学会等名 電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会(A・P)(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀川 裕貴、石川 博康
2. 発表標題 最大誤差推定方式に基づく無人航空機を用いた位置検出手法の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 衛星通信研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩瀬 詩帆海 堀川 裕貴、石川 博康
2. 発表標題 1機の無人航空機を用いた位置検出手法の最大誤差推定方式に基づく特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 衛星通信研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀川裕貴・石川博康
2. 発表標題 飛行高度の異なる2機の無人航空機を用いた位置検出手法の最大誤差推定方式に基づく特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 毛塚直哉・石川博康
2. 発表標題 マルチバス環境下における無人航空機を用いた位置検出法のドップラーシフト分布に関する基礎評価
3. 学会等名 電子情報通信学会2019年ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyasu Ishikawa・Yuki Horikawa・Hideyuki Shinonaga
2. 発表標題 Performance Evaluation of Maximum Estimation Error of User Position Detection Method using Single Unmanned Aerial Vehicle
3. 学会等名 IEICE JC-SAT2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀川裕貴・石川博康
2. 発表標題 8の字飛行する2機の無人航空機を用いた最大誤差推定方式に基づく位置検出精度の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩瀬詩帆海・堀川裕貴・石川博康
2. 発表標題 8の字飛行を行う1機の無人航空機を用いたユーザ位置検出手法における時間経過時の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 毛塚直哉・石川博康
2. 発表標題 無人航空機を用いた位置検出システムにおける簡易マルチパス環境下のドップラーシフト分布特性
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

2023年電子情報通信学会総合大会で発表しました (2023-03-08)
<http://www.ce.nihon-u.ac.jp/contents/wireless/webdir/64.html>
電子情報通信学会 通信ソサイエティ 和文論文誌に投稿論文が掲載されました (2023-03-01)
<http://www.ce.nihon-u.ac.jp/contents/wireless/webdir/61.html>
電子情報通信学会2022年ソサイエティ大会で発表しました (2022-09-07)
<http://www.ce.nihon-u.ac.jp/contents/wireless/webdir/60.html>
2022年電子情報通信学会総合大会で発表しました (2022-03-16)
<http://www.ce.nihon-u.ac.jp/contents/wireless/webdir/58.html>
電子情報通信学会の通信ソサイエティ・和文論文誌に投稿論文が掲載されました (2022-03-01)
<http://www.ce.nihon-u.ac.jp/contents/wireless/webdir/57.html>
電子情報通信学会 SAT研 / SANE研の併催研究会において発表しました (2022-02-24)
<http://www.ce.nihon-u.ac.jp/contents/wireless/webdir/56.html>
JC-SAT2021で発表しました (2021-10-12)
<http://www.ce.nihon-u.ac.jp/contents/wireless/webdir/53.html>
2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会で発表しました (2021-09-17)
<http://www.ce.nihon-u.ac.jp/contents/wireless/webdir/52.html>

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------