

平成 30 年 5 月 15 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18083

研究課題名(和文)複数アンテナを用いた超広帯域無線センサによる屋内侵入者の位置推定技術の研究

研究課題名(英文) Study on localization technique of indoor intruder using ultra-wideband radio sensor with multiple antennas

研究代表者

中村 僚兵 (Nakamura, Ryohei)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・電気情報学群・講師)

研究者番号：70735969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：現在、ホームセキュリティセンサの関心が高くなっており、高信頼且つ安価な侵入者検知センサシステムの開発が望まれている。本研究では、従来のセンサでは困難であった見通し外の検知を可能とし、また侵入者の有無だけでなくその位置を推定することができる複数アンテナを用いた超広帯域無線センサによる侵入者検知センサシステムを実現するための各技術の開発とシステムの構築を行い、その有効性を計算機シミュレーションおよび実験により示した。

研究成果の概要(英文)：The interest of home security sensors is getting higher, and development of a highly reliable and inexpensive intruder detection sensor system is desired. In this research, in order to realize an intruder detection sensor system using an ultra-wideband wireless sensor with multiple antennas which enables not only detection of intruder's presence / absence but also estimation of its location, each elemental technology and a prototype system was developed. The effectiveness was shown by computer simulation and experiment.

研究分野：計測工学

キーワード：超広帯域無線センサ 侵入者検知 位置推定 複数アンテナ リアルタイム性

1. 研究開始当初の背景

現在、屋内侵入者による多くの被害が報告されており、セキュリティセンサへの関心が非常に大きくなっている。これまで赤外線や画像、狭帯域無線（電波）を用いたセンサが利用されているが赤外線や画像は見通し内の動きの検知を基本としており、屋内全域をカバーするためには侵入が予想される全ての場所にセンサの設置が必要となる。一方、狭帯域無線では電波の透過性により見通し外での検知が可能であり、センサの個数を減らすことが期待できるが、距離分解能が低いためセンサから動体（侵入者）までの距離を推定することは困難である。そのため、例えば訪問者など建屋への接近者と侵入者との分離・識別が難しい。以上の背景から、本研究では、距離分解能が高く、1組のセンサ（設置が容易）で動体までの距離を高精度に推定することが可能な超広帯域無線（UWB）を用いた侵入者検知技術の確立および当該センサシステムの開発を行う。

2. 研究の目的

本補助事業の開始前までに報告者らは、無指向性の送受信アンテナを同一位置に設置（モノスタチック配置）することで動体の距離が高精度に推定できる手法について検討しており、送受信アンテナを中心に任意の半径ゾーン（同心円領域）を複数設定することで、各領域への接近や通過を検出でき、例えば‘注意’、‘危険’、‘侵入’などの段階的な警報レベルを設定することができることを報告している。しかしながら、本手法が形成する同心円監視領域では家屋の形状によって図1のように屋内とバルコニーまたは屋外が含まれる曖昧な領域が生じる（ここではプレアラーム領域）。したがって、動体が屋内外のどちらにいいのか判断が難しく、誤警報の要因の一つとなり得る。そこで、これまでに開発してきた動体検知アルゴリズムを改良することで、動体の位置情報（センサに対する座標）を推定する手法を開発する。本手法により、同心円領域でなく家屋の形状に応じて任意の警報領域を形成することが可能となる。

また、UWB センサは非常に高価な超高速 AD 変換器を必要とすることや超広帯域を占有することから他の無線システムとの周波数共用が課題とされている。そこで申請者は、超高速 AD 変換器を必要とせず、他の無線システムと周波数共用が可能な新たな UWB センサ方式（ステップド FM 方式）についてこれまで提案しており、本センサシステムにおいても本方式を採用して、安価で高性能なセンサシステムの早期普及を視野に入れたシステムの試作開発を行う。

3. 研究の方法

本研究で開発する動体の位置推定手法では複数の受信アンテナを設置し(3本以上(内

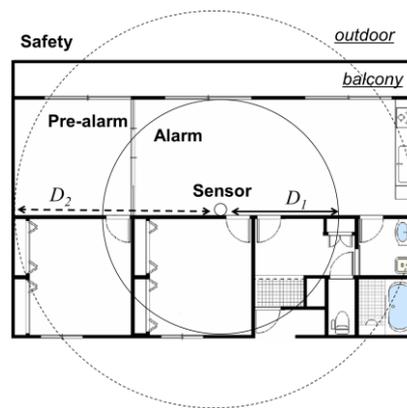


図1 同心円監視領域

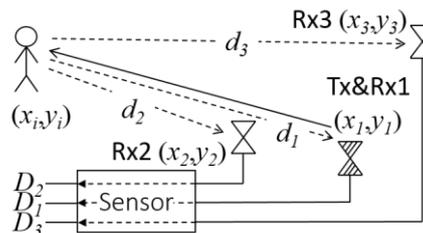


図2 位置情報推定手法の概念図

1本は送受信共用))、送信アンテナ～各受信アンテナ間で得られる動体の距離情報からその位置情報（座標）を推定するものである。図2に本手法の概念図を示す。座標が既知な各アンテナ間を半波長以上離して設置し、各送受信アンテナ間における動体の距離情報を推定する。各距離情報を得ることで各アンテナに対する距離に対応する円を形成し、その交点の座標を算出することで、動体の位置情報を推定できる。そこで、本手法の有効性を計算機シミュレーションと実験により評価する。

また、ステップド FM 方式を採用した試作センサ装置に動体の検知アルゴリズムを実装し、リアルタイムに動体検知することが可能なシステムの開発を行い、その検知特性およびリアルタイム性の評価を行う。

4. 研究成果

動体の位置推定法の有効性を検討するために、まず、基本的な位置推定特性を計算機シミュレーションにより検討した。具体的には、センサの各パラメータ（SN比、帯域幅、アンテナ高、アンテナ配置や数など）が位置推定特性に与える影響を、レイトラッキングシミュレータにより室内と人体を模擬した電波伝搬環境（図3）を構築して評価した。位置推定結果の一例を図4に示すが、室内に人体を順次配置し、測位した結果を全て併せて示している。図4から、対象の位置を高精度に推定できていることが確認できる。また、一例としてパラメータのSN比を変化させたときの位置推定誤差の累積分布（CDF）を図5に示すが、SN比30dB程度であれば位置推定

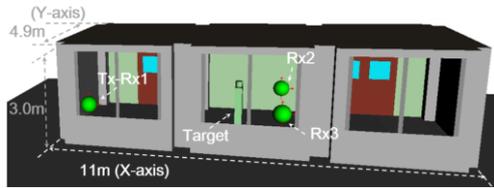


図3 レイトレーシング環境

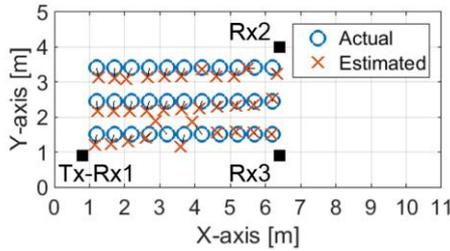


図4 位置推定結果の一例

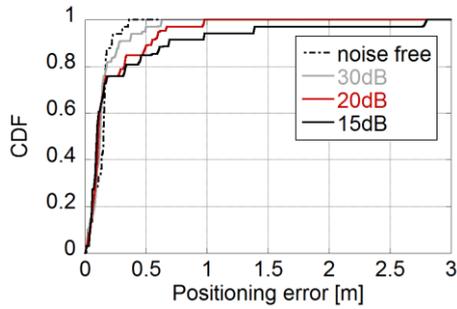


図5 SN比毎の位置推定誤差のCDF

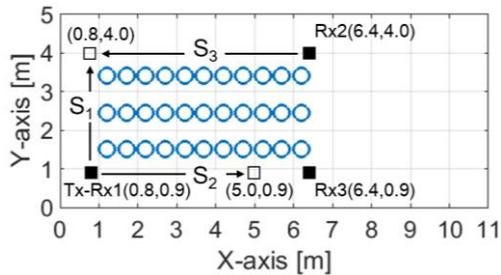


図6 アンテナ配置の検討

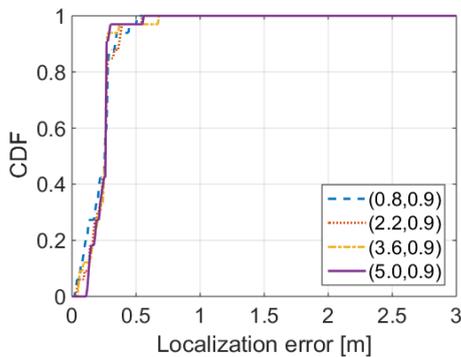


図7 各アンテナ配置(S₂)の位置推定誤差のCDF

誤差の80%以上は誤差が0.24m以下であることがわかり、本手法により高精度な位置推定が期待できることを明らかにした。また、図6のようにアンテナの配置位置を変化させて、位置推定特性の検討を行ったが、図7のよう

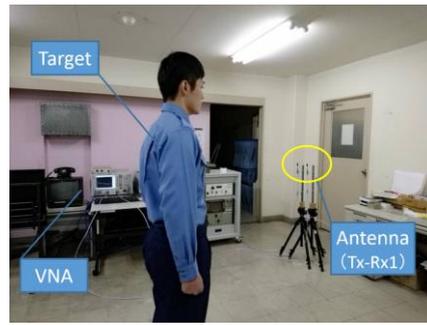


図8 実験風景

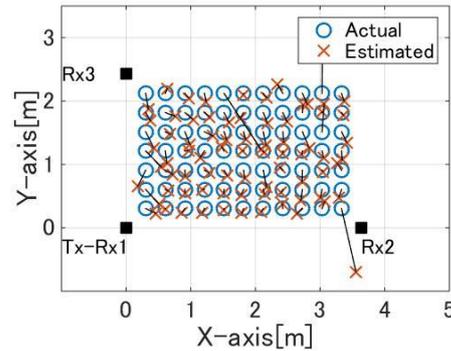


図9 位置推定実験結果の一例

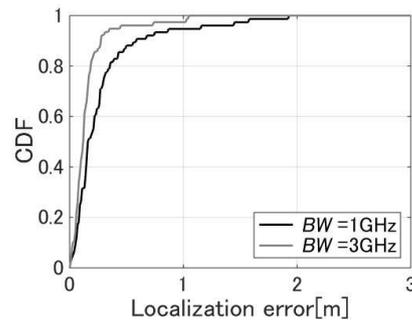


図10 帯域幅毎の位置推定誤差のCDF

にアンテナの配置が位置推定特性へ与える影響は小さく、本センサのアンテナ設置場所の自由度が高いことを明らかにした。

次に、動体の位置推定特性について、図8に示すように、実際の室内環境においてベクトルネットワークアナライザを用いて実験的に検討した。本実験では帯域幅、アンテナ配置やその数を変化させて位置推定特性の検討を実施した。図9に位置推定実験結果の一例を示す(帯域幅 BW=3GHz)。図9から、一部の測定点を除いて、シミュレーション結果と同様に高精度に位置推定ができてることが確認できる。図10に帯域幅が1GHzと3GHzの場合の位置推定誤差のCDFを示す。距離分解能は帯域幅に依存するため、帯域幅が1GHzの場合は3GHzに対して位置推定精度が劣化するが、帯域幅が1GHzの場合であっても、その誤差の80%以上は0.4m以下であることがわかる。以上の実験結果から、本センサでは高精度に動体の位置推定が可能であることが実験的にも確認でき、その有効性が確認できた。

次に、図 11 に示すようにステップド FM 方式を採用した試作センサ装置に動体の検知アルゴリズムを実装し、リアルタイム動体検知特性について実験的に検討した。図 12 に

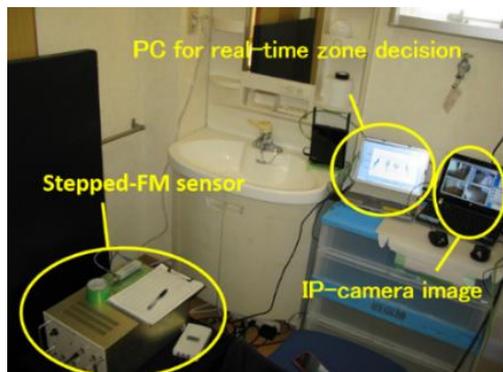


図 11 試作したセンサシステム

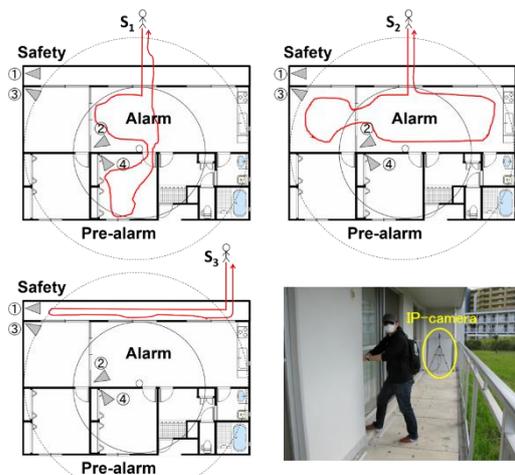


図 12 代表的な侵入シナリオと実験風景

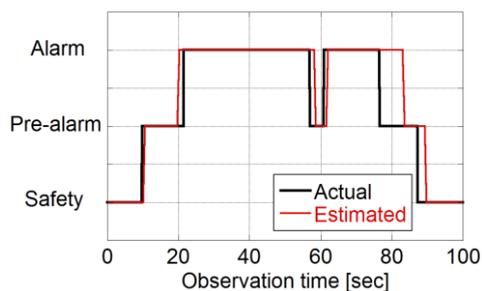


図 13 領域判定結果の一例 (シナリオ S_1)

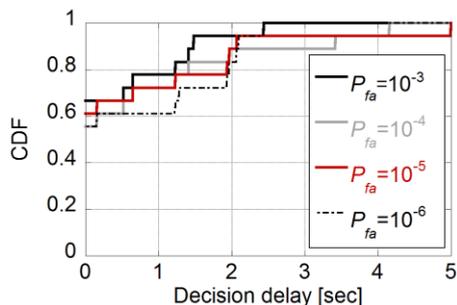


図 14 領域判定遅延時間の累積分布

示す 3 つの監視領域 (Alarm, Pre-alarm, Safety) を設定し、いくつかの侵入シナリオ ($S_1 \sim S_3$) のもと、当該監視領域の検知特性について検討を行った。実験を実施したところ、領域判定に対していくつかの課題が生じたが、本研究では当該課題を解決し、判定誤りを訂正する手法についても新たに確立した。図 13 にシナリオ S_1 の場合の領域判定結果を示すが、訂正法を適用した場合の結果である。図 13 から開発したセンサシステムにより、高精度に動体の領域が判定できていることが分かる。また、図 14 に領域判定の判定遅延時間 (動体の実際の領域に対してセンサが正しく領域を判定するまでの時間) の CDF をセンサの誤警報確率 P_{fa} ごとに示す。図 14 から、 $P_{fa} = 10^{-3}$ では、2.5 秒以下で各領域への侵入を正しく検知できることが確認できる。既存の侵入検知センサの検知応答速度は 3 秒程度とされていることから、開発したセンサシステムは既存センサと比べても十分な応答速度を持つことを明らかにした。

以上の研究成果は、関連する研究を含めて、4 件の雑誌論文、12 件の学会発表として、成果報告を行った。

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 4 件)

- ① 中村僚兵, 梶原昭博 “超広帯域ステップド FM 方式を用いた屋内侵入者検知センサシステムの開発と実証実験,” 電子情報通信学会和文論文誌 B, vol. J100-B, no. 12, pp. 1033-1038, 2017.
DOI: 10.14923/transcomj.2017ASL0001
- ② 中村僚兵, 黒崎将史, 葉玉寿弥 “マルチスタティック配置した超広帯域無線センサを用いた屋内動体監視システムの位置推定特性について,” 電子情報通信学会和文論文誌 B, vol. J100-B, no. 12, pp. 974-983, 2017.
DOI: 10.14923/transcomj.2017ASP0001
- ③ R. Nakamura, H. Hadama “Characteristics of ultra-wideband radar echoes from a drone,” IEICE Communication Express, vol. 6, no. 9, pp. 530-534, 2017.
DOI: 10.1587/comex.2017XBL0079
- ④ I. Matsunami, R. Nakamura, and A. Kajiwara “RCS Measurements for Vehicles and Pedestrian at 26 and 79GHz,” IEICE Trans. Fundamentals, vol. E99-A, pp. 204-206, 2016.
DOI: 10.1587/transfun.E99.A.204

[学会発表] (計 12 件)

- ① 清水なな, 丸山健太, 中村僚兵, 葉玉寿弥 “マルチスタティック UWB センサ

による人体位置推定法の実験的検討,”
電子情報通信学会東京支部学生会研究
発表会, 2018.

- ② 自見圭司, 松波勲, 中村僚兵 “ステッ
プド FM レーダにおける高分解能化に関
する実験的検討,” 電子情報通信学会
技術研究報告, 2017.
- ③ R. Nakamura, H. Hadama “Target
Localization using Multi-static UWB
Sensor for Indoor Monitoring
System,” Proc. of 2017 IEEE Topical
Conference on Wireless Sensors and
Sensor Networks (WisNet2017), 2017.
- ④ 皆川昌樹, 長崎兼大, 後藤和正, 中村僚
兵, 葉玉寿弥 “ネットワーク型自動操
縦システムの走行特性の評価,” 電子
情報通信学会東京支部学生会研究発表
会, 2017.
- ⑤ 長崎兼大, 皆川昌樹, 後藤和正, 中村
僚兵, 葉玉寿弥 “ネットワーク型自動
操縦システムの位置推定機能の評価,”
電子情報通信学会東京支部学生会研究
発表会, 2017.
- ⑥ 黒崎将史, 葉玉寿弥, 中村僚兵 “マル
チスタティックUWBセンサを用いた人体
位置推定法におけるアンテナ配置の検
討,” 電子情報通信学会東京支部学生
会研究発表会, 2017.
- ⑦ 中村僚兵, 葉玉寿弥 “マルチスタティ
ック配置した超広帯域無線センサを用
いた動体位置推定法の一検討,” 電子
情報通信学会技術研究報告, 2016.
- ⑧ 小倉雅樹, 川口大貴, 中村僚兵, 葉玉
寿弥 “画像による位置推定法の遠隔無
人機制御への適用性の検討,” 電子情
報通信学会総合大会, 2016.
- ⑨ 葉玉寿弥, 小倉雅樹, 中村僚兵 “マー
カー画像を用いた室内位置推定手法の
無人機制御への適用性の評価,” 情報
処理学会全国大会, 2016.
- ⑩ 川口大貴, 小倉雅樹, 中村僚兵, 葉玉
寿弥 “ネットワーク制御型無人機の屋
内位置推定法の研究,” 電子情報通信
学会東京支部学生会研究発表会, 2016.
- ⑪ H. Hadama, N. Chiba, D. Fukui, M. Ogura,
R. Nakamura “Implementation of dual
transmission function for remote
vehicle controls,” Proc. of The 10th
Asia-Pacific Symposium on Information
and Telecommunication Technologies
(APSITT 2015), 2015.
- ⑫ 中村僚兵, 小倉雅樹, 葉玉寿弥, 松波
勲, 梶原昭博 “マルチスタティック
UWB センサによる動体位置推定法の基礎
検討,” 電子情報通信学会ソサイエテ
ィ大会, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 僚兵 (NAKAMURA, Ryohei)

防衛大学校・電気情報学群・通信工学科・
講師

研究者番号 : 70735969