

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：34412

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K21515

研究課題名(和文)遅延耐性ネットワークにおける省電力情報散布手法の研究開発

研究課題名(英文)Energy-efficient Information Dissemination in Delay Tolerant Network

研究代表者

久松 潤之(Hisamatsu, Hiroyuki)

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：90434802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：無線通信機器の小型化に伴い、無線端末の移動によりネットワークが分断される、遅延耐性ネットワークは、今後、様々なところに現れる。遅延耐性ネットワークにおいて、情報散布が重要であるが、既存の遅延耐性ネットワークやセンサネットワークの研究では、消費電力を考慮した情報散布はほとんど検討されていない。そこで、本研究課題では、遅延耐性ネットワークにおける省電力情報散布手法を提案した。既存の手法とは異なり、提案手法を用いることで、ネットワーク全体の消費電力の増加を抑えつつ、情報散布率を高くすることができる。また、理論検討のみにとどまらず、実ネットワーク上で動作する手法であることを示した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we tackle the issue of the energy-efficient information dissemination in delay tolerant networks. We propose method of disseminating information while optimizing electric power consumption in delay tolerant networks. Our new dissemination method employs flooding and uses the receiver signal strength to determine the broadcast timing. In our method, the node farthest from the sending node will rebroadcast the message first and a broadcast is canceled when a node scheduled to broadcast receives a duplicate of the scheduled message from other nodes. We evaluated our proposed method by simulation. As a result, it is found that the electric power consumption of the proposal method in the entire network is one-third that of the flooding method at the maximum. Furthermore, we showed that the farther the transmitting distance of the wireless radio wave becomes, the more efficiently our method can disseminate information to the network.

研究分野：トランスポートアーキテクチャ

キーワード：遅延耐性ネットワーク 無線通信 省電力

1. 研究開始当初の背景

近年、半導体技術の進歩により無線端末の小型化が進み、それに伴い無線センサネットワークへの注目が高まっている。現在までに、既に多くの分野で、無線センサネットワークが適用されている。例えば、危険なため人が入りにくい場所にノードを散布し、水害、林野火災、土砂崩壊などの災害検知や、有害ガスを検知するノードを用いることで、街中の大気、工場からのガス排出を監視する環境モニタリング、ビル内の人の数や、空調、照明の状況を検知し、空調、照明を管理するビルの環境管理がある。

無線センサネットワークは、上述のように様々な分野で用いられているが、想定されるネットワーク環境は、用いられる領域によって異なる。例えば、上述のビルの環境管理の場合、ノードは定期的なメンテナンスを受けることが可能で、ノードの故障、電力の枯渇等は深く考慮する必要はないと考えられる。一方、災害の検知の場合では、ノードの移動、故障等を十分に考慮する必要がある。

ノードの移動や故障等、状況が変化するネットワークでは、始点となるノードから終点となるノードまで、事前に経路を決定することは困難である。終点となる端末が移動する場合は、情報を送信する時点において、経路を決定することは難しい。情報をネットワーク全体に散布することで、確実に目的となるノードに情報を届ける手法は、始点ノードから終点ノードへの経路決定が難しい場合に適用される、代表的な手法の一つである。

これに加えて、ノードから効率的な情報収集のために、収集すべき情報や通知すべきイベントを、全てのノードに散布する手法が提案されている。さらに、センサネットワークにおけるノードの故障に対応するための管理システムが提案されている。このシステムでは、確実にノードに情報を届けるために、ネットワーク全体へ情報を散布させる。また、既に動作しているノードに対して、プログラムをインストールするための情報散布手法が提案されている。この研究でも、確実にプログラムをノードに届けるために、ネットワーク全体へ情報を散布するアプローチが取られている。

このように、センサネットワークにおいて、何らかのアプリケーションを動作させる場合に、センサネットワーク全体へ情報を散布させることが求められている。また、無線センサネットワークが我々にとって身近になるにつれ、センサネットワーク上で動作するアプリケーションは増えることが考えられる。今後、情報散布手法がよりいっそう、重要となることが予想される。

ネットワーク全体に情報を散布する手法の問題点の一つとして、消費電力量の増加が挙げられる。無線センサネットワークにおいて、無線によるメッセージの送受信によって消費する電力量は、センサノードの動作にお

いて消費する電力量のうち大きな割合を占める。定期的なメンテナンスを期待できない環境でバッテリーによって駆動するセンサノードにとって、限られた電力資源を有効に活用しネットワークの稼働時間を延ばすためには、無線通信による電力消費を抑える事が重要となる。

2. 研究の目的

無線センサネットワークにおける、消費電力を考慮した情報散布手法を提案する。提案手法は、フラッディング手法を基にした情報散布を行う。フラッディング手法は、新しい情報を受信したノードは、その情報を全ての隣接ノードへブロードキャストする一方、既に取得済みの情報を受信したノードは何も行わない。提案手法では、無線によりメッセージを受信したときの受信電力を用いて、メッセージのブロードキャスト時刻を制御する。一般的に、受信ノードから遠くのノードが送信された無線の電波ほど、伝搬損失のために、受信電力は小さくなる。このことを利用して、提案手法では、新しいメッセージを受信してブロードキャストするまでに、再度同じメッセージを受信した場合、ブロードキャストを取りやめる。これによって、提案手法は、送信ノードからより遠くにある受信ノードが、先にメッセージをブロードキャストする機会を持つことで、少ないブロードキャスト回数で情報を散布させることができる。

3. 研究の方法

提案手法をモデル化し、さらに、そのモデルに対して、シミュレーション、実機による評価により、提案手法の有効性、妥当性を示した。

まず、以下にモデル化方法を示す。ネットワークが二次元の平面正方格子の上にあると考える。無線端末は、格子点上にランダムに存在する。このとき、格子点上に無線端末が存在する確率をサイト確率(ノード密度に相当する)、無線端末同士が通信できる確率をボンド確率とする。本研究で提案する情報散布手法と、既存の手法として、遅延耐性ネットワークで通常用いられる疫病型のフラッディング手法を、このネットワークモデルに適用し、ボンド確率を導出する。サイト確率(対象とするネットワークごとに異なる。適切に設定する)、ボンド確率を元に、パーコレーション理論を用いて、ネットワーク全体での連結度、すなわち、情報散布率を導出した。

次に、シミュレーション方法を示す。二種類のモデルにてシミュレーションを行う。最初のシミュレーションモデルでは、1辺100mの二次元正方格子100x100上に、ノードが存在する。もう一つのシミュレーションモデルでは、ノードをランダム配置する。各ノードは、CrossBowのMICAz[1]を想定する。また、無線の周波数を2.45 [GHz]、送信レートを250 [Kbit/s]、パケットサイズを



図 1: 実験に用いたノード

127 [Byte]とし、メッセージは全て単一の packets に収まるとする。電圧を 3.0 [V]とし、メッセージ受信時に流れる電流を 19.70 [mA]とする。さらに、送受信アンテナの利得を 0 [dBm]、ノードの最低受信感度は、-90[dBm] とする。

無線の送信距離を 100、150、200 [m] の 3 種類に設定し、いずれの場合においても、受信電力が -80 [dBm] となるように、送信電力を定める。本研究では、ノード間に障害物、および、反射物がないと仮定し、無線の電波が自由空間損失モデルに従うとする。

次に、実機での実験方法について説明する。実機は、NXP 社の IEEE802.15.4 MAC 搭



図 2: 実験環境

載のマイコンを用いる。実験に用いたノードを図 1 に示す。

このノードを一辺 5m の正方格子上に配置し、実験を行った。実験は、大阪電気通信大学四條畷キャンパスグラウンドで行った。実験環境を図 2 に示す。安全に実験を行うために、ノードには LED を設置してある。なお、この LED はセンサとは別の電源から電気を供給される。

4. 研究成果

提案手法は、メッセージを受け取った際の受信電力に応じて、メッセージをブロードキャストするタイミングを決定する。ノード間に障害物、および、反射物がないとき、つまり、無線の電波が自由空間損失ロスモデルに従うとき、一般的に、受信ノードから遠くのノードが送信された無線の電波ほど、伝搬損失のために、受信電力は小さくなる。この性質を利用して、提案手法では、送信ノードか

らより遠くにあるノードが先にブロードキャストを行う。また、提案手法では、新しいメッセージを受信したノードが、受信したメッセージをブロードキャストする前に、再度、同じメッセージを受信した場合には、ブロードキャストを取りやめる。具体的には、受信ノードがメッセージを受信した際に、ブロードキャストするまでの待ち時間 T を次式で定めた。

$$T = DIFS + \left(CW + \left[CW \times \frac{P_r}{P_r^{\max}} \right] \right) \times slot_time$$

式中の CW は、IEEE802.15.4 の衝突をさけるためのパラメータ値、 P_r は受信電力、 P_r^{\max} は、受信電力の最大値で、これは、伝搬損失がない場合の受信電力として導出した。この式に従うことで、受信電力が小さいノードほど、すなわち、送信ノードから離れたノードほど早く送信を行うことができる。

シミュレーションにより以下を示した。フラッディング手法と提案手法ではどちらも、より大きな電力を消費することによってメッセージの送信距離を増加させることで、情報散布率の高い領域を広くすることができる。このとき、フラッディング手法は、より大きな電力を用いてメッセージの送信距離を増加させると、それとともに、ネットワーク全体の消費電力量が非常に増加する。それに対して、提案手法では、同様に送信距離を増加させた場合において、ネットワークの消費電力量の増加を最小限に抑えることができる。

また、フラッディング手法はノード数が増加するにつれて、消費電力が増加するが、提案手法ではネットワーク全体の消費電力量が減少することがわかった。これにより、提案手法の有効性を示せた。

また、実機による実験により、提案手法を用いて、実際にネットワーク全体に対して情報を散布できることを示した。さらに、提案手法は、フラッディング手法と同等の高い情報散布率を維持しつつ、ネットワーク全体の消費電力はフラッディング手法より小さいことを示した。この結果より、提案手法の有効性、実現性が示せた。

<引用文献>

[1] MICAZ. available at http://www.openautomation.net/uploads/products/micaz_datasheet.pdf

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 2 件)

谷口義明、久松潤之、A Road Surface Condition Monitoring System Using Bicycle-Mounted Laser Light、International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology、査読有り、17 巻、2017、1-5、DOI: 10.5013/IJSSST.a.17.35.02
谷口義明、西井広大、久松潤之、Evaluation of a bicycle-mounted ultrasonic distance sensor for monitoring obstacles and holes on road、International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology、査読有り、16 巻、2015、1-6、DOI: 10.5013/IJSSST.a.16.06.01

〔学会発表〕(計 3 件)

谷口義明、久松潤之、A Study on Road Surface Condition Monitoring System Using Bicycle-Mounted Grid Laser Light、7th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation、2016 年 1 月 24 日、バンコク(タイ)
谷口義明、西井広大、久松潤之、Evaluation of a Bicycle-Mounted Ultrasonic Distance Sensor for Monitoring Road Surface Condition、7th International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks、2015 年 6 月 3 日、リーガ(ラトビア)
久松潤之、長谷川剛、村田正幸、Energy-efficient information dissemination based on received signal strength in wireless sensor networks、IEEE 2015 International Communication Quality and Reliability Workshop (IEEE CQR 2015)、2015 年 5 月 13 日、チャールストン(アメリカ合衆国)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久松 潤之 (Hisamatsu, Hiroyuki)
大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授
研究者番号：90434802

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

村田 正幸 (Murata, Masayuki)
パッタラ リーラープルット (Pattara Leelaprute)