

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

佐薙 光樹 (Koki Sanagi) 小野 廣隆 (Hirotaka 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

案手法を LEACH との比較を行った。

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。今回は本提

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, 通信機能ををもっ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 $\alpha = 3 \sim 4$ のような値をとる。

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伝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。 N 個のノードがランダムに半径 R の円に存在し、シンクはその円の中心に存在し、半径 r のブロードキャストをするのに必要なエネルギーを $l + \mu r^\alpha$ とする。

r : シンクまでの距離

c : 転送回数

$p(r)$: 各ノードがブロードキャストする送信半径

$q(r)$: 各ノードがブロードキャストされた情報を転送するかしないかを判断するための関数

プロトコル

1. 情報を送信したいノード i は半径 $p(r_i)$ 内のノードに情報と $c, r_{trans} = r_i$ を送信。
半径 $p(r_i)$ 内にあるノードはその情報を受信。
2. 情報を受信したノード j はシンクまでの距離 r_j が $r_j \leq q(r_{trans}, c)$ なら c の値を 1 増やし、 $r_{trans} = r_j$ として、半径 $p(r_j)$ 内のノードに情報と r_{trans}, c を送信。半径 $p(r_j)$ 内にあるノードはその情報を受信。 $r_j > q(r_{trans}, c)$ なら受信した情報を破棄。

$p(r)$ の作成

エネルギーを最も消費するノードの消費エネルギーを最小化するように、円を n 個のリングに分割し、リングの幅を内側から $p_1 \dots p_n$ とする。 i 番目のリングに存在するノードは $i-1$ 番目のリングのノードに情報の転送を依頼する。 i 番目のリング上のノードが送信元ノードとすると、まず i 番目のリングが $i-1$ 番目のリング内のノードに情報を送信する (消費エネルギー $= l + \mu p_i^\alpha$)。その情報を x 個のノードが受信し、 $i-2$ 番目のリング上のノードに転送 (消費エネルギー $= x(2l + \mu p_{i-1}^\alpha)$)。同様に x 個の $i-2$ 番目のリング上でも繰り返しシンクまで情報を送信する。 i 番目のリング上のノードが消費するエネルギーを E_i とする。 1 番目のリング上のノードが消費するエネルギー E_1 は

$$\begin{aligned} E_1 &= x \frac{R^2 - p_1^2}{p_1^2} (2l + \mu p_1^\alpha) + (l + \mu p_1^\alpha) \\ &= (x \frac{R^2}{p_1^2} + 1 - x) (2l + \mu p_1^\alpha) - l \end{aligned}$$

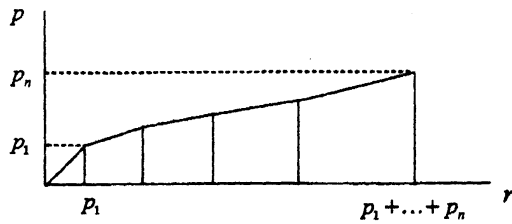
この時の最小化されたエネルギーを $\min E_1$ とする。続いて $p_2, p_3, \dots$ と求めていく。

i 番目のリング上のノードが消費するエネルギー E_i は

$$E_i = x \frac{R^2 - (R - \sum_{k=i+1}^n p_k)^2}{(R - \sum_{k=i+1}^n p_k)^2 - (R - \sum_{k=i}^n p_k)^2} (2l + \mu p_i^\alpha) + (l + \mu p_i^\alpha)$$

で表せる。 p_i は i の昇順に決めていく。 p_i は $E_i = \min E_1$ となるようにとればよい。ただし $p_i = R - \sum_{k=1}^{i-1} p_k$ のとき $\min E_1 \geq E_i$ なら $p_i = R - \sum_{k=1}^{i-1} p_k$ とする。

ここで得られた $p_1 \dots p_n$ を用いて図 1 のように $p(r)$ を作成する。

図 1: 関数 $p(r)$ の図

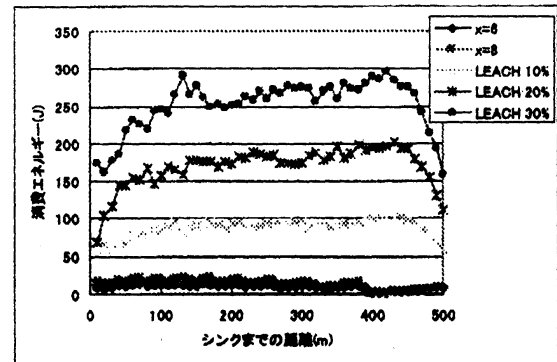
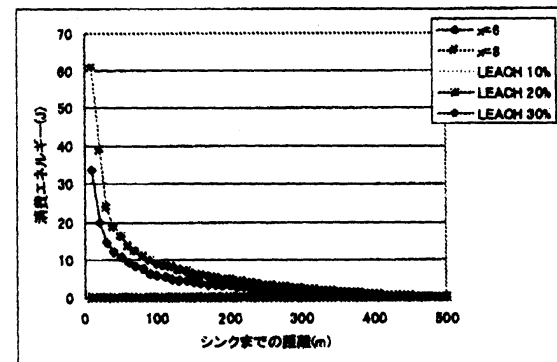
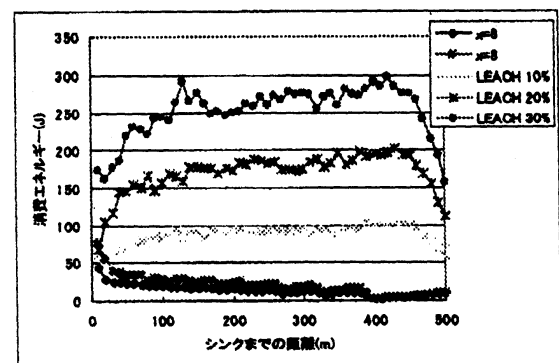
$q(r)$ は実際に転送で情報保有ノード数が x になるように設定する.

4 プロトコルのシミュレーション

本提案手法を同様にセンサーネットワークのプロトコルである LEACH との消費エネルギーに関する比較を行った. 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 $500m$ の円
- シンクはその中央に設置
- ノードの数は 25000 個 ($\rho = 0.0318$)
- $l = 0.21mJ$, $\mu = 42nJ$, $\alpha = 3, 4$

$\alpha = 4$ のとき, $x = 6, 8$ でのシミュレーションを行った. $x = 6$ のときは情報を送信したときにシンクに到達する確率が 90% 以上, $x = 8$ のときは 99% 以上である. このとき LEACH と比較すると送信エネルギーに関しては本提案手法の方が消費エネルギーを低く抑えることができている. しかし受信エネルギーに関しては LEACH の方が消費エネルギーを低く抑えられている. 総消費エネルギーは最もエネルギーを消費する部分でも本提案手法の方が消費エネルギーを低く抑えられている.

図 2: $\alpha = 4$ のときの送信エネルギーの比較図 3: $\alpha = 4$ のときの受信エネルギーの比較図 4: $\alpha = 4$ のときの総消費エネルギーの比較

$\alpha = 3$ のとき, $x = 4.6, 6$ でのシミュレーションを行った. $x = 4.6$ のときは情報を送信したときにシンクに到達する確率が 97% 以上, $x = 6$ のときは 99% 以上である. 送信エネルギーに関しては最もエネルギーを消費しているところを比較すると $x = 4.6$ のときは LEACH よりも消費エネルギーを低く抑えられているが, 受信エネルギーに関しては LEACH の方が消費エネルギーを低く抑えられており, 総消費エネルギーでも LEACH の方が低く抑えられており本提案手法の優位性は示せなかった.

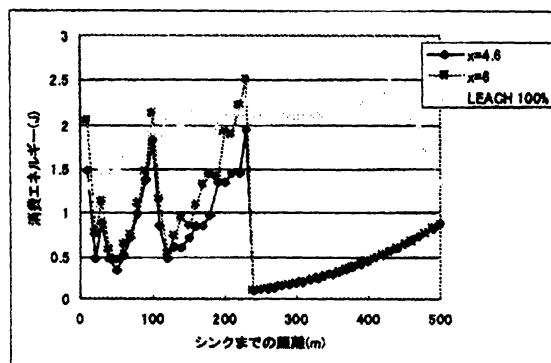


図 5: $\alpha = 3$ のときの送信エネルギーの比較

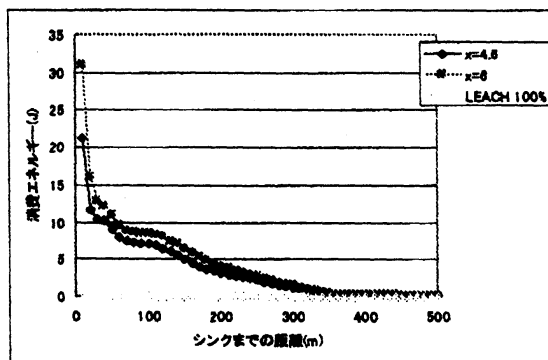


図 6: $\alpha = 3$ のときの受信エネルギーの比較

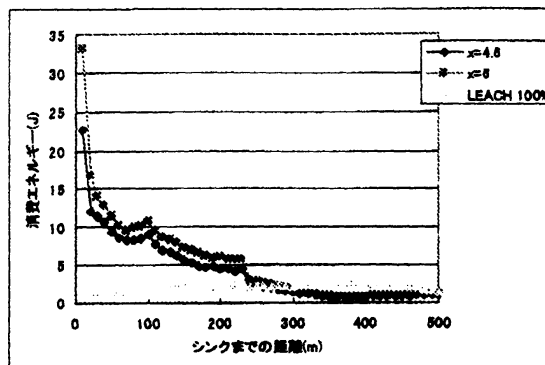


図 7: $\alpha = 3$ のときの総消費エネルギーの比較

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, LEACH との比較を行った. $\alpha = 4$ のときは本提案手法の優位性を示すことができたが, $\alpha = 3$ のときは LEACH の方が消費エネルギーを低く抑えられていた. 今後はどのような環境で本提案手法が有効であるかを考えていく必要がある. また本提案手法で更に消費エネルギーを削減できるような改善策も考えていく必要がある.

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.