

5Z-4

## RPL を改良した同期型省電力ルーティングプロトコルの実装と評価

鈴木 良典<sup>†1</sup> 松野 智明<sup>†2</sup> 串岡 聡<sup>†1</sup> 今原 淳吾<sup>†3</sup> 鈴木 基嗣<sup>†3</sup> 峰野 博史<sup>†1</sup><sup>†1</sup> 静岡大学情報学部 <sup>†2</sup> 静岡大学情報学研究科 <sup>†3</sup> 静岡県農林技術研究所

## 1 はじめに

近年センサネットワークは、環境モニタリング、交通制御、安否確認など様々な分野で使用されている。様々なセンサネットワークの中でも LLNs (Low power and Lossy Networks) と呼ばれる施設園芸環境や森林などのような外部電力が得にくく通信環境も良くない場所で行うセンサネットワークが存在する。LLNs 環境ではバッテリー交換を頻繁に行うことが難しい従ってノードの寿命を延ばすために少しでもノードの消費電力を抑える必要がある。電力消費を抑える必要があるためにセンサノードは処理能力、メモリの量、通信モジュールの起動時間などに制限がかかる。さらに LLNs 環境では多くの場合広範囲のデータ収集が求められるためにマルチホップ通信を用いたメッシュネットワークが必要である。そのためメッシュネットワークの適切な運用に必要なルーティングプロトコルが重要である。しかし通常のルーティングプロトコルでは LLNs 環境の変化する通信環境に対応することができない。

本稿では LLNs 環境に対応したルーティングプロトコルである RPL [4] を同期型ルーティングプロトコルとすることにより省電力化を行いこのプロトコルを実装し、非同期型の RPL と比較しどのような通信特性を得られるかを実験を行い評価する。

## 2 関連研究

近年では様々な方法の無線センサネットワーク向けのルーティングアルゴリズムが提案されている。

代表的なものとして位置情報を用いたルーティングがある。この方法では GPS などを用いてノードの位置を割り出しその情報をもと通信範囲にある内の最も目的ノードに近いノードにデータを送信することで適切なルーティングを行う。代表的なプロトコルでは GFG (Greedy-Face-Greedy) [1], GPCR (Greedy Perimeter Stateless Routing) [2] などがあげられる。しかしこの方法では位置測定装置に測定誤差が発生する、通信可能予測範囲と実際の通信範囲では異なるため予測では通信可能ノードでも通信を行うことができない、などの問題があり LLNs 環境に適さない。

その解決策としてシンクノードなどからのネットワーク上の距離を用いたルーティングがある。この方法では上記の位置情報を用いたルーティングの位置情報を物理的位置ではなくホップ数などのネットワーク上の位置をもとにルーティングを行う。代表的なプロトコルとして BVR (Beacon Vector Routing) [3], RPL [4] などがあげられる。しかし無線ネットワーク上の距離は動的に変化することがあるため変化するためにルーティングテーブルを書き換えなければならない問題があるがルーティングテーブルを高頻度で書き換えることで LLNs 環境に対応できる。

これらの様々なルーティングプロトコルがあるが本稿ではネットワーク上の位置情報を用いたものを使用することにする。さらに本実験ではシンクノードと呼ばれるデータを集めるノードにセンサノードのデータを集める機能のみを必要としたネットワークを想定しているため BVR [3] のようなセンサノードどうしの通信に対応している必要がなくホップカウント以外の指標をメトリ

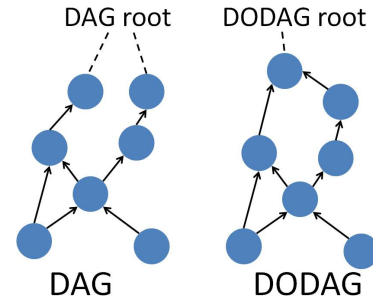


図 1: DAG と DODAG

クスとして扱いやすい RPL を本実験のベースプロトコルとする。

## 3 同期型省電力ルーティングプロトコル

## 3.1 RPL

RPL は 2010 年に IETF ROLL によって発表された LLNs 環境向けのルーティングプロトコルである。RPL では図 1 で示す有向グラフのようなネットワークを構築する。

- DAG (Directed Acyclic Graph) : 無閉路有向グラフ
- DAG root : DAG ノードの中で発信する枝を持たないノード
- DODAG (Destination Oriented DAG) : DAG の中で DAG root が一つしかないグラフ
- DODAG root : DODAG の DAG root

DODAG 構造ではすべてのノードが DODAG root を指すようになっている。DODAG root をシンクノードとみなし DODAG root からのホップ数などのメトリクスによって各ノードはランクを設定しにそのランクもとに自身のランクよりランクの低いノードにデータを送ることによってルーティングを行っている。

また RPL では新規のノードの追加や通信状態の変化などにより DODAG 構造が崩れる場合がある。その場合 DODAG 構造の更新を行う必要があるが更新を行うタイミングによっては更新が頻度が高くなってしまい不要な更新を行ってしまい無駄な電力を使用して逆更新を行うタイミングが遅くデータの欠損が起きてしまう場合がある。通常の RPL ではトリックルタイマーと呼ばれる仕組みがありデータの欠損が起きる場合 DODAG の更新頻度を上げデータ欠損が起きない場合、DODAG の更新頻度を下げるようになっている。LLNs 環境のように常に通信状況が変化する環境の場合、DODAG の更新頻度は常に最大になり消費電力が大きくなる傾向があった。

そこで本稿では RPL を同期型にすることですべてのデータを転送する前に必ず DODAG 構造の更新を行うことで高頻度の DODAG の更新をなくし省電力化を実現し、通信状況の変化が少ないうちにデータを短期間のうちにすべてのデータを送信することで信頼性の向上を実現する同期型省電力ルーティングプロトコルを提案する。

## 3.2 提案手法

RPL を改良した同期型省電力ルーティングプロトコルを用いる。本実験では温度や湿度といった環境データを 10 分に一回データを送信するセンサネットワークを想定してルーティングプロトコルである。本ルーティングプロトコルは以下のような手順で通信を行う。

1. Sleep : 送信時刻になるまで通信モジュールを Sleep させる。

Implementation and Evaluation of RPL-based Low-power Synchronous Routing Protocol for Wireless Sensor Networks

Yoshinori Suzuki<sup>†1</sup>, Tomoaki Matsuno<sup>†2</sup>, Satoshi Kushioka<sup>†1</sup>, Junjo Imahara, <sup>†3</sup>Mototsugu Suzuki, <sup>†3</sup>Hiroshi Mineno.<sup>†1</sup>

<sup>†1</sup>Faculty of Informatics, Shizuoka University <sup>†2</sup>Graduate School of Informatics, Shizuoka University <sup>†3</sup>Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry

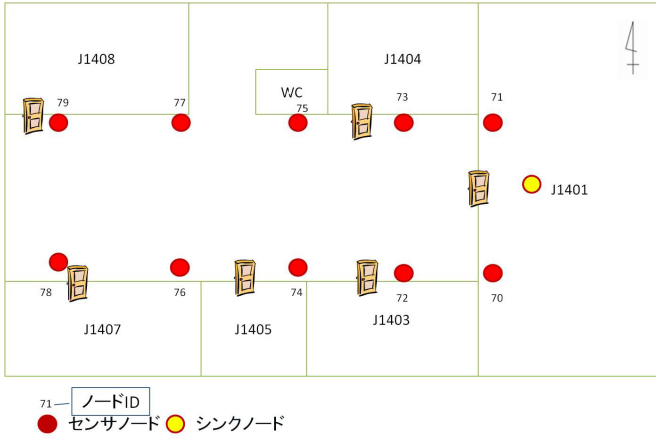


図 2: センサ配置図

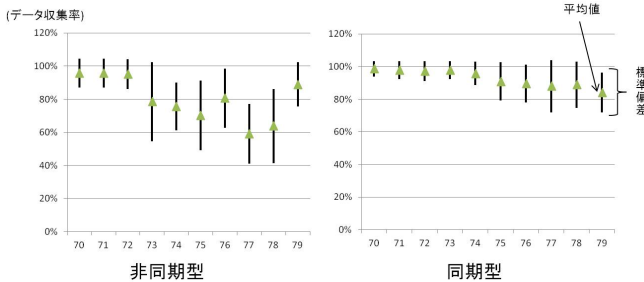


図 3: 各ノードの平均データ取得率と標準偏差

2. 同期 : シンクノードから同期信号を各センサノードに中継させて全センサノードと同期をとる。同期を行うのと同時にランクの設定と DODAG 構造の更新を行う。
3. hello : hello パケットを送り合い、近隣ノードの通信状況やランクなどの情報入手、複数の親となるノードを持つノードはどの親ノードにデータを送信するかを通信品質の値である LQI 値をもとにノードを決定する。
4. データ送信 : 近隣ノードの情報から予測してシンクノードから最も遠いノードから順にデータを送信する。データを受信したノードはデータの中継を行う。データの送信後 1 に戻る。

ランクのメトリクスとしてホップカウントと LQI 値を用いている。ランクの計算は近隣のノードの中で LQI 値が一定以上かつ最もランクの小さいノードの一つ下のランクになるようにする。親ノードの選択は自身よりランクが上位にあり最も LQI 値の高いノードとした。

## 4 実験と実験結果

### 4.1 実験環境構築

図 2 に静岡大学 情報学部棟 1 号館 4 階で行った実験のセンサの配置図を示す。シンクノードを J1401 室に置きそこから約 2 メートル間隔でセンサノードを配置した。同期型ルーティングプロトコルの実験は 2011 年 11 月 3 日、非同期型プロトコルの実験は 2012 年 1 月 7 日にそれぞれ実験を行った。本実験では必ず 10 分周期で DODAG の更新を行う非同期の RPL と提案手法を使用した。

### 4.2 実験結果

各センサノードの 1 時間ごとのデータ収集率の平均データ収集率とデータ収集率の標準偏差を図にしたものを図 3 に示す。図 3 に示すとおり非同期型に比べ同期型のほうが収集率が高いことがわかる。この結果から DODAG の更新頻度を同じにした場合、同期型のプロトコルのほうがより信頼性の高い結果がえられることがわかる。

実環境で同程度経路の揺れが起きるかを把握するために経路を分析した。分析した結果同期、非同期型ルーティングプロトコルにかかわらず一部のノードにデータの中継が集中していたこと

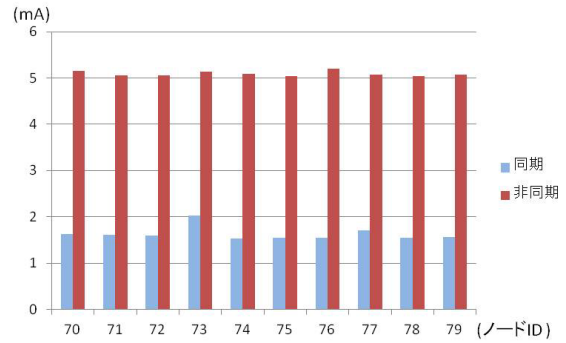


図 4: 各ノードの平均消費電流

が判明した。これは一部のノードが通信状況の良い場所にあるためと思われる。このことから一部のノードにデータの集中を回避することが求められる。

本実験中の平均消費電流を図 4 に示す。図 4 に示すように非同期型のルーティングプロトコルのほうが消費電流が多いことがわかるこれは非同期 RPL の MAC プロトコルとして LPL (Low Power Listening) [5] 方式を用いた 1 秒周期の間欠動作を行ったためである。また間欠動作の周期を 1 秒より長くすることで非同期型ルーティングプロトコルの消費電流を減らすことが可能だがそれを行うと信頼性やリアルタイム性を損なう可能性がある。

## 5 まとめと今後の展開

本稿では、無線センサネットワーク向け同期型省電力ルーティングプロトコルの比較実験を行った。同期型プロトコルはデータ収集率も省電力化も使用したセンサノード上では比較的に良い結果だったと思われる。今後は、長期の実験を行いより長期にわたる通信特性の変化を研究し、よりデータ取得率の向上および負荷分散による省電力化を行い、より LLNs 環境に近い施設園芸環境で実験を行う予定である。将来的には、高密度にセンサを配置しより粒度の高いデータの取得、Web インターフェースによるデータの見える化、照度、土壌水分センサーを現在のセンサノードに追加しより多くのデータを扱えるようにする予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費 若手研究費 若手研究 A (21680007) および挑戦的萌芽研究 (22650012) の助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] P. Bose, P. Morin, et al, " Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks, " in 3rd ACM Int. Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications (DIAL). Seattle, WA, USA: ACM, August 20 1999, pp. 48-55.
- [2] B. Karp and H. Kung, " GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for wireless networks, " in Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom). Boston, MA, USA: ACM, 06-11 August 2000, pp. 243-254.
- [3] R. Fonseca, et al, " Beacon Vector Routing: Scalable Point-to-Point Routing in Wireless Sensor Networks, " in 2nd Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI). Boston, MA, USA: ACM, 2-5 May 2005, pp. 329-342.
- [4] RPL: IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks ROLL IETF Internet-Draft, 14 September 2011, draft-ietf-roll-rpl-19[work in progress].
- [5] Jurdak, R., Baldi, P. and Lopes, C.V, " Adaptive Low Power Listening for Wireless Sensor Networks, " IEEE Transaction on Mobile Computation, 2007, Vol.6, No.8, pp.988-1004.