

ロバスト性を有する WSN 用ルーティングアルゴリズムの提案と実装

指導教員 福田浩章

川部勝也

1. 背景

IoT の普及に伴い、WSN(Wireless Sensor Network) は自然科学、医療、軍事など様々な分野で利用されている。WSN は周囲の環境情報を収集し、その情報を一定間隔でベースステーションに送信する。この場合、ベースステーション付近のノードにトラフィックが集中してバッテリーの消費が多くなる。ベースステーションに繋がるノードがダウンすると、それ以降のデータはベースステーションに送信されなくなる。この問題を解決するために、Distributed Hash Table(DHT)[2] を WSN 上で構築し、負荷を分散する研究がある [1]。DHT はデータを一元管理する中央サーバが存在せず、純粋な P2P 型のネットワークを実現する技術であり、管理するデータの識別子をファイル名やファイル自体からハッシュ関数を用いて算出されるハッシュ値で表現する。多くの DHT は $O(\log N)$ で探索が可能で、一つのノードに負荷が偏らない。Chord[5] は DHT の一種であり、識別子が時計回りに増加していく論理的なリング状のネットワークを導入している。WSN では物理的な距離が離れているとパケットが届かず、Chord のリング状ネットワークを適用する際にはこの問題を考慮する必要がある。

2. 関連研究

2.1 CSN

Chord は論理的なリング状ネットワークを構築するが、リング上でノード同士の距離が近くとも、物理的な距離が遠い場合もある。その場合、パケットが届かない可能性があり、データの検索を保証できない。CSN[3] は物理的に近い距離のノード同士でリングを作り、階層化することでこの問題を解決している。しかし、CSN では管理者が WSN に保存されているデータを検索する前提なので、最上層のノードからしかデータ検索を行えない。

2.2 CMSN

CMSN[4] は CSN をモバイルエージェントの探索用に拡張した研究である。リングに参加しているノード全てからデータ検索を行えるが、検索を行ったあとの結果の返信については考慮していない。さらに、リング構築には個々のノードがどの位置で、どの階層のリングに属するかを予め決定しておく必要がある。これは、ノードの配置が限定される上、ノード毎に階層の情報を個別にプログラムする必要がある、管理者の負担となる。

そこで本研究では、ノードに階層の情報を持たせず、ノードの配置に応じたリングを構築するとともに、確

実に検索結果を返信するルーティングアルゴリズムを提案する。

3. リング構築アルゴリズム

3.1 構築手順

アルゴリズムの前提として、ノードが持つ初期情報は WSN 全体でのクラスタヘッド、最上層のリング参加限界数 (top_limit) とする。図 1 にリング構築アルゴリズムを示す。リング構築はクラスタヘッドがリング構築メッセージをブロードキャストして開始する (1)。メッセージを受け取ったノードのうち、どのリングにも属していないノードは ACK を返す (2)。N1 は受信した ACK の中で物理的に近いノードをリンク先に選び、そのノードに対してリンクする (3)。リンクされた N2 は同様にブロードキャストする (4)。近隣のノードは N2 に ACK を返すが、この際、N1 は既にリングに参加しているため、ACK を返さない (5)。その結果、N2 は最も近い N3 にリンクする (6)。ノードは近接ノードリンクする時、リングに参加しているノード数、クラスタヘッドの識別子、所属する階層の深さ ($level$) の情報を通知する。参加数が参加限界数 ($limit: top_limit/2^{level-1}$) 未満ならば、同様の手順でリンク先のノードを探索する。参加するノード数が限界に達したか、ブロードキャストに ACK が帰ってこなかった場合、リング構築完了メッセージをクラスタヘッドに送信する。リング構築完了メッセージを受け取ったクラスタヘッドはリングの参加限界数が 3 個以上であれば下層のリング構築を開始する。下層のリングを構築後はリンクしたノードに下層リング構築開始の旨を通知する。メッセージを受け取ったノードは下層のクラスタヘッドとして、同様に下層のリングを構築する。これを繰り返す、最下層のリングまで構築する。

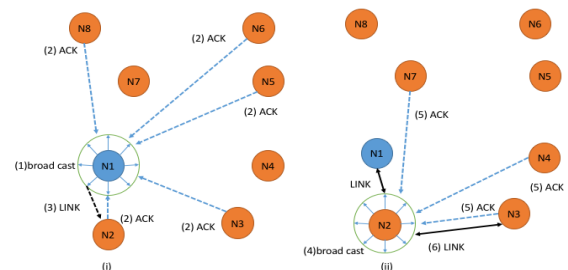


図 1: リング構築アルゴリズム

4. 検索結果の返信

リング構築後、検索結果を検索元のノードに返信するためのアルゴリズムについて述べる。検索時、返信時のメッセージは、ハッシュ値、経路情報、検索結果から構成される。経路情報はノードの識別子を格納するスタックであり、最長はノード総数を N 、階層数を M とした時 $2^*M\log N$ となる。検索後、スタックから識別子を取り出し、識別子のノードに結果メッセージを送信する。この時、識別子のノードは物理的に近い距離であることがリング構築時に保証されているため、メッセージが届かないことはない。メッセージを受け取ったノードは同様にスタックから識別子を取り出し、識別子のノードにメッセージを送信する。これをスタックが空になるまで繰り返す。

5. 検証と考察

検証には WSN 用 OS である Contiki[6] と付属するシミュレータ、Cooja を用い、C 言語で提案アルゴリズムを実装した。

5.1 リング構築

ノードを正方形の領域内にランダムに配置し、配置数と領域の大きさを変え、リング構築をそれぞれ 10 回行った結果を表 1 に示す。全ての実験で確実にリングを構築することができた。リングの参加率が表 1 のような結果となったのはノードの配置によって図 2 のように、リングに参加しているノードの分布が領域内の局所的な部分に集中してしまい、早々にリンクするノードを発見できなくなったためと考える。

配置数 (個)	最上層参加層数 (個)	理想参加数 (個)	実参加数 (個)	構築時間 (分:秒)	領域 (縦*横 m)
72	6	30	22.6 (75%)	8:35	200*200
72	8	56	32.89 (58%)	11:42	200*200
144	8	56	32 (57%)	12:45	300*300

表 1: リング構築

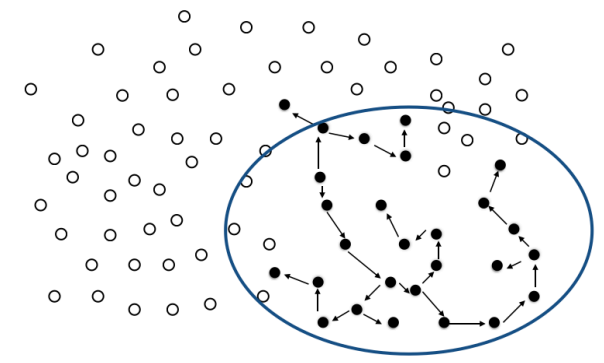


図 2: リングに参加しているノードの分布

5.2 データ検索

最上層の参加数を 8 個、階層数を 3 個、合計参加数を 32 個のリングを構築し、全てのノードで 10 回の検索を実行した。そして、検索後の応答パケットに経路

情報を持たせ、それを元に結果を返信した時の消費電力を検証した。その結果を図 2 に示す。消費電力は 24 時間あたり 1.886W であり、これはノードの電力総量を 21600J[7] とした場合、理論上、連続 11452 日の稼働が可能であると言える。WSN は数年にわたる長期間での運用であるため、検索結果の返信を経路情報を用いて行うことは有効であると考ええる。

実行時間	消費電力 (W)	24 時間あたりの消費電力 (W)
26:44	0.0324	1.886

表 2: 経路情報を用いた検索による消費電力量

6. まとめ

本研究では WSN においてノードの配置に応じた動的なルーティングアルゴリズムを実現し、ノードの参加率、検索結果の返信に経路情報を用いた場合の消費電力を比較することで有効性を示した。今後の課題として、リングが WSN の領域内で均等に分散せず、局所的に形成されてしまったため、参加率が落ちてしまった。そこで、リンク時に返信する ACK に指向性の情報を持たせ、リングの形を制御することでより多くのノードの参加を実現する必要がある。

参考文献

- [1] Thanh, Vinh Vu, et al. "A survey of routing using dhds over wireless sensor networks." Proceedings of The 6th international conference on information technology and applications (ICITA 2009). 2009.
- [2] 江崎浩: "P2P(ピア・ツー・ピア)教科書", インプレス R&D (2008-1)
- [3] Ali et al.: CSN: A network protocol for serving dynamic queries in large-scale wireless sensor networks, In *Proceeding of the Second Annual Conference on Communication Networks and Services Research*, 2004, pp.165-174.
- [4] Hiroaki Fukuda, Paul Leger, and Keita Namiki. "CMSN: An Efficient and Effective Agent Lookup for Mobile Agent Middleware." J. UCS 22.8 (2016): 1072-1096.
- [5] Stoica, Ion, et al. "Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications." ACM SIGCOMM Computer Communication Review 31.4 (2001): 149-160.
- [6] Dunkels, Adam, Bjorn Gronvall, and Thiemo Voigt. "Contiki-a lightweight and flexible operating system for tiny networked sensors." Local Computer Networks, 2004. 29th Annual IEEE International Conference on. IEEE, 2004.
- [7] Perla, Enrico, et al. "PowerTOSSIM z: realistic energy modelling for wireless sensor network environments." Proceedings of the 3rd ACM workshop on Performance monitoring and measurement of heterogeneous wireless and wired networks. ACM, 2008.