

令和元年6月21日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00138

研究課題名(和文) 異種ネットワーク相補的連携による超大規模IoTノード群への高速アクセス方式

研究課題名(英文) Hybrid-node based IoT network architecture

研究代表者

大島 浩太 (Ohshima, Kohta)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：60451986

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：短距離無線リンクを用いた中継伝搬型のIoTシステムは、ノード障害によりSinkノードまでの経路が失われ、また障害発生地点の把握に手間がかかるという課題がある。本研究では、短距離無線通信に加えて、中・長距離無線通信機能も備えたハイブリッドノードをIoTシステムの一部に配備することで上述の課題に対して効果的なネットワークアーキテクチャを開発した。本方式は、大規模な中継伝搬型のネットワークをハイブリッドノードを中心としたサブネットワーク単位で管理できるようになり、管理・運用性能が高い。設置場所固有の通信環境の調査を元にした通信制御と、プロトタイプシステムによる動作検証を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、将来的に膨大な端末がインターネットに接続されると予想されているIoTにおいて、管理・運用性能が高い中継伝搬型のIoTシステムに関するものである。管理・運用はネットワークにとって重要な視点であり、本研究成果を活かせる場面は多く存在すると考えている。学術面では、複数の異なる無線通信が混在する環境において、ネットワークの性能指標の一つである平均経路長の低減効果を示し、またハイブリッドノードの配置によりその効果が変わることも分かっている。ネットワークを構成する要素の仕様により最適なネットワーク構成やノード配置が変化することから、分析対象としても興味深いと考えている。

研究成果の概要(英文)：The relay propagation type IoT system using the short distance wireless link has a problem that the route to the sink node is lost due to the node failure, and it takes time to grasp the failure occurrence point. In this research, we have developed an effective network architecture by deploying hybrid nodes equipped with mid- and long-range wireless communication functions in part of the IoT system in addition to short-range wireless communication. This method can manage a large-scale relay propagation type network in a subnetwork unit by the hybrid node and has high management and operation performance. Communication control based on the investigation of the site-specific communication environment and operation verification using a prototype system were carried out.

研究分野：無線センサネットワーク

キーワード：IoT センサネットワーク ノード制御 異種ネットワーク連携

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

モノのインターネット: IoT(Internet of Things)は、これまでスタンドアロンで動作していたデバイスに無線通信機能を付与し、それぞれのデバイスが生成する膨大な情報を収集・処理することで得られる新しい価値は、将来の産業から生活に至る幅広いシーンでの活用が期待されている。特に、2020年までに500億台以上のIoT関連端末がインターネットに接続されると予想されており、PCやスマートデバイスを中心に60億台が接続される本研究の申請当時の状況に比べると膨大な数になる。またIoTには、家電やデジタルガジェット等の従来のハードウェアの無線化と、無線通信機能付き小型ノードの相互連携により環境情報を収集する無線センサネットワークの延長という、異なった性格の2種類がある。前者はマイクロコントローラや3G通信デバイスを用いた生活や仕事の利便性向上に注目した開発が多く、IoT端末がそれぞれ独立してクラウドサーバにデータを送信するネットワーク構成が多い。対して後者は、小型端末(センサノード)同士がIEEE802.11、802.15.4規格等の近距離無線を用いた中継伝搬型のネットワーク構成で、各端末が計測したデータをSinkノードに届けるネットワーク構成を採る。この構成は、幅広いエリアの環境情報を収集できる利点がある一方、センサノードの配置によるデータ収集効率や成功率の影響、バッテリー枯渇や機器障害によるSinkノードまでの経路消失と、障害個所の特定の手間と復旧までに時間を要するといった課題がある。これは、ノード障害によりネットワークが島状に分断されることが要因である。

2. 研究の目的

本研究は、大規模ノード数かつ中継伝搬型のデータ配送のIoTシステムを対象とした、膨大な数のノードから効率良くデータを収集するために適したネットワーク構成、管理・運用性に富む機能性を備えたネットワークアーキテクチャの開発を目的とする。大規模なノードで構成されるIoTシステムを実運用する場合、データ収集率の向上と、障害発生時にその影響を最小化することは重要である。複数ノードの協調によりデータを配送する中継伝搬型の通信では、データの中継ノードが故障やバッテリー枯渇、設置場所固有の通信状況の変化等により、それまで利用できていた経路の利用が難しくなる。迂回経路が発見できれば良いが、存在しない場合はネットワークが島状に分断される。分断が発生すると、Sinkノードが所属する島以外のセンサノードの生存状況が不明瞭になり、全ての障害を取り除くために時間がかかることになる。これは、災害検知目的で敷設するIoTシステムにとっては非常に問題である。大規模なIoTシステムにおいて、このような障害の影響を最小限にし、かつ障害からの復旧を短時間に留めるための技術開発を行うことが本研究の目的である。開発技術は、実際の環境における有用性を重視して行う。

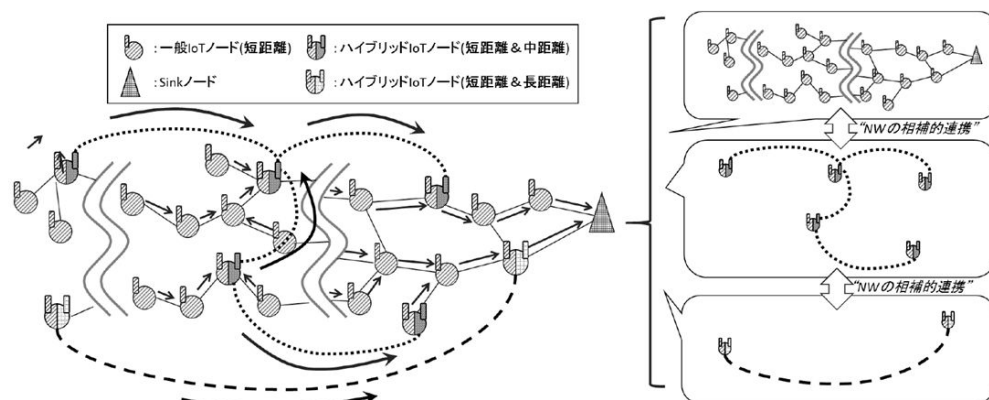
3. 研究の方法

前章で述べた目的を達成するにあたり、以下に示す手順で段階的に研究を進める。先行研究において実施した自然環境に設置した無線センサノードの通信特性の長期的評価から、システム設置場所の周辺環境の中長期的な変動(例:植物の育成状況や新規建造物)が通信効率・成功率に影響することが分かっている。そのため本研究では、多数の無線センサノードの管理性能を考慮した(1)ネットワークアーキテクチャの開発、(2)実環境における通信環境の調査とその応用技術の開発、(3)プロトタイプシステムの開発という3項目を実施した。

4. 研究成果

(1)中継伝搬型通信における管理・運用を重視したネットワークアーキテクチャ

中継伝搬型の無線センサネットワークでは、短距離無線通信のみを用いたネットワーク構成の場合に途中のノードの生存状況によりSinkノードまでの経路の有無が影響を受けるという課題が存在する。また、Sinkノードよりも遠方の無線センサノードからの情報をマージしながら中継伝搬する場合、単純な制御ではSinkノードに近いほど中継すべきデータ量が増加し、電力消費量が増加しバッテリー枯渇までの時間が短くなることになる。本研究では、Sinkノードま

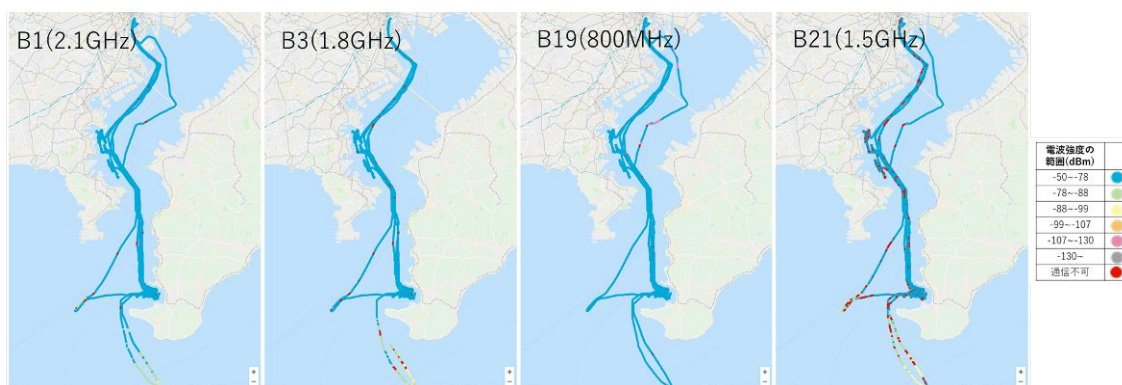


異種ネットワーク相補的連携ネットワーク
複数NWに繋がるハイブリッドノード内でのブリッジングにより、各ネットワークの機能を同時に利用できるようにするアーキテクチャ。
連携させるネットワークにより、様々な効果が生じる(図は通信距離の異なる無線通信の連携による平均経路長の短縮、他)

での平均経路長の増加により生じる問題と考え、解決するためのアーキテクチャとして図に示す異種ネットワーク相補的連携によるネットワークアーキテクチャを設計した。このアーキテクチャは、短距離無線通信で構成する中継伝搬型のネットワークを構成する無線センサノードの一部に、長距離もしくは中距離無線通信も利用できる機能を具備したハイブリッドノードを配置することを特徴とする。ハイブリッドノードにより、物理的に長距離の通信が可能になるため、経路のショートカット効果が生じ平均経路長を短くすることができる。さらに、長距離無線通信としてLTE/3G通信を用いると、携帯電話網経由でインターネットと直接接続できる。そのため、短距離無線通信を用いた中継伝搬によりSinkノードでデータを収集する運用コストの低い手段と、通信量や回数により運用コストが生じるが経路長を削減できる手段の併用により、コストと運用効率のバランスがとりやすい方式になっている。ハイブリッドノードによる効果は、ネットワークを構成する全ノード数に対するハイブリッドノードの導入割合や、ネットワーク上の配置場所によりその効果が変化する。また、ネットワークが島状に分断された場合に、ハイブリッドノードが自身の周辺の無線センサノードの生存状況を把握し、ネットワークの運用者に情報を伝えることで、短距離無線通信のみで構成された無線センサネットワークでは難しかったノード障害場所と生存状況の両方の把握を可能とする。また、巨大なネットワークをハイブリッドノードにより小規模ネットワークに仮想的に分割して管理することも可能であるため、柔軟かつ障害に頑健な運用が期待できる。

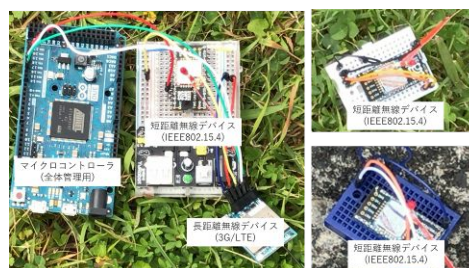
(2)実環境における通信環境の調査と応用

携帯電話網を用いる長距離無線通信は、設置場所や時間帯により通信環境が変化する。前者は主に周辺の基地局との接続環境が、後者は周辺基地局の利用人数の変動の影響を受けると考えられる。本研究では、無線通信のリンク品質の変動を考慮し、その場に適した通信制御を行うことで通信効率の向上を行う手段を採る。通信環境把握のために、携帯電話網の通信特性を計測するデバイスを開発した。開発デバイスは2種類である。1種類目は、Android OSの機能を用いてソフトウェアで接続基地局の情報と通信品質を計測し、またインターネットとの接続性を確認する機能を有している。基地局との接続はAndroid OSの制御により行われる。2種類目は、Linux端末にLTE/3G通信モジュールを複数搭載し、LTE通信のバンド別に接続基地局情報と通信品質を記録できる機能を実装したものである。移動体を用いて記録した結果を図に示す。LTEバンドと場所固有の接続状況との関係が確認できる。本システムを用いることで通信速度や接続性等の通信特性を用いた制御が可能となる。例えば、通信速度重視の場合は高周波数帯のバンドを利用し、接続性を確保したい場合は電波の回折性能に優れたB19を利用するといった応用的制御が可能になる。



(3)プロトタイプシステムの開発

短距離無線通信にIEEE802.15.4を利用し、長距離無線通信に3G/LTEを利用する、無線センサネットワークの評価用プロトタイプシステムを開発した。短距離無線通信デバイスは送信出力の違いにより中距離無線通信にも対応できるようにしている。マイクロコントローラを制御装置とするシステムは、Sinkノードとハイブリッドノードの両方の役割を担うことができる。開発したプロトタイプシステムを大学キャンパスに配置し、無線センサノードとハイブリッドノードが正常に動作することを確認した。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

大島浩太, 古谷雅理, 北川直哉, 庄司りり, スマートフォンと生体情報センサを用いた小型船

船向け海難通報システム、日本航海学会論文集、査読あり、Vol.136、2017、pp.72-79、
<https://doi.org/10.9749/jin.136.72>
羽子田哲弥、古谷雅理、大石浩世、大島浩太、夜間航行する小型船舶の視覚支援に関して、日
本航海学会論文集、査読あり、Vol.137、2017、pp.118-124、
<https://doi.org/10.9749/jin.137.118>
古谷雅理、羽子田哲弥、清水悦郎、大島浩太、小型船舶の遠隔操船に向けた基礎実験、日本航
海学会論文集、査読あり、Vol.137、2017、pp.103-109、<https://doi.org/10.9749/jin.137.103>
櫻田武嗣、古谷雅理、大島浩太、庄司るり、複数の通信回線を束ねる船陸間通信システムの
設計と小形デバイスによる試作、日本航海学会論文集、査読あり、Vol.137、2017、pp.9-14、
<https://doi.org/10.9749/jin.137.9>

[学会発表](計 14 件)

黒田英明、柏木岳彦、古谷雅理、大島浩太、東京湾海上における LTE 通信環境調査、電子情
報通信学会 IN 研究会、2019
Masaki Kondo, Ruri Shoji, Koichi Miyake, Tadasuke FURUYA, Kohta Ohshima, Etsuro
Shimizu, Masaaki Inaishi, Masaki Nakagawa, The Monitor System for Remotely Small
Vessel controlling, HCI International 2018、2018
Masaki Kondo, Ruri Shoji, Koichi Miyake, T. Zhang, Tadasuke FURUYA, Kohta Ohshima,
Masaaki Inaishi, Masaki Nakagawa, The "Watch" Support System for Ship Navigation,
HCI International 2018、2018
Takahiro Shimizu, Naoya Kitagawa, Kohta Ohshima, Nariyoshi Yamai、Detecting
Suspicious Behavior of SDN Switches by Statistics Gathering with Time, Asia Pacific
Advanced Network Research Workshop 2018、2018
Naoya Kitagawa, Kohta Ohshima, Tadasuke Furuya, Takehiko Kashiwagi, Ruri Shoji,
Measurement Report of LTE/3G Communication Environment in the Coastal Waters of
Tokyo, ISIS-MTE2018、2018
Taichi Miya, Kohta Ohshima, Yoshiaki Kitaguchi, Katsunori Yamaoka, The Upper Limit of
Flow Accommodation under Allowable Delay Constraint in HANETs, 2019 16th IEEE
Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)、2018
宮太地、大島浩太、北口善明、山岡克式、自律クラスター群における許容遅延に基づく GW 最適
配置の一考察、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2018
大島浩太、北川直哉、柏木岳彦、近藤正樹、古谷雅理、庄司るり、東京湾・浦賀水道海上にお
けるモバイルデータ通信の接続状況調査、電子情報通信学会 IA 研究会、2017
清水貴弘、北川直哉、大島浩太、山井成良、高精度時刻同期済 SDN スイッチ群を用いた転送
量情報の同時取得による経路検証手法、電子情報通信学会 NS 研究会、2018
櫻田武嗣、古谷雅理、大島浩太、庄司るり、複数の通信回線を束ねる船陸間通信システムの設
計と小形デバイスによる試作、日本航海学会第 136 回講演会、2017
古谷雅理、羽子田哲弥、清水悦郎、大島浩太、小型船舶の遠隔操船に向けた基礎実験、日本航
海学会第 136 回講演会、2017
羽子田哲弥、古谷雅理、大石浩世、大島浩太、夜間航行する小型船舶の視覚支援に関して、
日本航海学会第 136 回講演会、2017
大島浩太、中村尚彦、Wi-Fi と Bluetooth の連携によるトポロジ自動生成型情報配信方式の提
案、DICOMO2016、2016
大島浩太、古谷雅理、北川直哉、庄司るり、スマートフォンと生体情報センサを用いた小型船
船向け海難通報システム、日本航海学会第 135 回秋季講演会、2016

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：安藤 公彦

ローマ字氏名： Kimihiko Ando

所属研究機関名：東京工科大学

部局名：片柳研究所

職名：講師

研究者番号(8桁)：00551863

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。