

センサーネットワークにおける 省電力高信頼なデータ伝送

佐藤 光樹 (Koki Sanagi) 小野 廣隆 (Hiroataka Ono)
定兼 邦彦 (Kunihiko Sadakane) 山下 雅史 (Masafumi Yamashita)
九州大学大学院システム情報科学府
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering,
Kyushu University

1 はじめに

近年の情報通信端末の小型化や低コスト化, また無線通信技術の向上により, センサーネットワークの研究が盛んに行われている. センサーネットワークは人間にとって物理的に管理が困難な環境に設置することを想定している場合が多く, ノードにエネルギーを補充することすら容易でない. このような場合, ノードのエネルギーがすべて消費されるとノードが機能しなくなる. そして, 時間が経過するにつれて情報が取得できるエリアが縮小し, センサーネットワークとしての機能を果たさなくなる. このような背景から, ネットワーク全体の消費エネルギーを抑え, ネットワーク全体のライフタイムをより長くするための研究が行われている.

消費エネルギーを減少させる手法として用いられるのがマルチホップである. これはネットワークが自分のデータを目的地 (シンク) に伝える際, 直接送信するのではなく, 他のノードを経由してデータの伝送を行う. 本発表でもこのマルチホップを用いた伝送プロトコルを提案する. 本提案手法ではデータを送信したいノードは他の複数のノードに転送を依頼するという形で, シンクまでデータを送る. これによって, 複数のノードに情報を分散させることで, 信頼性を上げ, マルチホップを用いることにより, 消費エネルギーを減少さ

せるのが本提案手法のねらいである. 今回はホップ数を 1 に限定してシンクからの距離ごとの消費エネルギーの上限を求め, 直接データを伝送するシングルホップとの比較を行った.

2 準備

2.1 センサーネットワーク

センサーネットワークは通信機能を有するセンサーノードを用いてネットワークを形成し, センサーノードが取得したデータの収集を行うシステムである. センサーノードはセンシング機能, 計算処理能力, 通信機能をもちた小型の装置である. センサーノードは周辺地域のローカルな情報を集める役割を担う. 集めるデータは気温や気圧, 映像などネットワークの利用目的によって様々である. また消費エネルギー減少の観点から他のセンサーノードのデータを転送するためにセンサーノードは自律的にネットワークを形成していく. センサーノードは以下で説明するシンクからの距離を無線電波の減衰量から知ることができる. センサーノードはその情報を利用してネットワークを形成する. そのセンサーノードに命令を出すのがシンクである. シンクはアプリケーションの要求に応じて無線を用いてセンサーノードに指示を出し, 各センサーノードの局所的なデータを集め, 広域の情報を抽出する.

2.2 データ伝送に消費するエネルギー

センサーネットワークではデータをシンクに伝えるためにセンサーノード間でコミュニケーションをする必要があるが、データを送る際エネルギーを必要とする。通常そのエネルギーは $l + \mu r^\alpha$ で表すことができる。 l は伝送の電気回路で消費されるエネルギーを表す。 μr^α は無線電波を発信する際に消費するエネルギーを表しており、 r は無線電波の到達距離を表している。 α は環境に依存して決まり、例えば障害物が何もないところでは $\alpha = 2$ であるが、ビルなどの障害物が多かったり、あるいはセンサーノードが三次元に配置されていれば $\alpha = 3 \sim 5$ のような値をとる。

2.3 ネットワーク内の通信手法

ネットワーク内でセンサーノードのデータをシンクに送信する手法として2つ紹介する。ひとつめは各々のセンサーノードが直接シンクにデータを送信するシングルホップである。この方法では他のセンサーヘッドを経由しないため、短時間でデータを収集できる。ふたつめは他のセンサーノードを経由してシンクにデータを送信するマルチホップである。マルチホップでは短い送信を複数回行うことで消費エネルギーを減少させることができる。しかしセンサーノードは情報を送信する相手を指定することができない。そのため様々なマルチホップを用いた通信プロトコルが考えられている。図1はシングルホップとマルチホップの概要を表したものである。

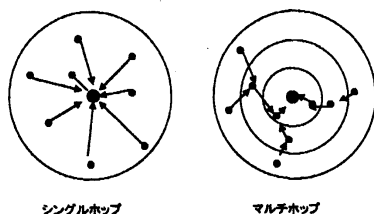


図1: シングルホップとマルチホップ

3 提案プロトコル

本論文で提案するプロトコルはデータ伝送の信頼性を高めるために複数のノードに転送依頼を出すことを考える。複数のノードにデータを送えることでデータが分散し、信頼性のある伝送を行うことができる。またマルチホップを用いているため消費エネルギーの減少も期待できる。今回はホップ数1の場合についてのみ扱っている。信頼性のある転送を行うために本研究では送信ノードの通信半径 p と転送を行うノードのシンクからの距離 q を制御することを取り入れた。

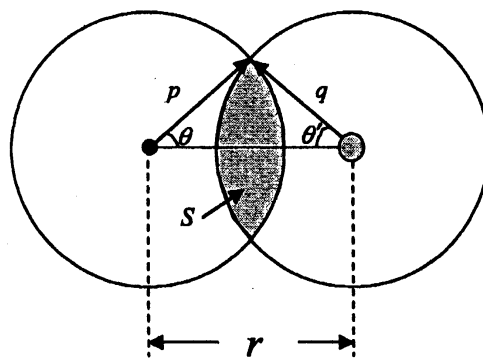


図2: p, q, r の関係

ノード i のシンクまでの距離を r_i 、シンクに送信したい情報を d_i とする。 $p(r, \epsilon, A, \rho)$, $q(r, \epsilon, A, \rho)$ はシンクまでの距離 r 、失敗率 ϵ 、目的範囲の面積 A 、ノードの密度 ρ の関数である。提案するプロトコルを以下に示す。

1. ノード i が送信元ノードなら $d_i, q(r_i)$ を半径 $p(r_i)$ 内のノードにブロードキャストする。
2. $d_i, q(r_i)$ を受信したノード j は d_i を受信したことがなければ、 $q(r_i)$ を確認し、 $r_j \leq q(r_i)$ であれば半径 $p(r_j)$ 内のノードに $d_i, q(r_j)$ をブロードキャストする。

ここでいう失敗率とは送信元が送った情報がシンクに伝わらない確率である。送信元ノードとシンクとの距離を r とすると、転送を行うノードは中心が r 離れている半径 p, q の重なる部分にいる

(図2). この重なる部分の面積を S とする. S と ϵ には次の関係がある.

$$\left(\frac{A-S}{A}\right)^{\rho A} = \epsilon \quad (1)$$

これを式変形すると

$$S = A \left(1 - \epsilon^{\frac{1}{\rho A}}\right) \quad (2)$$

となる. また面積 S は $\sin \theta = \theta, \sin \theta' = \theta l, \cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2}, \cos \theta' = 1 - \frac{\theta'^2}{2}, p \sin \theta = q \sin \theta'$ を用いて以下の p, q, r を用いて以下のように表される.

$$S = (p+q-r) \sqrt{\frac{2pq(p+q-r)}{p(p+q)}} \quad (3)$$

4 消費エネルギー

マルチホップを用いた場合, 消費するエネルギーは送信エネルギーと受信エネルギーの二つに分けられる. 1-hop においてはまず, 送信元ノードが半径 p の送信を行う. このとき $l + \mu p^\alpha$ のエネルギーを消費する. そしてこの送信した情報を受信するのにエネルギーが必要となりその消費する対象は送信元ノードからの距離が p 以内のノードであるので合計で $\pi p^2 l$ のエネルギーを消費する. その情報を受け取ったノードのうち, 転送するノードの数を γ とすると, 転送の際に消費するエネルギーの上限は $\gamma(l + \mu q^\alpha)$ で表される. そしてその転送された情報を受け取るエネルギーの上限は $\gamma \pi p q^2 l$ で表される. つまり 1-hop で 2 点間の距離が r の通信を通信半径 p , 転送を行うシンクからの距離を r とすると, その消費エネルギーの上限は

$$E = l + \mu p^\alpha + \rho \pi p^2 l + \gamma(l + \mu q^\alpha) + \gamma(\rho \pi q^2 l) \quad (4)$$

となる. この式に (2), (3) 及び $p \cos \theta + q \cos \theta' = r$ を用いることで, シンクからの距離 r に応じた最小となる p, q が求まる. その計算過程は省略する.

1-hop による伝送の総消費エネルギーの上限とシングルホップの消費エネルギーの比較を行った. 環境は以下のようにした [2].

- ノードが存在する範囲は半径 1000m の円
- シンクはその中央に設置
- ノードの数は 10^5 個 ($\rho = 0.0318$)
- $l = 0.21 \text{mJ}, \mu = 42 \text{nJ}, \epsilon = 0.01, \alpha = 2, 4$

このときにシンクからの距離が 200, 400, 600, 800, 1000(m) のノードが情報を送信したときの総消費エネルギーの上限を計算した. またこの結果とシングルホップを用いた場合の総消費エネルギーを比較した. シングルホップの消費エネルギーは $l + \mu r^\alpha + \rho \pi r^2$ で表される.

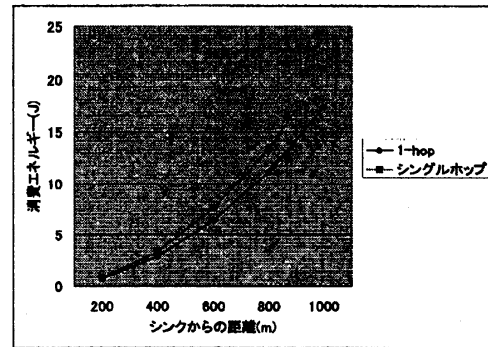


図 3: $\alpha = 2$ のときの 1-hop とシングルホップの総消費エネルギーの比較

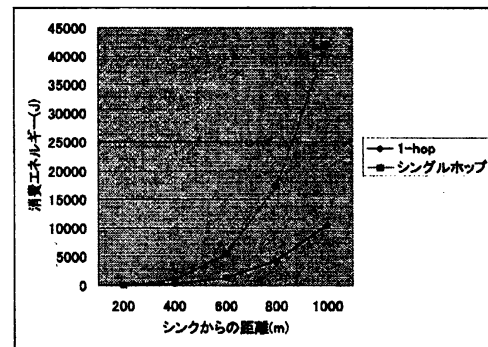


図 4: $\alpha = 4$ のときの 1-hop とシングルホップの総消費エネルギーの比較

図3は $\alpha = 2$, 図4は $\alpha = 4$ のとき比較を行った結果である。この結果では1-hopは消費エネルギーの上限であるにも関わらず, どのシンクからの距離でもシングルホップを下回った。この主な要因としては1-hopの方が受信するノードの数が少なかった。転送を2回に分割することで消費エネルギーを節約できた, ことなどがあげられる。またシングルホップから受信エネルギーを除いたものと除かれていないものを比較したが, その差はほとんどなく送信にかかるエネルギーの方が十分大きく受信にかかるエネルギーは無視できる程度であった。

5 おわりに

今回は複数のノードに転送依頼をするマルチホップを用いたプロトコル提案し, 1-hopでの総消費エネルギーの上限を求めた。今回の実験環境では1-hopでの伝送がシングルホップよりも優れていることがわかった。また1-hopだけでなく2-hop,...,k-hopとホップ数を増やしたときの解析も今後の課題として考えている。さらに今回は総消費エネルギーを比較したが, もっともエネルギーを消費するノードの消費エネルギーについての比較, つまりどのノードに最も負荷がかかるかについても考えていく。

参考文献

- [1] Vivek Mhatre and Catherine Rosenberg, "Design guidelines for wireless sensor networks communication, clustering and aggregation", *Ad Hoc Networks* 2, p.45-63, 2004.
- [2] Ivan Stojmenovic and Stephan Olariu, "Data-centric protocols for wireless sensor networks", *Handbook of Sensor Networks: Algorithms and Architectures*, p.417-456, 2005.
- [3] Piyush Gupta and P. R. Kumar, "Critical Power for Asymptotic Connectivity in Wireless Networks", *Stochastic Analysis, Control, Optimization and Applications*, p.547-566, 1998.