

センサネットワークにおける消費電力削減のための 放送型配信を用いたデータ収集手法

北島 信哉[†] 義久 智樹[†] 小川 剛史^{††} 原 隆浩[†] 西尾章治郎[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

^{††} 東京大学情報基盤センターキャンパスネットワークキング研究部門 〒113-8658 東京都文京区弥生 2-11-16

E-mail: [†]{kitajima.shinya,yoshihisa,hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp, ^{††}ogawa@nc.u-tokyo.ac.jp

あらまし 近年、環境モニタリングや災害時の状況把握のため、センサノードが温度や湿度といったデータを取得し、ネットワークを形成して収集するセンサネットワークに対する注目が高まっている。センサネットワークではノードの電力量に限りがあるため、データ収集時の通信量を削減し、消費電力を抑えることが重要である。これまでに筆者らは、ノードの観測値を基地局が推測して放送し、推測値が大きく異なるノードが優先してデータを送信することで、データの信頼性を保ちつつ、データ収集にかかる時間を削減する手法を提案した。しかし、この手法では、消費電力を十分に低減できていないという問題があった。そこで本稿では、従来手法を拡張し、基地局が収集した観測値の信頼性が高い場合、観測値を送信するノード数を減らすことで、消費電力を低減する手法を提案する。

キーワード センサネットワーク, データ収集, 放送型配信, 消費電力

A Broadcast-Based Data Gathering Method Considering Energy Consumption for Sensor Networks

Shinya KITAJIMA[†], Tomoki YOSHIHISA[†], Takefumi OGAWA^{††},
Takahiro HARA[†], and Shojiro NISHIO[†]

[†] Dept. of Multimedia Eng., Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

^{††} Campus Networking Division, Information Technology Center, The University of Tokyo
2-11-16 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-8658, Japan

E-mail: [†]{kitajima.shinya,yoshihisa,hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp, ^{††}ogawa@nc.u-tokyo.ac.jp

Abstract In recent years, there has been an increasing interest in sensor networks, in which sensor nodes such as temperature or humidity sensors communicate with each other for environmental monitoring and so on. In sensor networks, it is important to save the energy consumption, since sensor nodes have a limit in battery. In our previous work, we proposed a data gathering method, in which the data sink estimates data values of nodes, broadcasts the estimated values, and then, sensor nodes whose observed values are largely different from the estimated values send their own data. However, this method has a problem that it cannot sufficiently reduce the energy consumption. In this paper, we extend our proposed method, in which the data sink reduces the nodes that send their observed values when the reliability of gathered values by the data sink is high.

Key words sensor network, data gathering, broadcast, energy consumption

1. はじめに

近年、無線通信技術および半導体技術の進歩に伴い、無線通信デバイスの小型化、軽量化、高性能化が進んでいる。これにより、無線通信機能を備えた小型のセンサノードで形成される

センサネットワークに関する研究が盛んに行われている [1], [2]. センサネットワークでは、センサノード（以下、ノードと呼ぶ）が取得したセンシングデータを、マルチホップ通信により、基地局に転送して収集する。センサネットワークの応用としては、環境モニタリング、災害時の状況把握、動植物の生体調査、建

物内のセキュリティ管理などが挙げられる。

これらのアプリケーションでは安価なノードを大量に用いる場合が多く、各ノードに搭載される電力資源は乏しい。ノードの稼働時間はシステム性能に大きく影響を与えるため、消費電力を抑えることが重要である [6]。これまでに、センシングデータを効率よく収集する様々な手法が提案されているが、非常に多数のノードが存在する場合、通信量が多くなり、データ収集時の消費電力が大きくなってしまいう問題があった。

センシングデータには空間的、時間的に相関性があることが一般的であるため、データ値を推測できる場合が多い [4]。そこで筆者らは文献 [7] において、ノードが取得したデータ値を基地局が推測して放送し、推測値が大きく外れているノードが優先してデータを送信することで、データの信頼性を保ちつつ、データ収集にかかる時間を削減する手法を提案している。提案手法では放送型配信 [5] を用いることで、複数のノードに同時に推測値を送信できるため、効率的に推測値を配信できる。しかし、この手法では、データ収集時のノードの消費電力を考慮していなかったため、消費電力を十分に低減できていなかった。

そこで本稿では、文献 [7] における手法を拡張し、基地局が収集した観測値の信頼性が高い場合、観測値を送信するノード数を減らすことで、ノードの消費電力を低減する手法を提案する。さらに、シミュレーション評価により、提案手法が従来手法と比べて、データの信頼性を保ちつつ、消費電力を削減できることを示す。

以下、2. で想定環境について述べ、3. で従来手法について説明する。4. で提案手法について説明し、5. で提案手法の性能評価を行う。最後に 6. で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 想定環境

センサネットワークを用いたアプリケーションとしては、環境モニタリング、災害時の状況把握、動植物の生体調査、建物内のセキュリティ管理などが挙げられる。例えば環境モニタリングのために温度を測定する場合のように、常に正確な値を取得することよりも、ある程度の誤差を許容してでもノードの消費電力を抑え、長期間センシングを行うほうが重要なアプリケーションも多い。

本研究で想定するセンサネットワークの例を図 1 に示す。観測領域内には 1 つの基地局と複数のノードが存在し、各ノードはマルチホップ通信により基地局と通信を行う。基地局は過去に収集したセンシングデータをもとに、センシングデータの推測を行う。また、基地局は推測値を放送するための放送通信機能を持ち、放送範囲は観測領域全域をカバーしているものとする。

ノードは担当するセンシング地点に配置され、センシングを行う。ノードは放送される推測値をもとに、センシングデータを基地局に送信するかどうかを決定する。センシングデータの送信は一定周期ごとに行うものとし、基地局が収集するデータには一定の誤差が許容されるものとする。

各ノードはあらかじめ時刻同期が行われており、任意の時刻

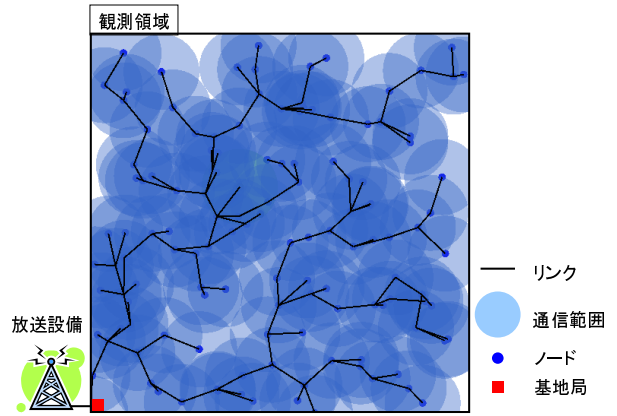


図 1 想定するセンサネットワーク

Fig. 1 Our assumed sensor networks.

にデータを送受信できる。通信帯域には制限があり、複数のノードから同時にデータを受信する場合、通信帯域は同時に通信を行うノード間で均等に分配されるものとする。また、基地局はネットワークトポロジを把握しており、データを基地局へ送信するノードと送信データサイズがわかる場合は、通信に要する時間を算出できるものとする。通信途中で他の動作や次のデータ送信を行う場合、通信途中のデータは破棄する。

3. B&C 方式

本章では、筆者らが文献 [7] において提案した B&C (Broadcast and Collect) 方式について説明する。B&C 方式では、実際のセンシングデータが推測値と大きく異なるノードが優先してセンシングデータを送信することで、通信量を抑え、消費電力を削減できる。

放送するデータの削減のため、位置や過去のセンシングデータをもとにノードをグループ化する。このグループを放送グループと呼ぶ。基地局は各放送グループに対して 1 つの推測値を放送し、同じ放送グループに属するノードは同じ推測値を受信する。データの推測には、他の研究で提案されている手法などを用いるものとする。

図 2 に示すように、B&C 方式では、データの収集を行う収集フェーズと、推測値を放送する放送フェーズを交互に繰り返す。フェーズを切り替える時刻はあらかじめ決定しているものとし、各ノードが自律的にフェーズの切り替えを行う。また、センシングデータを収集するタイミングを収集時刻と呼び、収集時刻の間隔を収集周期と呼ぶ。基地局は収集フェーズにおいてデータを送信しなかったノードのセンシングデータとして、推測値を採用する。

3.1 放送フェーズ

放送フェーズでは、基地局が各グループに推測値を放送する。各ノードはいずれかの放送グループに属しており、放送グループ ID によって識別される。推測値は放送グループ ID の順に放送され、消費電力の削減のため、各ノードは自身の属する放送グループに対応する推測値が放送される時間のみ放送を受信する。データの推測は放送の直前に行う。

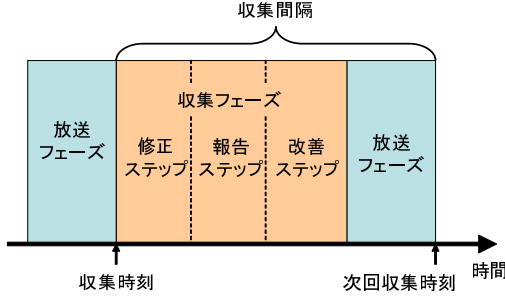


図 2 放送フェーズと収集フェーズ
Fig. 2 Broadcast phase and collecting phase.

放送フェーズの時間はあらかじめ決定されているため、すべての放送グループに対する推測値が時間内に放送できるとは限らない。そこで、推測値を受信したノードと受信しなかったノードを区別しておく。

放送フェーズで放送データを受け取るグループ数 N_{brd} は、通信帯域 B_w 、放送フェーズの時間 B_t 、データサイズ S 、放送グループ数 G を用い、次式で表せる。

$$N_{brd} = \begin{cases} \left\lfloor \frac{B_w B_t}{S} \right\rfloor & \left(\frac{B_w B_t}{S} < G \right) \\ G & \left(\frac{B_w B_t}{S} \geq G \right) \end{cases} \quad (1)$$

ここで $\lfloor a \rfloor$ は、 a の整数部分を表す。

3.2 収集フェーズ

放送フェーズ終了後、収集フェーズに移る。収集フェーズは次の3ステップからなる。推測値を受信したノードのうち、推測値が実際のセンシングデータと許容誤差以上異なっているノードが、推測値を修正するためにセンシングデータを基地局に送信する修正ステップ、推測値を受信しなかったノードがセンシングデータを基地局に送信する報告ステップ、推測精度向上のため、推測値を受信したノードのうち、推測値が実際のセンシングデータと許容誤差範囲内のノードがセンシングデータを基地局に送信する改善ステップである。

これらの3ステップは修正ステップ、報告ステップ、改善ステップの順に実行する。各ステップに要する時間はあらかじめ知ることができないため、放送フェーズから収集フェーズへ移行する際に、放送を受信したノードが、推測値が許容誤差範囲内であったかどうかの確認パケットを基地局に送信することで、放送を受信したノード、推測値が許容誤差範囲内であったノードを基地局に知らせる。基地局は、各ノードが基地局までデータを送信するのに要する時間をネットワークポロジを参照して算出し、各ステップに必要な時間を決定する。その後、放送を用いて、全ノードに各ステップの切り替え時刻を通知する。

ここで、各ステップは修正ステップ、報告ステップ、改善ステップの順で優先して行い、収集フェーズの時間内にすべてのステップが実行できない場合、ステップの途中であっても放送フェーズへと移行する。そのため、修正ステップにおいてデータを送信するノード数が多い場合、修正ステップのみで収集フェーズが終わることもある。

3.2.1 修正ステップ

修正ステップでは、基地局から推測値を受信したノードのうち、推測値が実際のセンシングデータと許容誤差以上異なっているノードが、推測値を修正するためにセンシングデータを基地局に送信する。修正ステップにより、推測値が許容誤差以上となっているデータが修正されるため、データ収集の精度が大きく向上する。しかし、収集フェーズの時間はあらかじめ決定されているため、すべての誤差以上のデータが修正されるとは限らない。修正ステップ終了時に収集フェーズの時間が残っている場合、報告ステップに移行する。

3.2.2 報告ステップ

報告ステップでは、推測値を受信しなかったノードがセンシングデータを基地局に送信する。すべてのノードが放送を受信した場合には報告ステップは行わない。また、修正ステップまでで収集フェーズの時間を使い果たした場合、報告ステップは行われない。報告ステップでは推測値が誤差以上である可能性のあるノードがセンシングデータを基地局に送信するため、データ収集の精度が向上する場合がある。しかし、収集フェーズの時間はあらかじめ決定されているため、放送を受信しなかったすべてのノードがセンシングデータを送信できるとは限らない。報告ステップ終了時に収集フェーズの時間が残っている場合、改善ステップに移行する。

3.2.3 改善ステップ

改善ステップでは、推測精度向上のため、推測値を受信したノードのうち、推測値が実際のセンシングデータと許容誤差範囲内のノードがセンシングデータを基地局に送信する。推測値がすべて許容誤差以上の場合、センシングデータの送信は修正ステップ、報告ステップですべて行われるため、改善ステップは行わない。収集フェーズの時間はあらかじめ決定されているため、推測値が許容誤差以内であったすべてのノードがセンシングデータを送信できるとは限らない。改善ステップ終了時に収集フェーズの時間が残っている場合、ノードは次の放送フェーズまで何も行わない。

4. EBC 方式

本章では、以前に提案した B&C 方式における問題点を述べた後、提案する EBC 方式について説明する。

4.1 B&C 方式の問題点

以前に提案した B&C 方式では、以下に挙げる3つの問題点があった。

- ネットワークポロジを考慮していないため、基地局へのデータ送信にかかる時間を正確に算出できない。
- 各ノードにステップ遷移のタイミングを通知する方法を考えおらず、実環境で動作しない。
- 改善ステップにおいて時間が十分にある場合、すべてのノードがセンシングデータを基地局に送信するため、消費電力が大きくなる。

これら3つの問題を解決するため、本稿では EBC (Extended B&C) 方式を提案する。EBC 方式では、ネットワークポロジ、ステップ遷移の通知方法を考慮するとともに、センシング

データを収集する際のノードの消費電力を低減する．以下では、EBC 方式の詳細を述べる．

4.2 EBC 方式の詳細

4.2.1 ネットワークトポロジの考慮

文献[7]では、ネットワークトポロジを考慮していなかったが、実環境では、ノードの帯域幅はネットワークトポロジによって変化すると考えられる．そこで、本稿では、ノードが複数のノードから同時にデータを受信する場合、通信帯域は等分割されるものと想定する．さらに、基地局はノードのネットワークトポロジを把握しており、基地局にデータを送信するノードと送信データサイズがわかっている場合、通信にかかる時間は計算できるものとする．

4.2.2 ステップ遷移の通知

B&C 方式では、ステップを遷移する時刻を決定するが、実環境において、どのようにステップの遷移を知らせるか考慮していなかった．各ステップに要する時間はあらかじめ知ることができないため、EBC 方式では、放送フェーズから収集フェーズへ移行する際に、放送を受信したノードが、推測値が許容誤差範囲内であったかどうかの確認パケットを基地局に送信することで、放送を受信したノード、推測値が許容誤差範囲内であったノードを基地局に知らせる．基地局は、各ノードが基地局までデータを送信するのに要する時間をネットワークトポロジを参照して算出し、各ステップに必要な時間を決定する．その後、放送を用いて、全ノードに各ステップの切り替え時刻を通知する．

4.2.3 改善ステップの省略

B&C 方式では、改善ステップに十分な時間がある場合、修正ステップまたは報告ステップでセンシングデータを基地局に送信しなかった全ノードが、改善ステップでセンシングデータを基地局に送信する．そのため、ノードの消費電力が大きくなってしまう．そこで、EBC 方式では、B&C 方式における改善ステップを省略することで、センシングデータを基地局に送信するノード数を減らし、消費電力を削減する．

改善ステップが省略されると、推測の精度が下がると考えられる．しかし、次の修正ステップにおいて、推測値を受信したノードのうち、推測値が許容誤差範囲以上であったノードはセンシングデータを基地局に送信するため、収集したデータの信頼性が大きく低下することはない．このように、EBC 方式では、データの信頼性を保ちつつ、消費電力を削減できる．

4.3 EBC 方式の動作

EBC 方式における基地局とノードの状態遷移を図 3 に示す．

基地局の状態は収集、予測、放送の 3 つである．基地局はまず、ノードからセンシングデータを収集し、自身のデータベースに格納する．センシングデータの収集が終わると、推測状態に遷移する．推測状態では、各放送グループに所属するノードが取得するセンシングデータの予測を行う．予測が終わると結果を放送した後、収集状態に戻る．

ノードの状態は受信、比較、送信の 3 つである．ノードはまず、基地局によって放送された推測値を受信し、自身が取得したセンシングデータと比較する．比較が終わると送信状態に遷

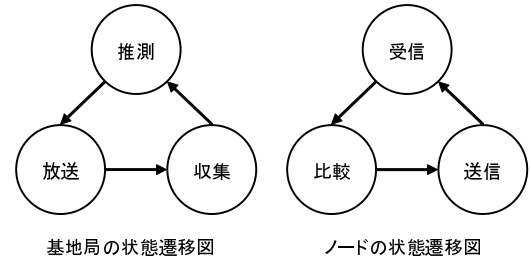


図 3 状態遷移図

Fig. 3 State-transition graphs.

移し、予測値が許容誤差以上であったノードはセンシングデータを送信する．基地局まではマルチホップ通信を用いるため、センシングデータを送信しないノードであっても、他のノードのセンシングデータを中継する場合がある．送信後は再び受信状態に戻る．

5. 評価

本章では、次に示す 2 つの評価基準を用いて、EBC 方式の有効性をシミュレーションにより検証する．

• 信頼性

全ノードのデータのうち、許容誤差範囲内に収まっているデータの割合．

• 消費電力

データ収集の際に消費した全ノードの消費電力の合計．B&C 方式、EBC 方式における放送受信のための消費電力も含む．送信にかかる電力 P_s [nJ]、受信にかかる電力 P_r [nJ] は、送受信するデータ量 k [bit]、送信距離 d [m] を用いて、それぞれ次式のように定義する [3]．

$$P_s = (k \cdot 50) + (0.1 \cdot k \cdot d^2) \quad (2)$$

$$P_r = k \cdot 50 \quad (3)$$

また、評価では以下の記号を用いる．

N_b : 放送される推測値を受信したノード数．

N_o : 推測値が許容誤差範囲以上であったノード数．推測値が放送されなかったノードのうち、推測値が許容誤差範囲以上であったノードも含む．

N_e : 修正ステップにおいてセンシングデータを基地局に送信したノード数．

N_r : 報告ステップにおいてセンシングデータを基地局に送信したノード数．

N_i : 改善ステップにおいてセンシングデータを基地局に送信したノード数．

N_d : センシングデータを基地局に送信したノード数の和．B&C 方式では N_e , N_r , N_i の和、EBC 方式では N_e , N_r の和を表す．

5.1 シミュレーション環境

表 1 に、評価で用いるパラメータとその値を示す．各パラメータは、2. で示した環境モニタリングのための温度調査をアプリケーション例として想定して決定した．

ノードは領域内にランダムに配置し、シミュレーション開始

表 1 評価に用いるパラメータ

Table 1 Parameters.

パラメータ名	値
観測領域の広さ	1,000[m] × 1,000[m]
ノード数	1500
無線通信範囲	50[m]
通信速度	512[Kbps]
センシングデータのサイズ	64[Byte]
収集周期	1[秒]
放送フェーズの時間	0.1[秒]
収集フェーズの時間	0.9[秒]
放送グループ数	100
推測精度	0.4
収集回数	1000

前に基地局から各ノードまでのネットワークをあらかじめ構築した。提案手法で用いる放送グループは、推測精度が高くなるよう最適なグループ化が行われていると想定し、観測領域を 100 等分して同じ分割領域内に存在するノードは同じ放送グループ ID をもつものとした。

各評価における収集回数は 1000 とし、信頼性と消費電力、 N_b , N_o , N_c , N_r , N_i , N_d の値は、それぞれ 1000 回の平均を求め、評価した。放送フェーズの時間と収集フェーズの時間は、信頼性が高くなるように予備実験によって求めた値を用いた。

文献 [7] では、推測的中率は一定であると想定して評価を行った。ここで、推測的中率とは、全ノードのうち、推測値が許容誤差範囲内であったノードの割合を表す。しかし、実環境では、推測的中率はノードにセンシングデータを送信したノード数に応じて変化すると考えられる。本研究では、センシングデータの推測方法は特に規定しないが、収集したセンシングデータの数に応じて推測精度が変化すると想定し、 k 回目の収集周期における放送グループ i ($1 \leq i \leq 100$) に対する推測的中率 H_i を次式に従って求めた。

$$H_{i,k} = H \times \frac{S_{i,k-1}}{N_i} \quad (4)$$

ここで、 N_i は放送グループ i に属するノード数、 $S_{i,k}$ は放送グループ i に属するノードのうち、 k 回目の収集周期においてセンシングデータを基地局が受信したノード数、 H は推測精度を表す。基地局は放送フェーズごとにデータの推測を行うため、 H_i は放送フェーズごとに異なる値となる。また、初期値 $H_{i,1}$ は H とした。 H は $0 \leq H \leq 1$ を満たす。

5.2 比較手法

本研究では、提案手法の比較手法として、send-all を用いる。send-all では放送データの推測は行わず、全ノードが毎回基地局にセンシングデータを送信する。収集周期は固定であるため、常に全ノードのセンシングデータが基地局まで送信されるとは限らない。信頼性を算出する際、データを送信できなかったノードは、B&C 方式において推測値が許容誤差範囲以上かつ、センシングデータを基地局に送信できなかったノードと同様に扱う。

表 2 信頼性と消費電力

Table 2 Reliability and energy consumption.

手法	send-all	B&C 方式	EBC 方式
N_b	-	1500	1500
N_o	-	1032.07	1066.84
N_c	-	1032.07	1066.84
N_r	-	0.00	0.00
N_i	-	122.54	-
N_d	1500	1154.61	1066.84
信頼性	44.60[%]	100[%]	100[%]
消費電力	4.37[J]	3.83[J]	3.20[J]

5.3 評価結果

5.3.1 他手法との比較

表 2 に send-all と B&C 方式、EBC 方式における N_b , N_o , N_c , N_r , N_i , N_d , 信頼性, 消費電力を示す。send-all では推測値の放送を行わず、ステップの概念もないため、 N_b , N_o , N_c , N_r , N_i は空欄としている。また、EBC 方式では改善ステップを省略するため、 N_i は空欄としている。

表から、B&C 方式と EBC 方式における信頼性は send-all と比べて非常に高く、EBC 方式における消費電力は他の方式と比べて最も低いことがわかる。send-all では全ノードがセンシングデータを送信しようとするため、消費電力が高くなってしまふ。また、収集周期は全ノードがセンシングデータを基地局に送信するのに必要な時間よりも短いため、すべてのノードがセンシングデータを基地局に送信できるわけではない。そのため、信頼性が低くなってしまふ。

一方、B&C 方式と EBC 方式では、基地局が放送した推測値と自身のセンシングデータの誤差が許容範囲以上のノードが優先してセンシングデータを基地局に送信するため、send-all と比べて N_d が少なく、消費電力も低い。さらに、EBC 方式では、改善ステップを省略するため、B&C 方式と比べて消費電力が低くなっている。

また、B&C 方式と EBC 方式では、推測値が許容誤差範囲以上のノードがセンシングデータを基地局に送信するため、信頼性が高くなっている。B&C 方式では、推測の精度を改善するために、改善ステップにおいて推測値が許容誤差範囲以内のノードもセンシングデータを基地局に送信するが、EBC 方式では、このようなノードはセンシングデータを送信しない。EBC 方式では、推測の精度が低下すると、多くのノードが次の修正ステップにおいてセンシングデータを基地局に送信するため、推測の精度はある程度保たれる。結果として、EBC 方式における N_d や消費電力は B&C 方式と比べて低いが、EBC 方式における信頼性は B&C 方式と同じになっている。

5.3.2 放送フェーズの時間の影響

EBC 方式では、放送フェーズの時間によって消費電力が変化する。そこで、EBC 方式において放送フェーズの時間を 0.01 秒から 0.3 秒まで 0.01 秒刻みで変化させた場合の信頼性と消費電力を図 4 に、 N_b , N_o , N_c , N_r を図 5 に示す。

図 4 から、放送フェーズの時間が 0.04 秒から 0.18 秒までの

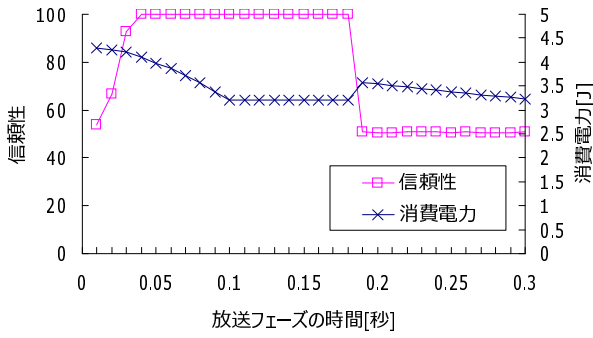


図 4 評価項目における放送フェーズの時間の影響

Fig. 4 Impact of the time interval of the broadcast phase on each criteria.

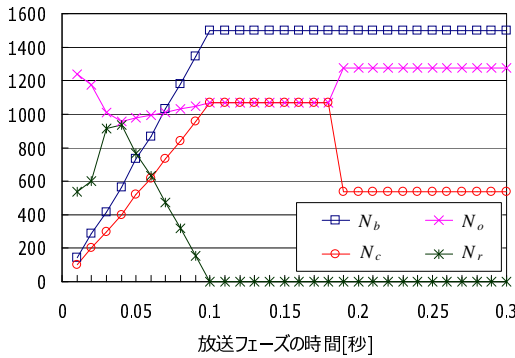


図 5 各値における放送フェーズの時間の影響

Fig. 5 Impact of the time interval of the broadcast phase on each value.

場合、信頼性が 100%になっていることがわかる。また、放送フェーズの時間が 0.1 秒から 0.18 秒までの場合、消費電力が低くなっている。放送フェーズの時間が 0.1 秒よりも短い場合、基地局は推測値を全放送グループに送信できない。そのため、図 5 において放送フェーズの時間が 0.1 秒よりも短い場合、 N_b が小さくなっている一方で、 N_r が大きくなっている。

しかし、放送フェーズの時間が 0.04 秒よりも短い場合、推測値を受信しなかったノード数が多いため、推測値を受信しなかったノードすべてがセンシングデータを送信できるとは限らない。そのため、信頼性が低くなっている。

一方、放送フェーズの時間が 0.1 秒よりも長い場合、基地局は全放送グループに対して推測値を放送できる。しかし、放送フェーズの時間が 0.19 秒よりも長くなると、推測値を受信したノードのうち、許容誤差範囲以上のノードすべてが基地局にセンシングデータを送信できるとは限らず、 N_c が小さくなっている。これは、放送フェーズの時間が長くなるほど、収集フェーズの時間が短くなるためである。結果として、信頼性は低くなる。

5.3.3 通信速度の影響

EBC 方式において、通信速度を 128Kbps から 2048Kbps まで 128Kbps 刻みで変化させた場合の信頼性と消費電力を図 6

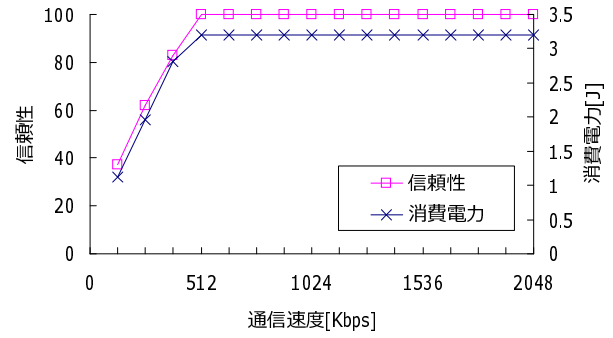


図 6 評価項目における通信速度の影響

Fig. 6 Impact of the communication speed on each criteria.

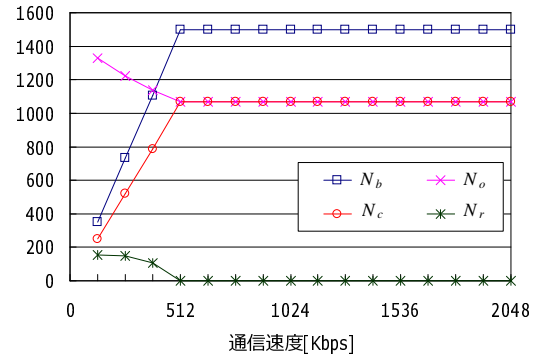


図 7 各値における通信速度の影響

Fig. 7 Impact of the communication speed on each value.

に、 N_b , N_o , N_c , N_r を図 7 に示す。

図 6 から、通信速度が 512Kbps 以上の場合、信頼性が 100%になっていることがわかる。また、信頼性が増加するにつれ、消費電力が増加していることがわかる。通信速度が 512Kbps 以上の場合、図 7 において N_b が 1500 になっており、 N_o と N_c が等しくなっていることから、全ノードが推測値を受信し、受信した推測値が許容誤差範囲以上のノードすべてが修正ステップでセンシングデータを基地局に送信できていることがわかる。よって、消費電力は高くなるものの、信頼性は 100%に達している。

一方、通信速度が 512Kbps 未満の場合、通信速度が遅いほど信頼性が低くなっている。この場合、図 7 において $N_r > 0$ かつ $N_c + N_r < N_o$ となっているため、受信した推測値が許容誤差範囲以上のノードすべてが修正ステップでセンシングデータを基地局に送信できているが、推測値を受信しなかったノードすべてが報告ステップでセンシングデータを基地局に送信できたわけではないことがわかる。このため、信頼性が低くなっている。また、消費電力が下がっているのは、通信速度が遅いほど送信するデータ量が少なくなるためである。

5.3.4 推測精度の影響

EBC 方式において、推測精度を 0.05 から 1 まで 0.05 刻みで変化させた場合の信頼性と消費電力を図 8 に、 N_b , N_o , N_c , N_r を図 9 に示す。

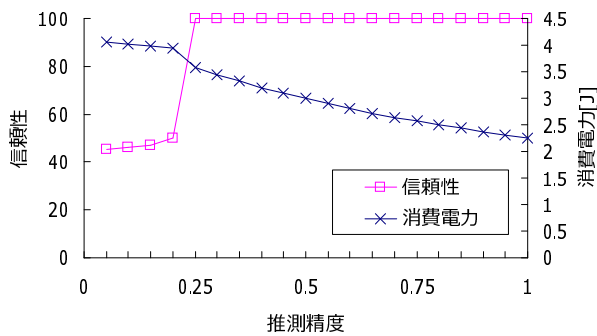


図 8 評価項目における推測精度の影響

Fig. 8 Impact of the hit ratio of the estimation on each criteria.

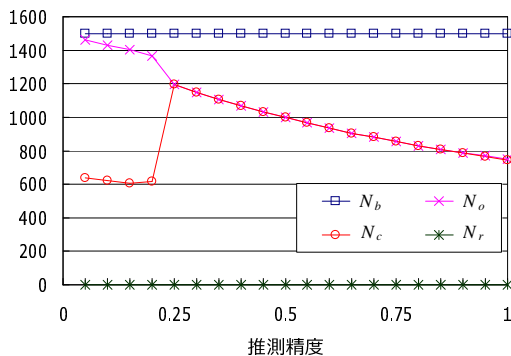


図 9 各値における推測精度の影響

Fig. 9 Impact of the hit ratio of the estimation on each value.

図 8 から、推測精度が 0.25 以上の場合、信頼性が 100% になっていることがわかる。推測精度が 0.25 以上の場合、図 9 において N_b が 1500 になっており、 N_o と N_c が等しくなっていることから、全ノードが推測値を受信し、受信した推測値が許容誤差範囲以上のノードすべてが修正ステップでセンシングデータを基地局に送信できていることがわかる。よって、信頼性は 100% に達している。また、推測精度が高いほど、消費電力が減少している。これは、推測精度が高いほど推測値が許容誤差範囲以上であるノード数が少なくなり、基地局にデータを送信する必要のあるノード数が減少するためである。これは、図 9 において、推測精度が高いほど N_o 、 N_c が小さくなっていることから確認できる。

一方、推測精度が 0.25 未満の場合、推測精度が低いほど信頼性が低くなっている。この場合、図 9 において $N_c < N_o$ となっていることから、推測値が許容誤差範囲以上のノード数が多いため、推測値を受信しなかったノードすべてが報告ステップでセンシングデータを基地局に送信できたわけではないことがわかる。このため、信頼性が低くなっているにもかかわらず、消費電力は増加している。

6. ま と め

本稿では、センサネットワークにおいて、放送型配信を用いてデータ収集を行うことで消費電力を削減する EBC 方式を提

案した。EBC 方式では、センシングデータを基地局に送信するノード数を減らすことで、消費電力を削減する。シミュレーション評価の結果から、EBC 方式が従来方式と比べてデータの信頼性を保ちつつ、消費電力を削減できることを確認した。

今後は、放送グループの決定方法や、複数回のセンシングデータの推測値をまとめて配信する手法について検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学技術振興調整費「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成：ゆらぎプロジェクト」、科学研究費補助金基盤研究 (A)(17200006)、特定領域研究 (18049050) および若手研究 (B)(18700085, 19700092)、平成 20 年度総務省委託研究「ユビキタスサービスプラットフォーム技術の研究開発」の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," Computer Networks, Vol. 38, No. 4, pp. 393–422, 2002.
- [2] D. Estrin, L. Girod, G. Pottie, and M. Srivastava, "Instrumenting the world with wireless sensor networks," Proc. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2001), pp. 2033–2036, 2001.
- [3] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," Proc. Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2000), pp. 1–10, 2000.
- [4] 飯間悠樹, 神崎映光, 原 隆浩, 西尾章治郎, "センサネットワークにおける通信傍受と空間的補間を利用した通信量削減手法," 情報処理学会研究会報告 (モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会 2008-MBL-47), Vol. 2008, No. 107, pp. 69–76, 2008.
- [5] 北島信哉, 原 隆浩, 寺田 努, 義久智樹, 西尾章治郎, "放送型データベースシステムにおけるクライアントの消費電力に基づく問合せ処理方式の提案と評価," 情報処理学会研究報告 (データベースシステム研究会 2008-DBS-146), Vol. 2008, No. 88, pp. 103–108, 2008.
- [6] 新城達也, 北島信哉, 小川剛史, 原 隆浩, 西尾章治郎, "移動型センサネットワークにおけるノードの故障を考慮したノードの移動制御手法," 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS 2008) 論文集, Vol. 2008, No. 14, pp. 297–302, 2008.
- [7] 義久智樹, 西尾章治郎, "センサネットワークにおける放送型配信を用いたデータ収集方式," 電子情報通信学会データ工学ワークショップ (DEWS 2007) 論文集 (CD-ROM), 2007.