

センサネットワークの長期運用を考慮した経路決定法

加古 崇文[†] 横田 裕介^{††} 大久保 英嗣^{††}[†]立命館大学大学院理工学研究科 ^{††}立命館大学情報理工学部

1 はじめに

近年、自然災害の被害が拡大し、特に、土砂災害による被害が深刻になっている。我々は、土砂災害による被害を防止するため、センサネットワークを用いた斜面防災システムの研究を進めている。本システムは、斜面の状態を監視し、土砂災害発生を予測することによって事前に避難や対策を講じることを可能にし、被害を最小化することを目的としている。このシステムでは、センサノードを観測機器として用いる。多くの場合、センサノードはバッテリー駆動であるため、バッテリー切れによる寿命が存在する。センサネットワークでは、通常マルチホップ通信を用いて1箇所に観測データを集める。このため通信が集中するノードが存在するが、通信による消費電力は大きいため、通信量が多いノードは比較的早く寿命を迎える。一方、これらのノードはネットワークの要となるものが多く、その寿命はネットワーク全体の寿命に大きな影響を及ぼす。

本稿では、以下の背景から、通信経路を動的に切り換えることで特定のノードへ通信が集中する状況を緩和する手法を提案する。通信の集中の抑制によりネットワークの要となるノードの延命を図り、センサネットワーク全体の寿命を延長することを目指している。

以下、本稿では、2章でセンサネットワークの長期運用における課題について述べる。3章で長期運用を考慮した経路決定法を提案し、4章ではそのシミュレータによる評価について述べる。5章では関連研究について述べ、6章で検討課題について述べる。

2 長期運用における課題

センサネットワークの長期運用を考える場合、ノードの寿命が問題となる。ノードは、バッテリーを交換することで動作し続けることが可能である。しかし、センサネットワークでは多数のノードを用いることが多いため、ネットワーク設置後にノードを回収しバッテリーを交換する作業には、多大な労力およびコストを必要とする。したがって、できる限りノードの消費電力を抑えて寿命をのばし、バッテリー交換までの期間を長くすることが重要である。表1に現在幅広く利用されているノードである米 CrossBow 社の IRIS, MICAz の消費電力について示す。これより、無線通信における消費電力が相対的に大きいことが分かる。したがって、各ノードの通信量を減らすことでノードの消費電力を大きく抑えることが可能であると考えられる。

センサネットワークでは、観測データを1か所に集約する。そのため、その通信経路は、収集先となる基地局を根としたツリー構造をとることが多い。このツリー構造は、通信経路を構築するためのメッセージをノード全

表1 センサノードの消費電力 [1]

(mA-h)	IRIS	MICAz
CPU	0.008 (sleep) ~8 (full)	0.010 (sleep) ~12 (full)
無線通信	0.001 (sleep) 16 (receive) 17 (send)	0.001 (sleep) 19.7 (receive) 17 (send)
Flash Memory	0.002 (sleep) 4 (read) 15 (write)	0.002 (sleep) 4 (read) 15 (write)

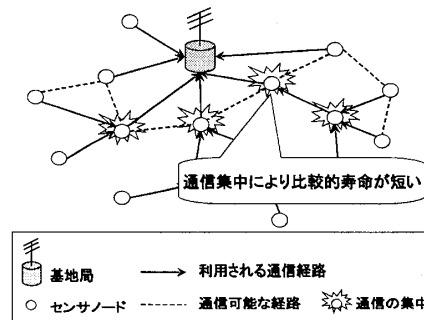


図1 データ通信の集中

体に送信することで構成される。ツリー構造の変更は、ノード間の通信が途絶することではじめて行われる。

センサネットワークが行うデータ収集の方法は、条件に合致するデータのみを取得する場合と、定期的にデータを送し網羅的に収集する場合の2種類に大きく分けられる。前者の方法では、例えば、あらかじめ指定する条件として特定の閾値を設定し、この閾値を超えた場合のみデータを送信するような場合が考えられる。後者の方法においては、前者の場合と異なり、すべてのノードから定期的にデータ送信が発生するため、図1に示すように一部のノードにおいて通信負荷が高まることが避けられない。この負荷集中によりノードが他のノードに比べ早く寿命を迎えた場合、通信の中継が可能なノードが他に存在しなくなり、運用に支障を来す可能性がある。通信集中の原因は、前述のデータの収集過程においてデータを削減する手段がない点、通信経路のツリー構造が通信の途絶を迎えるまで変更されない点にある。長期運用を行い、網羅的なデータ収集を行う必要がある場合は、この課題を解決することが重要である。

3 長期運用を考慮した経路決定法

長期運用を実現するため、特定のノードへ通信が集中する状況を緩和し、センサネットワーク全体の寿命を延長するための経路決定法について述べる。ここでは、同一センサネットワーク内に異なるセンサを搭載したセンサノードが混在する環境を想定し、また、基地局を中心

A Routing Algorithm for Long Term Sensing on Wireless Sensor Networks

Takafumi Kako[†], Yusuke Yokota^{††}, and Eiji Okubo^{††}[†]Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.^{††}College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

にノードが十分密に配置されているものとする。

経路の切り換えは、各ノードが自身の観測データを送信する中継ノードを選択することによって行う。また、隣接するノードからのメッセージにより中継ノードの選択確率 P_i を更新し、それに基づいて経路の切り換えを始める。ノードがデータの送信に失敗した場合は、観測データをノード内に蓄積し、データの次回送信時に改めて送信する。

通信経路を切り換える基準は次の通りである。ノードが n 個の隣接ノードからなる集合 H を持ち、そのうち $k (\leq n)$ 個が当該ノードのホップ数以下で基地局にデータ送信できるものとする。このホップ数は、ノードが取り得るホップ数のうち最も小さいものである。この k 個の隣接ノードからなる集合 I をデータ送信の相手候補とする。このとき、 I の要素であるノード i が実際の通信として選ばれる確率 P_i は、式 (1) を満たすものとする。

$$P_i = \frac{\frac{1}{(\text{ノード } i \text{ のホップ数})}}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{(\text{ノード } j \text{ のホップ数})}} \quad (1)$$

また、近隣ノードの状況を考慮して自身のデータ送信先となるノードを選択するため、近隣ノードの状況を確率 P_i に反映させる。考慮する状況は、ホップ数の増加、通信時の電波強度、バッテリー残量、搭載されているセンサの種類が挙げられる。次式 (2) は、確率 P_i を引き下げる場合に用い、式 (3) は、 P_i を引き上げる場合に用いる。ただし、 l は定数であり、 l 回連続して確率 P_i が引き下げられた場合、 $P_i = 0$ となる。この確率 P_i の変化を基に自身の送信相手となるノードを再選定し、新たな経路を通じて通信を行う。

$$P_i = P_i \times \frac{l-1}{l} \quad (2)$$

$$P_i = P_i + \frac{l-1}{l} \times \frac{\frac{1}{(\text{ノード } i \text{ のホップ数})}}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{(\text{ノード } j \text{ のホップ数})}} \quad (3)$$

ノードが、基地局に向けて観測データを送信する手順を次に示す。

1. ノード自身の状況により通知メッセージの送信が必要か判断する。
2. 通知メッセージが必要な場合、近隣ノードに向けて通知メッセージを送信する。
3. 近隣ノードからの通知メッセージを受信待ちする。
4. 通知メッセージを受信した場合、 P_i を引き上げる通知メッセージか、引き下げるメッセージか、の判別を行い、それに基づき P_i を更新する。
5. 観測データを生成する。
6. 中継するデータの受信を待つ。
7. 自身の観測データおよび中継するデータを送信する。送信失敗時は、ノードにデータを蓄積する。

4 シミュレーションによる評価

3章で示した手法をシミュレーションを用いて評価を行う予定である。評価項目として、全ノードの残電池容量の標準偏差を求める。通信の途絶により経路を変更する場合と比較し、ノードの負荷集中について評価する。また、ノードの設置密度を均一にした場合と基地局に近づくにしたがって密にした場合の差についても評価する。選択可能な経路が少ないノードと経路が多いノード

の電力消費についても比較を行う。シミュレーションは、ネットワークシミュレータ ns-2 を利用して行う予定である。

5 関連研究

関連する研究として、アドホックネットワークの長期運用を目的とした GAF (Geographical Adaptive Fidelity) [2] が挙げられる。GAF は、各ノードを仮想セルに区切り、そのセルの観測を代表ノードのみが行うことで他のノードを休止させる。ただし、ネットワークを構成するすべてのノードが同一種類のセンサを搭載することを前提としているため、この手法をそのまま利用することは困難である。

また、センサネットワーク上での効率的なデータ収集を実現する TinyDB [3] が挙げられる。TinyDB では、ネットワーク内で部分的に集約を行いながら通信することで、全体での通信量を削減している。しかし、同一ネットワーク内で様々な種類のセンサデータが流れることから、ネットワーク内の集約は必ずしも効果的に働かない。また、集約を行わずデータを取得する場合は、通信量の削減が不可能である。

6 検討課題

3章で述べた機構を実現する上での課題を述べる。まず、親ノードとなる隣接ノードを選択する際に利用する選択確率 P_i を増減させる際に用いる定数 l を、全体で1種類の値とするのではなく、各項目ごとに異なる定数を割り当てた方が効率よく動作する可能性が考えられる。そのため、シミュレーションを利用することで重み付けや定数 l の決定法を検討する必要がある。

次に、ネットワークの振る舞いに関する検討が必要である。提案手法では、個々のノードが隣接ノードの状況に基づき個別に判断を行い、独立に動作する。そのため、特定の packets が基地局までのホップ数が同一のセンサノード間を巡回し、基地局に packets が到達しないような、不適切な振る舞いが発生する可能性を検討する。

また、ノードの物理的な配置も重要な意味を持つ。特にノードの配置密度は、選択可能な経路数に影響を与える。ノードの配置密度と提案手法の関係についての検討を行う必要がある。

7 おわりに

本稿では、通信経路を動的に切り換えることで特定のノードへ通信が集中する状況を緩和し、センサネットワーク全体の寿命を延ばす経路決定法について述べた。今後は、本稿で提案した手法をシミュレーションによって検証し、その後センサノードへの実装を行う予定である。

参考文献

- [1] クロスボー株式会社: XM2110J/MPR2600J/2400J/420/520-MIB Users Manual, ja6 edition (2008).
- [2] Xu, Y., Heidemann, J. and Estrin, D.: Geographyinformed energy conservation for Ad Hoc routing, Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking, ACM Press New York, NY, USA, pp. 70–84 (2001).
- [3] Madden, S., Franklin, M., Hellerstein, J., and Hong, W.: TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks, ACM Transactions on Database Systems (TODS), Vol. 30, No. 1, pp. 122–173 (2005).