

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06628

研究課題名(和文) 携帯端末の電波直接探知による海上衝突予防に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental study on a ship collision avoidance using radio wave detection from mobile phone

研究代表者

疋田 賢次郎 (HIKIDA, Kenjiro)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：00415803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：船舶の衝突事故は徐々に減少している。ただし、漁船やプレジャーボートの多くを占める小型船舶(総トン数20トン未満)に限ると、衝突事故隻数は下げ止まりの傾向にある。小型船舶の多くは、搭載義務が無いため、レーダやAIS(船舶自動識別装置)を装備していない。しかし、携帯電話やスマートフォン等の携帯端末については、ほとんどの操船者が"携帯"している。そこで、通信中の携帯端末の電波を探知し、船舶同士の衝突を予防するための装置を試作し、基礎的な実験を行った。そして、LTE(Long Term Evolution)端末において、探知距離250m、方位精度 $\pm 10^\circ$ で携帯端末の位置を探知できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In Japan, the number of ship collision accidents is gradually decreasing. However, accidents involving small-boats (under 20 gross tonnage) are not decreasing. The majority of small boats are fishing boats and pleasure boats. It is difficult to detect them since they are not equipping with AIS (Automatic Identification System) mandatory for large ships. In addition, since the small-boats are made of plastic materials and have few radio reflection, it is hard to detect small-boats even if by using RADAR.

We pay attention to the fact that most of small-boat operators have mobile wireless devices such as mobile phones and smartphones and the small-boats could be detected by capturing radio signals. We develop a radio signal detection system for small-boat detection, and conducted fundamental experiments. As a result of the experiments, we confirmed that the system is able to detect the direction of a target (a mobile device) with the accuracy of ± 10 degrees at a distance of 250 meters.

研究分野：海事システム ユーザインターフェイス

キーワード：携帯端末 電波 位置探知 船舶 衝突予防

1. 研究開始当初の背景

これまでの海上における航行安全に関する施策や、レーダ・AIS (Automatic Identification System : 船舶自動識別装置)・ECDIS (Electronic Chart Display and Information System : 電子海図情報表示装置)・BNWAS (Bridge Navigational Watch Alarm System : 船橋航海当直警報装置)等の航海支援機器の装備の義務化や、登録船舶数及び輻輳海域における交通量の減少もあり、船舶の事故は漸減の傾向にある。ただ衝突事故に関しては、下げ止まりの傾向であり平成25年度の事故隻数は前年より増加に転じた。衝突事故を起こしている船種としては、大半が20総トン未満の小型船舶である漁船とプレジャーボートで約6割弱を占めている。

AISの搭載が義務化されているのは、例えば内航船では500総トン以上の船舶(外航船300総トン以上、旅客船は全て)のみであり、約6,000隻の内航船に占める割合は2割以下に過ぎない。また、約36万隻にのぼる小型船舶はAIS搭載義務の対象外である。小型船舶は電波を透過しやすいFRP (Fiber Reinforced Plastics : 繊維強化プラスチック)製であることが多く、荒天時等の海面反射や雨雪反射のエコーによって、船体からのレーダエコーが埋没してしまうことがよくある。

小型船の衝突安全対策としては、レーダの装備、レーダリフレクタの取り付け、国際VHF無線電話の普及や、AISの装備等がある。特にAISについては、やや情報更新間隔の劣る簡易型AIS (AIS Class-B)であっても非常に有効と考えられるが、導入費用の負担等から、全船への義務化は困難である。

一方、AIS受信器を設置している小型船も増えている。AISを装備している大型船を小型船が避けるためには有効であるが、大型船からは小型船は確認できない。またAISを装備していない小型船同士では意味が無い。新しい動きとして、小型船用のスマホアプリによる船舶位置の共有と、近接した際の警報等の発報による衝突予防が提供され始めている。ただし、アプリの普及や、異なるスマホアプリ間の船舶情報の共有、通信エリア内ではしか使用できない、位置情報を共有することからプライバシー等の課題がある。将来的な発展の可能性は有望であるが、小型船の衝突予防の決定打とは、現時点では言えない。

2. 研究の目的

本研究では、近年ほとんどの人々が所持している携帯電話、スマートフォン、タブレット等を含む携帯端末に着目した。小型船舶では、より大きな商船等に装備される国際VHF無線電話があまり使用されていないため、唯一の通信手段として操船者自身が携帯端末を所持することがほとんどである。携帯端末は通信中のみならず、移動中に複数の基地局セルから構成される位置エリアを越えるハンドオーバーの際、及び一定時間毎、また電

波が弱まった際の「位置登録」等の際に電波を発信している。

我々は、携帯端末からの発信電波を複数のアンテナで受信し、電波の到来方位を得ることができないか考えた。避航可能な距離で、携帯端末所持者の大凡の方位と距離が分かれば、船橋航海当直中の操船者に注意を喚起し、衝突を避けることができる可能性がある。

本研究では、航行中の典型的な内航貨物船(499総トン, 12kt)と、遊漁中で漂流状態の小型船の見合いを想定して、衝突1分前(370m)に16方位で、貨物船の操船者に対し注意を促せることを、目標として定める。携帯端末からの発信電波を受信し電波の到来方位と距離を求めることができるか、そして、その際の方位精度と距離は避航のための目標値を満たすことができるか、明らかにすることを、本研究の目的とする。

3. 研究の方法

携帯端末を用いた通信は、各移動体通信事業者(以下、「キャリア」という)と契約して行われる。キャリア毎に総務省から複数の周波数を割り当てられており、通信方式も周波数毎に異なる。本研究の最終目標としては、全てのキャリアについて割り当てられた全周波数を対象とするものである。但し、今回は基礎研究であり、実験に割ける資源も限られているため、受信装置の周波数範囲を絞りこむ必要がある。そこで、キャリアとしては、日本で最も早くから移動体通信事業を行い、僻地や海上等でも比較的通信が安定していると言われている(株)NTTドコモを対象とした。表1にNTTドコモが移動体通信で使用している周波数と、通信方式を示す。

表1 NTTドコモ 周波数及び通信方式

周波数帯 通称	キャリア	周波数(MHz) (上り:uplink)	世代 通信方式(上り)
700MHz帯	docomo	728 ~ 738	LTE (SC-FDMA)
800MHz帯	docomo	830 ~ 845	3G (W-CDMA) LTE (SC-FDMA)
1.5GHz帯	docomo	1447.9 ~ 1462.9	LTE (SC-FDMA)
1.7GHz帯	docomo	1764.9 ~ 1784.9	LTE (SC-FDMA)
2 GHz帯	docomo	1940 ~ 1960	3G (W-CDMA) LTE (SC-FDMA)

総務省周波数割り当て他、複数の資料より作成

周波数帯は、伝搬損失が少なく、移動体通信の最初期から使用されている800MHz帯を選択した。通信方式は研究応募時点では、主流であった第3世代移動通信システム(International Mobile Telecommunication 2000 (IMT-2000)、あるいは、3rd Generation. 以下、「3G」という)を対象とし、供試用の携帯端末を準備した。一方、研究を進める過程でLTE(Long Time Evolution. 3.9G あるいは、4Gともいう)の普及が進んだこともあり、LTE 端末も実験の対象とした。

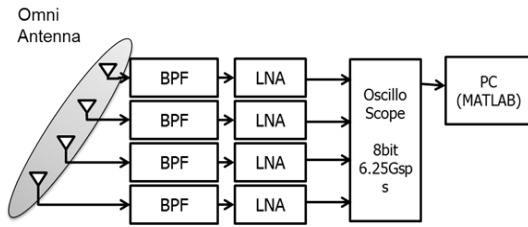


図 1 実験用電波発信源探知システム

試作した電波発信源探知システムの構成を図 1 に示す。回転台座の上に複数の無指向性アンテナを装備する。台座の回転は実験のためのものであり、船舶に装備する際は、アンテナを固定して設置する。受信した信号はバンドパスフィルタ(BPF)によって、目的の帯域以外のものを除外する。バンドパスフィルタを出力した信号は、ローノイズアンプ(LNA)によって増幅された後、オシロスコープに入力する。今回は基礎的実験であるため、オシロスコープに表示される信号を実験者が目視で確認しながら、手動で信号を取り込み、PC に転送する。PC 上に、複数アンテナの受信信号から電波の到来方位を導出するソフトウェアを MATLAB を利用して構築した。電波の到来方位を導出する手法は、既に何通りも存在しているが、今回は信号の位相差を用いる Beam Former アルゴリズムを採用した。

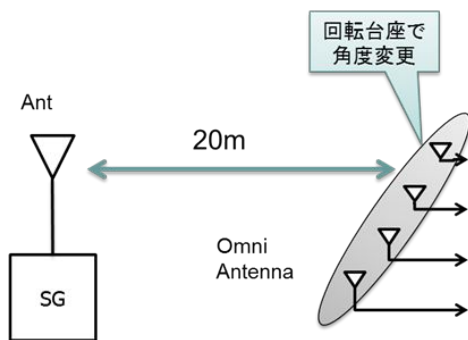


図 2 電波無響室実験での配置

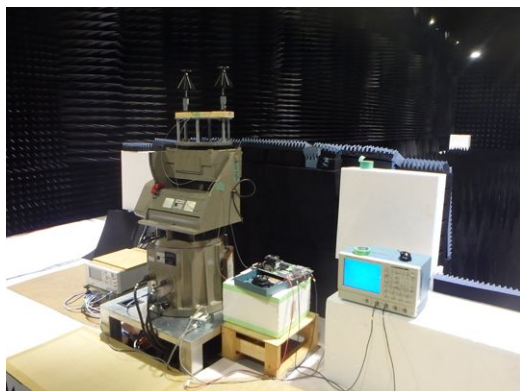
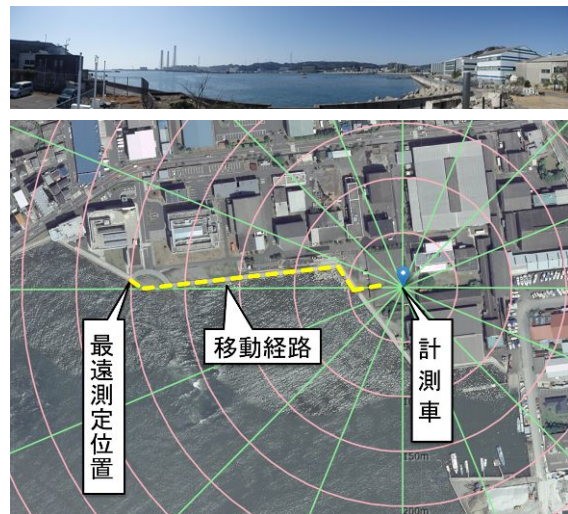


図 3 電波無響室実験状況

試作した電波発信源探知システムについて、性能の確認実験を電波無響室において行った。送信アンテナ、受信アンテナの配置を図 2 に、実験の状況を図 3 に示す。電波無響室での動作確認実験においては、信号の生成源としてシグナルジェネレータ(SG)を用い、20m の距離から、出力 20dBm まで送信し、システムの動作を確認した。

次に、電波発信源探知システムのフィールド実験を行った。理想的には海上を想定し、基地局から離れた中～弱電界地域で実験を行いたい。但し今回の実験は、基地局電波が比較的強いエリアであった。図 4 に実験フィールドの写真を示す。上の写真は計測車 受信アンテナから携帯端末の発信源(目標)の方向を見たパノラマ写真、下は航空写真である。放射線を中心に計測車を配置した。等距離の間隔は 50m である。目標が通信しながら海岸線に沿って西方(画像左側)に移動するとを計測車より測定した。



国土地理院「地理院地図」を使用

図 4 実験フィールド

フィールド実験に用いたアレイアンテナを図 5 に示す。6 本のモノポール(ホイップ)アンテナが確認できるが、実際に受信信号の処理に利用したものは、4 本である。アンテナ高さは、地上面からアンテナ基部まで 4.7m 標高は 2.5m であった。



図 5 アレイアンテナ (内 4 本使用)

4. 研究成果

実験結果について、記述する。まず、3G (W-CDMA) 携帯端末については、基地局近隣の移動局の電波に遠方の移動局の電波が埋もれてしまう、いわゆる"遠近問題"対策、及び低消費電力化のために、基地局で受信する移動局の受信電波の強度を平滑化するための移動局の出力制御が行われている。これは CDMA 方式の特徴でもあるが、実験よりこの出力制御が想定以上であり、今回のフィールドの様な比較的基地局の電界強度が強いエリアにおいては、目標の電波を安定して受信することができなかった。ただ、CDMA 方式は弱電界地域において出力制御により出力を上げることから、より海上の電波環境に近い状況での計測が必要と思われる。

次に LTE 携帯端末の結果について記述する。LTE は移動局から基地局への"上り"の接続方式として SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) が採用されている。通信方式の特性上、同じ周波数帯においても、CDMA の様な移動局同士の干渉が生じないため、送信出力制御の手法が異なる。LTE 端末の受信は可能であった。受信信号から方位を導出した結果を図 6 に示す。

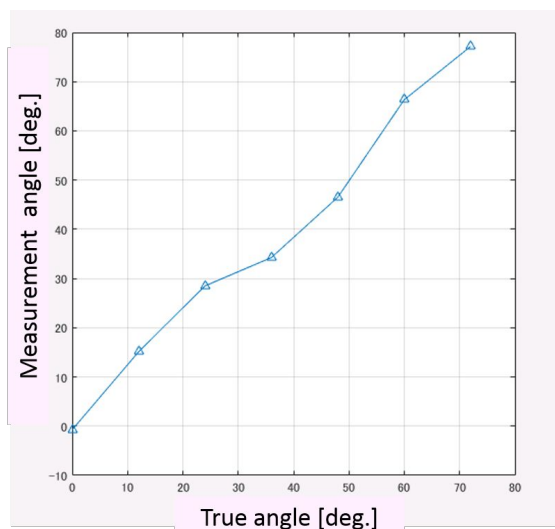


図 6 受信電波 真方位-測定方位

この計測結果は、計測車からの距離が 250m 地点で受信したものを処理した結果であり、これより遠方では安定して受信できなかった。図の横軸が目標の真方位、縦軸が測定方位となる。0 度付近では、真方位と測定方位は一致する。一方、アンテナの正面から目標方位が離れていくと、バイアス方位誤差およびジッタ誤差が大きくなる。72 度付近では、バイアス誤差 5.2 度、ジッタ誤差の標準偏差 2.5 度となるが、全ての方位において目標値の 16 方位(22.5 度)以内に収まった。

携帯端末の位置を求める手法は複数存在するが、その多くは携帯端末本体の GPS 経緯度座標や基地局情報を用いるものであり、キャリアでないと入手できない。電波の伝搬

経路等を用いる先行例は、主に屋内を対象としている。

今回、通信中の携帯端末の電波を、受信装置単独で探知し、船舶同士の衝突を予防するための基礎的な実験を行った。そして、LTE (Long Term Evolution) 端末の場合、距離 250m (12kt で 40sec.)において、方位精度 $\pm 10^\circ$ で携帯端末からの電波の到来方位を導出できることを確認した。方位精度は目標値を満たした。探知距離は目標値 370m に対し 67% 程度達成した。今後は、受信アンテナの配置や、海上での出力等を考慮し、より遠距離で目標の位置も含めて探知できる様、検討を深めたいと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

古賀 禎、正田 賢次郎、海上における電波発生源探知システムの基礎実験、2018 年電子情報通信学会総合大会、2018

正田 賢次郎、海上における携帯端末の電波探知による衝突予防の可能性について、マリン IT ワークショップ 2018 にいがた、2018

6. 研究組織

(1) 研究代表者

正田 賢次郎 (HIKIDA, Kenjiro)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号： 00415803

(2) 研究分担者

古賀 禎 (KOGA, Tadashi)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所・電子航法研究所・監視通信研究領域・上席研究員

研究者番号： 70392785

福戸 淳司 (FUKUTO, Junji)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号： 40360713

丹羽 康之 (NIWA, Yasuyuki)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号： 50344239

(4) 研究協力者

渡部 要一 (WATABE, Yoichi)

港湾空港技術研究所・地盤研究領域