

Wi-SUN FAN を用いた移動体向けセンシングのための 最適ノード選択・通信経路構築アルゴリズムを開発 ～自律歩行ロボットによる実証実験に成功～

概要

国立大学法人京都大学の原田博司 情報学研究科教授、正木弘子 同研究員、関谷花音 同修士課程学生らの研究グループ（以下 京都大学）は、IoT（Internet of Things：“モノ”のインターネット）向け国際無線通信規格「Wi-SUN FAN」を用い、最大時速 68km で走行する移動体から各種センシング情報および位置情報を広域に収集・管理するための、最適ノード選択・通信経路構築アルゴリズムを開発しました。さらに、本アルゴリズムを実装した移動体センシングシステムを構築し、自律歩行型ロボットを用いた実証に成功しました。

ポイント

- ・ Wi-SUN FAN を用いた移動体通信において、最適な接続先ノード選択を実現する通信経路構築アルゴリズムの開発に成功
- ・ 提案アルゴリズムは最大時速 68km の移動体に対しても高い伝送成功率を確保
- ・ 自律歩行型ロボットを使用した実証実験にて本アルゴリズムの動作検証に成功

1. 背景

スマートシティやスマートメータリングなど、大規模（数百台規模）かつ広域（数 km 以上）の通信を必要とする IoT システム向けとして、国際無線通信規格 Wi-SUN FAN が制定されています。Wi-SUN FAN は、各ノードが自律的に接続先ノードを検索してネットワークを拡張する機能を有しており、建物による遮蔽等が存在する環境でも迂回経路を自律的に構築できることから、耐障害性に優れた堅牢な無線ネットワークを構築可能な規格です。Wi-SUN FAN は、元来、固定設置されたノード間を自律的に接続するシステムとして設計されていました。しかし近年では、IoT システムの進展に伴い、移動体への適用が求められています。一方で、Wi-SUN FAN の経路構築アルゴリズムとして採用されている RPL (IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks)は、移動ノードにおける動的な通信環境変化に対して最適な親ノードを選択できず、移動速度の増加に伴ってパケット伝送成功率が著しく低下するという課題がありました。

2. 研究成果

今回、Wi-SUN FAN を用いた移動通信においてシームレスに最適な接続先ノード選択を実現するため、移動ノードの移動速度に依存しない通信経路構築アルゴリズムの開発に成功しました。さらに、本アルゴリズムを実装した自律歩行型ロボットを用いた実証実験を行い、その有効性を確認しました。

開発した通信経路構築アルゴリズムでは、Wi-SUN FAN で採用されている RPL の通信経路構築方式を基本としつつ、経路選択における時間制約が発生しない仕組みを考案しました。これにより、迅速に最適な通信先ノードを選択可能としています。また、制御フレーム（通信経路構築に必要な情報を交換するパケット）の送信方式、接続先ノードの維持方式についても新しい手法を導入し、通信信頼性の高い近距離端末を優先的に接続先ノードとして選択するアルゴリズムを実現しました。

開発したアルゴリズムを移動ノードに適用し、図 1 に示すように R1 から R10 の 10 台のルータと呼ばれる固定設置ノードと情報収集ノードである BR (Border Router) を用いた評価モデルにより、計算機シミュレーションにより送信されるパケットの伝送成功率の評価を行いました。その結果、図 2 に示すように、移動速度 19m/s (時速 68.4km/h) においても、ほぼ 100%に近いパケット伝送成功率を維持し、Wi-SUN FAN 標準の RPL 方式と比較して、伝送成功率が約 2.9 倍に向上することを確認しました。さらに、図 3 に示すように、従来の RPL 方式では、より適切な接続先ノードがあっても接続先が切り替わらない場合があるのに対し、提案アルゴリズムでは、移動全区間にわたり適切な通信ノード切り替えが行われていることを確認しました。(図 3 では接続先ノードのことを親ノードと示している。)

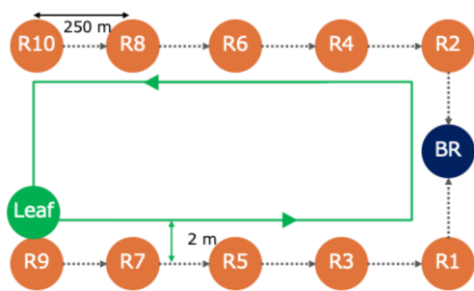


図 1 : 評価モデル

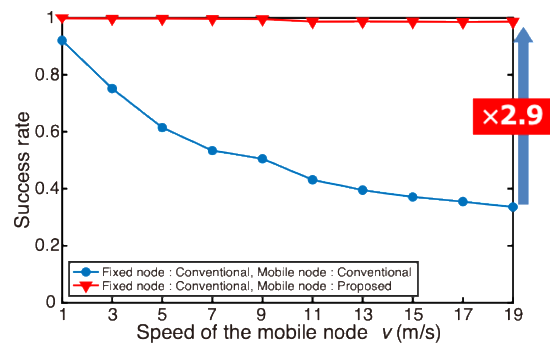


図 2 : パケット伝送成功率

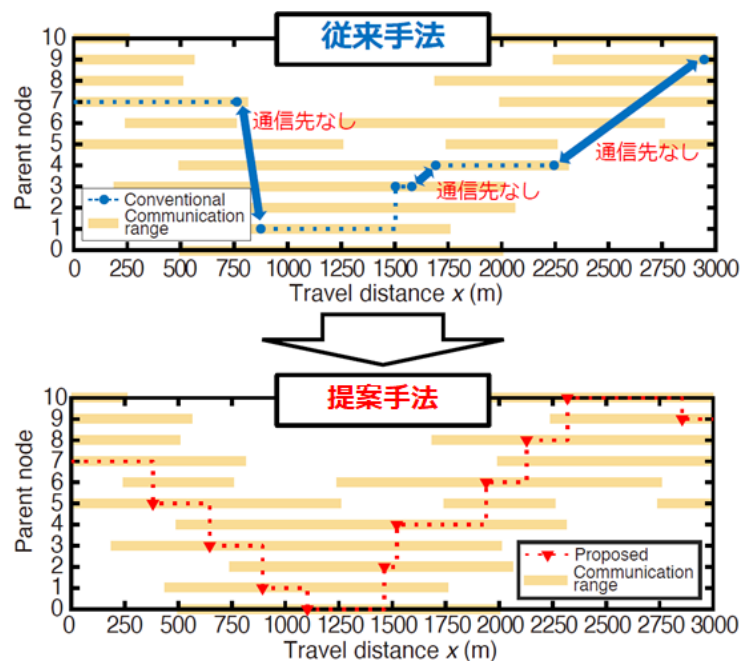


図 3 : 親遷移 (移動速度 19m/s)

さらに、開発したアルゴリズムを適用した Wi-SUN FAN 無線機を自律歩行型ロボットに実装し、図 4 に示すボーダールータと 2 台のルータを配置した環境において、図 5 に示す自律歩行型ロボットを移動させる実証実験を行い、開発したアルゴリズムの動作を検証しました。その結果、図 6 図 7 に示すように、実証実験環境においても、通信信頼性の高い近距離ノードを通信接続先ノードとして選択し、シームレスにハンドオーバー

することを確認しました。また、さらに通信接続先ノードを可視化することにより、自律歩行型ロボットが現在のルータエリアに存在するかを把握できることを確認しました。これにより、本来固定ノード間通信を対象としていた Wi-SUN FAN を用いた場合においても、移動体から取得される各種センシング情報および位置情報を広域に収集・管理するシステムを構築できることを実証しました。

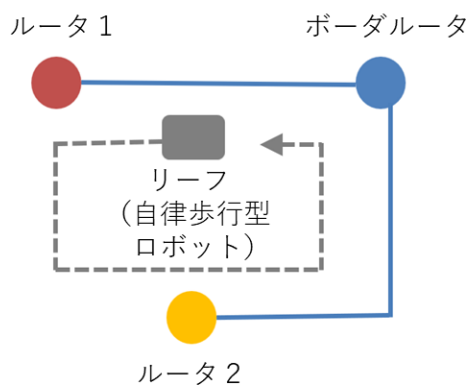


図 4：実証実験移動経路



図 5：自律歩行型ロボット



図 6：自律歩行型ロボットによる開発アルゴリズムの実証実験
(ボーダルータからルータ 1 へ移動するロボット)

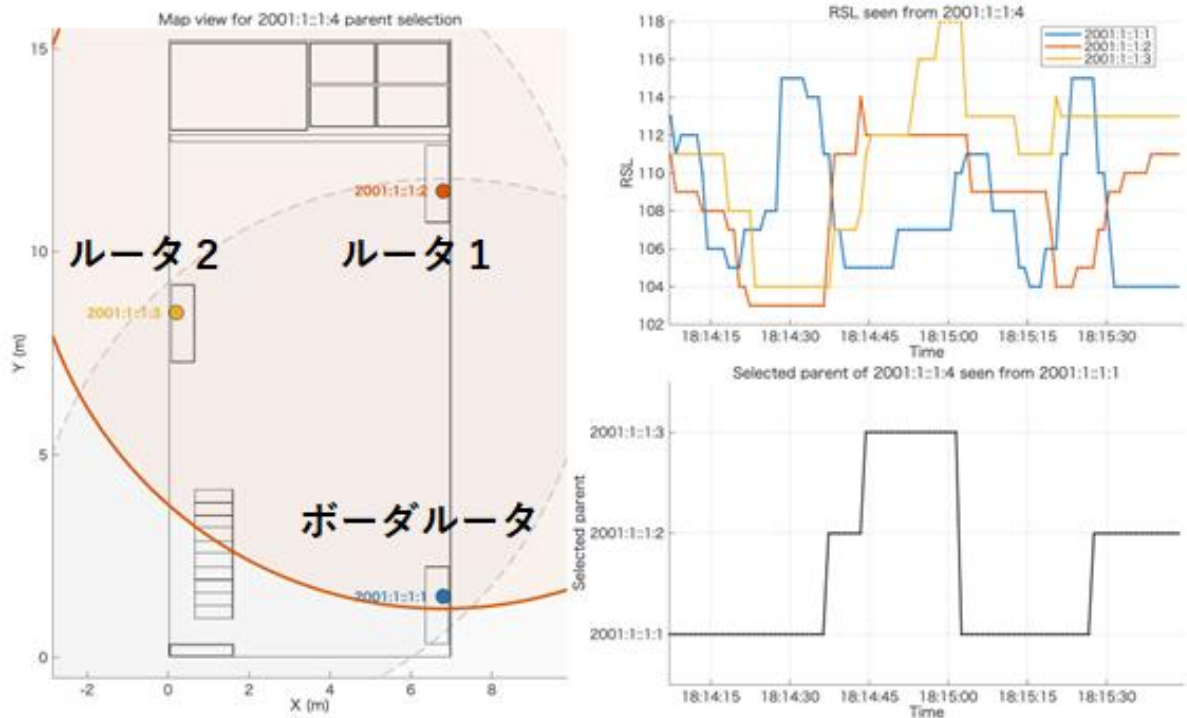


図 7：自律歩行型ロボットによる開発アルゴリズムの実証実験
(可視化ツール：ロボットが位置するエリア、接続先ノード情報を表示)

3. 今後の展開

今後は、ノードがランダムな移動や速度変化を伴う場合についても検証を進め、Wi-SUN FAN を用いた移動体通信技術の社会実装に向けた取り組みを推進します。また本研究成果は、2026 年 8 月に開催予定の電子情報通信学会研究会において発表を行う予定です。

4. 謝辞

本研究の一部は、総務省の「電波資源拡大のための研究開発 (JPJ000254)」(ミリ波帯等における移動通信システムの展開に関する研究開発) で実施した成果を含みます。

<用語解説>

1. Wi-SUN FAN (Field Area Network)

Wi-SUN アライアンスが制定する、スマートメータリング、配電自動化を実現するスマートグリッド、およびインフラ管理、高度道路交通システム、スマート照明に代表されるスマートシティを無線で実現するための通信規格。センサーやメーター等に搭載される IPv6 対応のマルチホップ通信仕様であり、広域かつ高信頼な IoT ネットワークを構築できる特徴を有する。2016 年にバージョン 1.0 が制定され、現在は高速通信、低消費電力化などに対応したバージョン 1.1 が制定されている。

2. RPL (IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks)

IETF で標準化された、IoT 向け低消費電力無線ネットワーク用の IPv6 対応経路制御プロトコル。ノード間で受信信号電力や通信品質の情報を交換しながら通信接続先ノードを自律的に構築する特徴を有する。