

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

飯間 悠樹 神崎 映光 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
E-mail: {iima.yuuki, kanzaki, hara, nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

本稿では、無線センサネットワークにおける、無線通信の傍受を利用した通信量削減手法を提案する。提案手法では、各センサノードが、傍受した近隣ノードの観測データを利用することによって、自身のデータの冗長性を自律的に判断する。データの冗長性は、各ノードが、傍受したデータを基にした簡便な空間的補間によって判断し、自身のデータを冗長と判断したノードは、そのデータを発信しない。これにより、観測領域のデータ分布を予測するために必要なデータのみが発信され、WSNの通信量を削減できる。さらに、シミュレーション評価によって、提案手法が通信量と消費電力を大きく削減できることを示す。

Overhearing-based Data Transmission Reduction using Spatial Interpolation in Wireless Sensor Networks

Yuuki IIMA Akimitsu KANZAKI Takahiro HARA Shojiro NISHIO

Dept. of Multimedia Eng., Grad. Sch. of Information Science and Technology, Osaka Univ.
E-mail: {iima.yuuki, kanzaki, hara, nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

In this paper, we propose a novel energy-efficient data transmission reduction method for periodical data gathering in Wireless Sensor Networks (WSNs). Our method takes advantage of overhearing, which is a typical characteristic of wireless communications. In our method, each node in a WSN autonomously determines whether its own reading is redundant or not by using the overheard packets transmitted by its neighbors. The redundancy of a reading is evaluated by a simple spatial interpolation using the readings of its neighbors. If the reading is determined as redundant, the node stops transmitting it. Furthermore, we present an evaluation based on simulation experiments and show that our method suppresses data transmissions and reduces total energy consumption.

1 はじめに

近年、センサノード（単にノードと呼ぶ）の小型化と低価格化に伴って、無線通信機能を備えたノードのみによって構築される無線センサネットワーク（WSN）への注目が高まっている。WSNは、予め無線インフラを用意する必要がないため、様々な場所でサービスを展開できる。また、所望の情報を観測するノードを導入することで、温度や光、圧力、加速度など、多種多様な情報を得られる。このため、環境や動物の生態調査、侵入監視など、様々な応用が期待されている。

一般に、ノードに搭載される資源は乏しい。その中でも、バッテリーはノードの稼動時間に強く影響を与えるため、WSNのサービスを長期間提供するためにはノードの省電力化が重要である。特に、無線通信によるパケットの送受信は多くの電力を消費するため、通信量の削減がネットワーク全体の電力消費抑制に効果的である。

WSNの主要な応用サービスの一つに、観測領域全体の定期的な情報を取得するモニタリングアプリ

ケーションがある。このようなアプリケーションでは、各ノードが観測した情報（以下、データ）を、ネットワークと接続している基地局に収集する。ここで、モニタリングアプリケーションが観測する気温や光などには一般に、次のような特徴がある。まず、これらのデータは、そのデータを観測したノードの位置や観測された時間ごとに、離散的な値となる。また、これらのデータ間には、空間的や時間的などの相関性がある。このような相関性を利用することで、実際には観測されていない場所あるいは時間のデータを予測できる。さらに、このような相関性は、データの予測のみでなく、冗長なデータの発信抑制にも利用でき、様々な研究が行われている[1, 4, 6, 8, 9]。しかし、これまでに提案されている手法では、データ間の空間的な相関性を利用するために、何らかの形で全てのデータをやり取りする必要があり、そのための通信で大きな電力を消費してしまう。

そこで本稿では、WSNにおける、通信傍受と空間的相関性を利用した通信量削減手法を提案する。

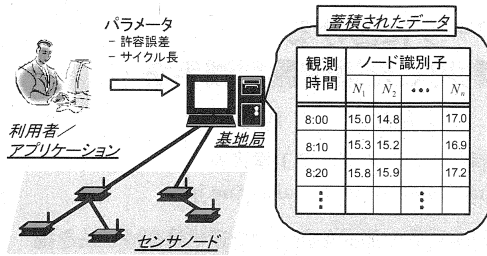


図 1: 想定システム

提案手法では、各ノードが、傍受した近隣ノードのデータを利用することによって、自身のデータの冗長性を自律的に判断する。データの冗長性は、各ノードが、傍受したデータを基にした簡便な空間的補間によって判断する。自身のデータを冗長と判断したノードは、そのデータを発信しない。これにより、基地局が観測領域のデータ分布を予測するために必要なデータのみが発信され、WSNの通信量を削減できる。

以下では、まず2章で本稿の想定環境について述べる。3章で関連研究について述べ、4章で本稿で提案する手法について説明する。5章で性能評価について述べ、最後に6章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

本研究で想定するシステムの概要を図1に示す。本稿では、一つの基地局と n 個のノードから成り、二次元平面上に構築されたマルチホップな無線ネットワークシステムを想定する。また、各ノードは一意な識別子 $N_i (1 \leq i \leq n)$ が割り当てられているものとする。さらに、各ノードの計算能力やメモリ容量、通信範囲といった性能は同等であるものとする。任意の2ノード間の通信は、その2ノードの距離が通信範囲 r 以下である場合のみ可能とする。また、各ノードは自身および自身と直接通信可能な隣接ノードの位置を、基地局は全ノードの位置を把握しているものとする。さらに、全ノード間の時刻同期は、文献[3]などの既存プロトコルによって予め達成されているものとする。

各ノードは、温度や光といった物理現象を定期的に観測（センシング）し、無線ネットワークを介してデータを基地局に転送する。センシングは、一定の間隔で周期的に全ノードが一斉に行うものとする。本稿ではこの周期をサイクルと呼び、サイクルの長さはアプリケーションが予め指定するものとする。また基地局は、送られてきたデータを自身の記憶領域に蓄積し、管理する。

アプリケーションは、各ノードがセンシングしたデータ値と、基地局から結果として返されるデータ値との間に許容できる誤差の範囲として、許容誤

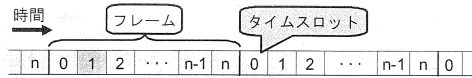


図 2: TDMA の概要

差 E を指定するものとする。つまり、本稿で想定するシステムの目的は、全ノードがセンシングした各データに対して、誤差が E 以下に収まるような値を得ることである。

各ノードから基地局までの無線通信経路は予め構築されているものとする。本稿では、静的な木構造ネットワークを用いてパケットを転送するものとする。なお、提案手法は基地局へのデータ収集から独立して動作するため、任意のデータ収集手法との組み合わせが可能である。

MACプロトコルとしては、TDMA方式（Time Division Multiple Access）を想定する。TDMA方式では、図2に示すように、ノードが帯域を利用する時間をタイムスロット（以下スロット）と呼ばれる時区間に等分割し、スロットを割り当てることでノードに通信機会を与える。また、スロットをフレームと呼ばれる周期にまとめ、このフレームを繰り返すことによって、ネットワーク内の端末は周期的にパケットを発信する機会を得る。各ノードへのスロット割当ては、文献[5, 7]などの方法によって予め完了しているものとする。また、各ノードは、自身と隣接ノードに割り当てられたスロット（割当てスロット）を把握しているものとする。

3 関連研究

Guestrinらは、文献[6]において、WSNを部分領域に分割し、各領域内のデータ分布を回帰近似することによって通信量を削減する手法を提案している。この手法では、データ量を指定した数の係数に圧縮できるが、近似結果と実際のデータ分布との誤差を厳密には保証できないという欠点がある。

Kotidisは、文献[8]において、データの相関性を基に、クエリに応答するノードを限定することによって通信量を削減する手法を提案している。この手法では、クエリの応答とは別に、クエリに応答するノードの選出や管理のための通信が発生する。また、データを収集するたびにクエリがWSN内を伝播する点で、提案手法とは想定環境が異なる。

文献[1, 4]では、データ間の様々な相関性を表現する統計モデルを用い、クエリに対して予測値を応答することによって通信量を削減する手法が提案されている。この手法には、統計モデルの構築に大量のデータが必要であるという課題がある。また、応答が確率的であるため、応答が許容誤差に収まることの保証が困難である。

Tuloneらは、文献[9]において、利用するデータ間の相関性を時系列のものだけに限定し、構築が容

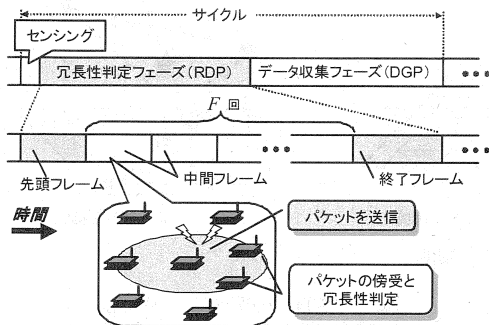


図 3: 提案手法概要

易な時系列モデルを利用することで通信量を削減する手法を提案している。この手法は、データの空間的な相関性を考慮しておらず、提案手法とは想定が異なる。また、前述の手法 [1, 4] と同様に、応答が確率的であり、応答が許容誤差に収まることの保証が困難である。

4 提案手法

提案手法の概要を図 3 に示す。提案手法は、一つのサイクルを以下の二つのフェーズから構成する。

- **冗長性判定フェーズ: Redundancy Determination Phase (RDP)**
各ノードが、自身がセンシングしたデータの冗長性を自立的に判断する。RDP 終了時に自身のデータが冗長であると判断しているノードは、当該サイクルではデータを発信しない。
- **データ収集フェーズ: Data Gathering Phase (DGP)**
各ノードが、RDP において発信されたデータを、木構造ネットワークに沿って基地局に収集する。

以下では、RDP における各ノードの動作およびデータ収集後の基地局の動作について述べる。

4.1 TDMA フォーマット

RDP は、先頭フレーム、 F 個の中間フレーム、および終了フレームからなる。RDP のフレーム構成を図 3 に、各フレームにおけるノードの動作を図 4 に示す。ノードは基本的に、トランシーバの電源を切った状態である休止状態にある。隣接ノードの割当てスロットではトランシーバを起動して受信待ち状態に遷移することで、隣接ノードが発信したパケットを傍受する。また、自身の割当てスロットにおいて、必要に応じてパケットを発信する。ここで発信されるパケットは、発信ノードの識別子、発信ノードがセンシングしたデータ、および、このパケットが最終フレームで発信されたかどうかの情報を含む。

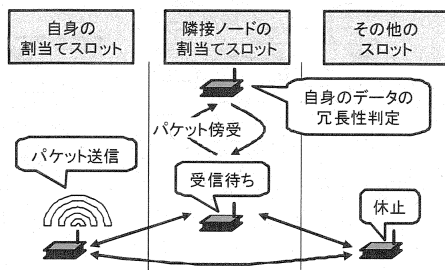


図 4: ノードの処理

4.1.1 先頭フレーム

先頭フレームでは、トリガノードと呼ばれるいくつかのノードがパケットを発信する。ここでトリガノードは、前サイクルでトリガノードとならなかったノードが、自身がトリガノードになるかどうかをランダムに決定することで選出する。また、自身をトリガノードに選出したノードでも、隣接ノードが先にトリガノードとしてパケットを発信した場合、先頭フレームでのパケット発信を取りやめ、傍受したパケットを基に冗長性判定を行う。

4.1.2 中間フレーム

中間フレームでは、各ノードは 4.2 節で述べる処理の結果に応じてパケットを発信する。また、隣接ノードが発信したパケットを傍受し、それらを基に冗長性判定を行う。

4.1.3 終了フレーム

終了フレームでは、それまでデータを発信していないノードのうち、直前のフレームが終了する時に、自身のデータが冗長でないと判断しているノード、および一度もパケットを傍受しなかったノードが全てパケットを発信する。

4.2 パケット傍受時の処理

ノードは、隣接ノードからのパケットを傍受するたびに、パケットのデータを基に空間的補間を行うことで自身の予測値を算出する。また、その予測値を基に自身のデータの冗長性を判断し、冗長と判断した場合はパケットを発信しない。一方、冗長でないと判断した場合は、後続フレームにおいてパケットを発信する。以下に空間的補間と冗長性判定の詳細について述べる。

4.2.1 空間的補間

提案手法では、データの予測値を算出するために三次元の空間的補間を行う。ここでは、 x 座標と y 座標がノードの位置座標に対応し、 z 座標がデータの値に対応するような $x-y-z$ 空間を想定する。以下に、ノードが行う空間的補間処理の詳細を述べる。

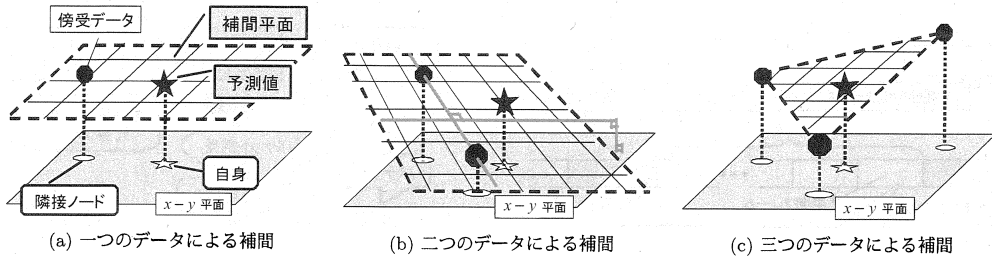


図 5: 空間的補間

- 現サイクル内で初めてデータを傍受したとき、図 5(a) に示すように、傍受したデータをそのまま自身のデータの予測値とする。
- 現サイクル内で二つ目のデータを傍受したとき、図 5(b) に示すように、傍受データからなる直線と、その法線のうち $x-y$ 平面に平行なものを含む補間平面を導出する。次に、補間平面上において、 x 座標と y 座標が自身の位置座標と対応する値を自身のデータの予測値とする。
- 現サイクル内で三つ以上のデータを傍受したとき、それらのデータを発信したノードの中から、自身を含む三角形を構成するように位置する 3 ノードを選択する。この条件を満たすノードの組が複数存在する場合は、それらの中から、自身からの距離の総和が最小の組を選択する。一方、この条件を満たすノードの組が存在しない場合は、自身からの距離の総和が最小となる 3 ノードを選択する。次に、図 5(c) に示すように、選択した 3 ノードのデータから補間平面を導出する。最後に、補間平面上において、 x 座標と y 座標が自身の位置座標と対応する値を自身のデータの予測値とする。

ここで、3 点を用いた補間処理において、ノードは、自身の位置を含む三角形を構成するように位置する隣接ノードのデータを優先的に用いる。これは、自身から見て異なる方向からの複数のデータが、より補間に有用であると考えられるためである。また、ノードからの距離の総和が最小となる隣接ノードのデータを優先的に用いるのは、自身から近い位置のデータほど、自身のデータと相関性が強いと考えられるためである。

4.2.2 冗長性判定処理

予測値を算出したノードは、次の条件式を評価することによって、自身のデータの冗長性を判定する。

$$|v_i - \hat{v}_i| \leq E. \quad (1)$$

ここで、 v_i はノード N_i がセンシングしたデータ、 \hat{v}_i は上述の空間的補間処理で算出されたデータ v_i の予測値、 E は許容誤差である。また、上式の左辺

表 1: TFDT の例 ($M = 0.3, g = 4$).

条件式	待機フレーム数
$E + 0.1 \geq d_i > E$	4
$E + 0.2 \geq d_i > E + 0.1$	3
$E + 0.3 \geq d_i > E + 0.2$	2
$d_i > E + 0.3$	1

を予測誤差と呼ぶ。この条件式が真の場合、ノードは自身のデータが冗長であると判断し、パケットの発信を中止する。偽の場合は、ノードは自身のデータが冗長でないと判断し、後続のフレームでパケットを発信する。

4.3 パケット発信フレームの決定

4.2 節の処理において、自身のデータが冗長でないと判断したノードは、後続のフレームを用いてパケットを発信する。ここで、予測誤差が大きいデータは、そうでないデータに比べて、より補間に有用であると考えられるため、早期に発信されることが望ましい。そこで提案手法では、各ノードが、自身のデータと予測値との差を基に、パケットを発信する中間フレームを決定する。

各ノードは、発信フレーム決定表 (Transmission Frame Decision Table: TFDT) を用いて、予測誤差を基にパケット発信のタイミングを制御する。TFDT は、表 1 に示すように、予測誤差と、ノードがデータを発信するまでに待機するフレームの数 (待機フレーム数) とを対応付ける。ここで、 d_i はノード N_i における予測誤差、 g ($2 \leq g \leq F$) は TFDT における条件数、 M は閾値である。TFDT における l 行目の条件式は次の式で与えられる。

$$\begin{cases} E + \frac{M}{g-1}l \geq d_i > E + \frac{M}{g-1}(l-1), & 1 \leq l < g, \\ d_i > E + M, & l = g \end{cases} \quad (2)$$

たとえば、表 1 における最終行は、 d_i が $E + M$ より大きい場合、ノード N_i は次のフレームでデータを送信するという意味を意味する。なお、TFDT で決定された待機フレーム数が終了フレームまでの残りフレーム数より大きい場合、ノードは終了フレームでデータを送信する。

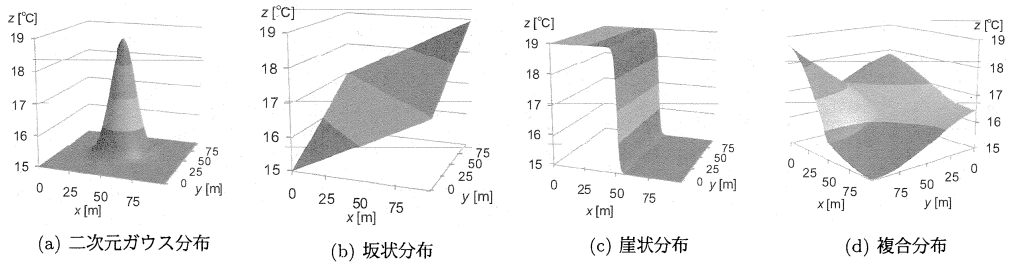


図 6: データ分布

表 2: 消費電力モデル

処理	電流 [mA]
パケット発信	22
パケット受信 (傍受)	22
受信待ち状態	2
休止状態	0.15

表 3: 実験時のパラメータ設定

パラメータ	値域 (標準値)
E	0.1-1.0 (0.2)
g	1-10 (3)
M	0.1-1.0 (0.3)

4.4 基地局における欠損データの復元

ノードによって冗長であると判断されたデータは基地局には転送されない。このような欠損データは、基地局において各ノードの補間処理を再現することで復元する。このとき、最終フレームで発信されたデータは、他のノードが補間処理に利用していないため、基地局における復元処理にも用いない。

ここで、基地局での欠損データの復元処理は、対応するノードが用いたものと同じデータを基に行うため、欠損データと復元されたデータとの誤差が必ず許容誤差 E 以内に収まることが保証される。

5 評価実験

本章では、シミュレーション実験によって提案手法の性能を評価する。実験では、観測領域の温度分布を観測するモニタリングアプリケーションを想定し、提案手法の特性や効率性を評価するため、データの分布や各種パラメータを変化させた。また、他手法との性能比較も行い、提案手法の有効性を評価した。

5.1 シミュレーション環境

実験では、 $100[m] \times 100[m]$ の二次元平面に 600 個のノード (N_1, \dots, N_{600}) をランダムに配置した。また、基地局は領域の角に一つ配置した。ノードの無線通信範囲の値は $10[m]$ とし、図 6 に示すような複数のデータ分布で実験を行った。

ノードの消費電力は、MICAz MOTE[2] を想定し、表 2 で表されるものとした。なお、簡単化のため、処理の遷移などによる電力の消費は考慮しないものとした。

各スロットの長さおよび各パケットのサイズは、それぞれ $20[ms]$ および $64 [Byte]$ とした。その他

のパラメータは、表 3 に示す範囲で変化させた。実験では、あるパラメータを変化させる際、他のパラメータを標準値に設定することで、各パラメータが提案手法に与える影響を評価した。

5.2 提案手法の特性

以上の環境で、ノードの配置を変えて 10 サイクルのシミュレーションを行い、以下の指標の平均値を評価した。

- パケット発信ノード数
RDP においてデータを発信したノード数。
- 収束時フレーム数
RDP が収束するまでに必要なフレーム数。
ここで、RDP が収束するとは、以降にパケットを発信するノードが存在しなくなることである。すなわち、全てのノードが、パケットを発信したか、あるいは自身のデータを冗長と判断している状態である。
- 消費電力
RDP における全ノードの消費電力の総和。

実験ではまず、RDP の収束特性を示すために、中間フレーム数 F が RDP 収束に必要な十分に設定されているという理想的な環境を設定する。

5.2.1 許容誤差の影響

図 7 に許容誤差 E を変化させたシミュレーションの結果を示す。各グラフにおいて、横軸は E を、縦軸は、図 7(a) ではパケット発信ノード数、図 7(b) では収束時フレーム数、図 7(c) では消費電力を示す。

図 7(a) から、 E の値が大きくなるに従って、データ分布によらず、パケット発信ノード数が減少していることが分かる。これは、 E が大きくなるに従って、各ノードがより少ない隣接ノードのデータから

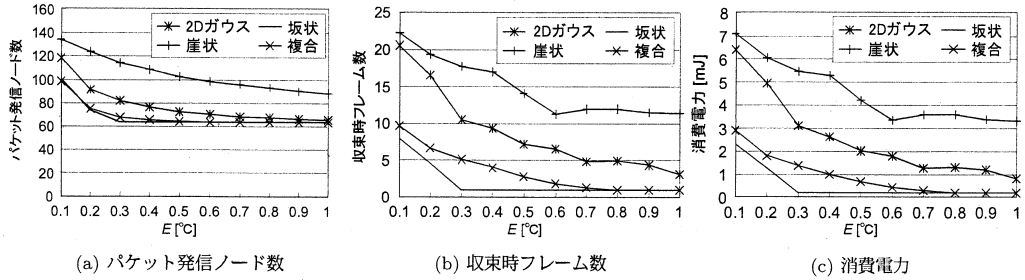


図 7: 許容誤差 E の影響

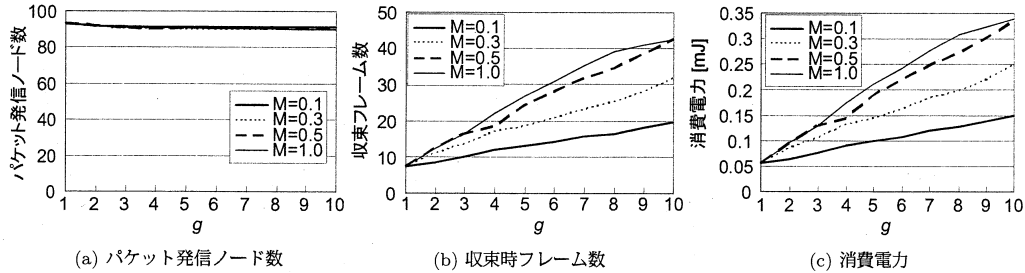


図 8: TFDT のパラメータ g と M の影響

式 (1) を満たすようになるためである。また、坂状分布や複合分布では、 E の増加に伴い、60 付近で発信ノード数が収束している。調査の結果、この値はトリガノードの数と等しいことが分かった。すなわち、許容誤差 E が 0.3 から 0.5 付近になると、トリガノードが発信したデータのみからそれ以外の全ノードのデータを予測できたことを意味する。

また、パケット発信ノード数の収束の様子がデータ分布によって異なることも分かる。特に崖状分布では、他の分布と比較して収束が遅いことが分かる。これは、少数のデータからデータ分布を予測する提案手法に対して、データ分布の変化が激し過ぎるためである。また、ガウス分布も、平面補間を用いている提案手法に対して変化の大きい曲面的な分布があるため、坂状分布や複合分布と比較して収束が遅いことが分かる。

図 7(b) から、収束時フレーム数もパケット発信ノード数と同様の変化をすることが分かる。これは、パケット発信ノード数と同様の理由によるものである。特に、坂状分布と複合分布では、 E の値がそれぞれ 0.3 と 0.8 を超えると、収束時フレーム数が 1 になっている。これは、トリガノードの発信データを傍受した残りの全ノードが、先頭フレームにおいて自身のデータが冗長であると判断したためである。

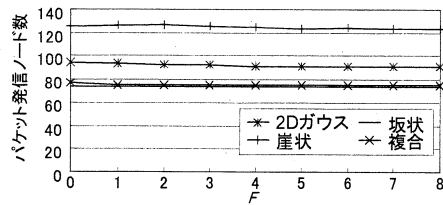
図 7(c) から、消費電力が収束時フレーム数と極めて似た変化を示すことがわかる。この結果は、消費電力がパケット発信ノード数のみでなく、収束時フレーム数に強く影響されることを示している。

以上の結果から、提案手法は、変化の激しいデータ分布よりも、平面的な、あるいは変化が漸次的なデータ分布に適していることが分かる。

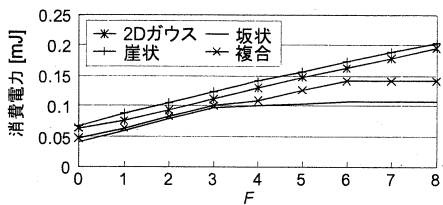
5.2.2 TFDT のパラメータの影響

図 8 に、TFDT のパラメータ g と M を変化させたシミュレーションの結果を示す。紙面の都合上、ここではガウス分布における結果のみを示す。なお、他のデータ分布における結果も同様の特性を示した。各グラフにおいて、横軸は g を、縦軸は、図 8(a) ではパケット発信ノード数、図 8(b) では収束時フレーム数、図 8(c) では消費電力を示す。

図 8(a) から、 g が大きくなるに従って、パケット発信ノード数がわずかに減少していることが分かる。これは、 g が大きいとき、各ノードがより細かい予測誤差の違いで異なる待機フレーム数を設定し、予測誤差の大きいノードほど先にデータを発信するようになるためである。しかし、この減少幅は極めて小さい。また、 M の変化も、パケット発信ノード数にほとんど影響を与えていない。これは、先頭フレームにおいて、トリガノードが発信したパケットだけで、ほとんどの冗長データが冗長と判断されたためと考えられる。トリガノードはランダムに選出され、また各トリガノードの隣接ノードはトリガノードにならないため、先頭フレームで発信されるパケットは地理的に分散する。本実験環境では、このようなパケットを用いることで、ほぼ全てのノードが自身のデータの冗長性を正しく判定できたものと考えられる。



(a) パケット発信ノード数



(b) 消費電力

図 9: 中間フレーム数 F の影響

図 8(b) から、 g が大きくなるに従って収束時フレーム数が増加していることが分かる。これは、 g が増加するほど、同じ予測誤差に対応する待ちフレーム数が増加する傾向にあり、ノードのパケット発信が全体的に遅くなり、RDP の収束を引き延ばすためと考えられる。また、 M の増加によっても収束時フレーム数が増加している。これは、 M の増加に従って、多くのノードにおける予測誤差が、TFDT における待機フレーム数の大きい条件式に該当したためと考えられる。

図 8(c) から、消費電力が収束時フレーム数と極めて似た変化を示すことがわかる。この結果より、パケット発信フレームのスケジューリングが結果的にノードの消費電力を増大させることが分かる。

5.2.3 中間フレーム数の影響

図 9 に、中間フレーム数 F を変化させたシミュレーションの結果を示す。各グラフにおいて、横軸は F を、縦軸は、図 9(a) ではパケット発信ノード数、図 9(b) では消費電力を示す。なお、RDP の総フレーム数が $(2 + F)$ に固定されるため、収束時フレーム数の評価は行っていない。

図 9(a) から、 F の変化によらず、パケット発信ノード数はほとんど変化しないことがわかる。これは、RDP が収束する前に打ち切られた場合に発信される冗長データが少ないためであると考えられる。この考察は TFDT のパラメータを変化させた場合の結果に対するものとも一致する。なお、収束が不十分な場合でも、発信されなかったデータは、誤差に違いはあるものの、基地局において許容誤差 E の範囲内で復元できる (4.4 節参照)。

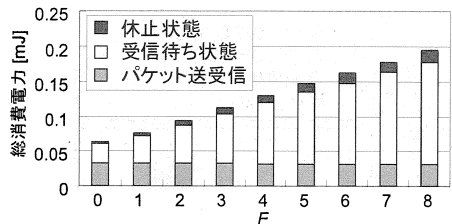


図 10: F に対する処理ごとの消費電力の割合

一方、消費電力は、図 9(b) から、 F が増加するに従って、データ分布によらず増加することがわかる。ただし、坂状分布や複合分布では、 F の値が 5 から 6 となる辺りで消費電力が収束している。これは、RDP の総フレーム数 $(F + 2)$ が、収束フレーム数を超えたためである。

以上の評価に加え、 F を変化させた場合の、表 2 における各処理の消費電力の割合を調査した。ガウス分布に対する消費電力の詳細を図 10 に示す。この図から、受信待ち状態が消費する電力が比較的大きい割合を占め、またその割合が F の増加に伴って増加することが分かる。一方で、RDP におけるデータの送受信による電力消費はほぼ一定である。これは、 F の値を変化させたときのパケット発信ノード数の変化がわずかであったためである。

以上の結果から、 F を制限することがノードの電力消費を抑えるために有効であることが分かった。

5.3 他手法との比較

データの収集も含めた 1 サイクルにおける消費電力を他手法と比較した。本実験では、5.2 節の実験結果から、提案手法の消費電力を最小にするため、 F, g, M の値をそれぞれ 0, 1, 0 に設定した。比較手法として、以下の二つを用いた。なお、全ての手法において、データを転送する通信経路は同一の木構造ネットワークとした。

- クラスタリング集約手法

この手法では、WSN を、一つのヘッダノードとその隣接ノードから構成されるクラスタに分割する。各ノードは、RDP において自身の属するクラスタのヘッダノードにデータを発信する。その後、DGP において、ヘッダノードは受信したデータの中から冗長でないもののみを基地局に転送する。このとき、基地局に転送されるデータは、提案手法で転送されるものと同じであるものとした。

- 全データ収集手法

この手法では、全てのノードが、自身のデータを木構造ネットワークを介して基地局に転送する。このため、サイクルは DGP のみからなる。

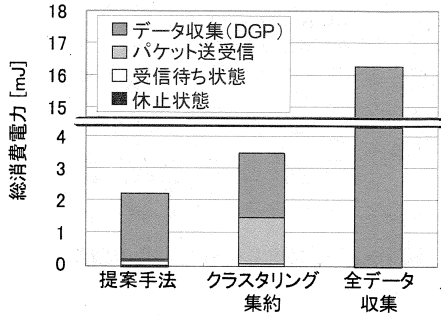


図 11: 総消費電力の比較

結果を図 11 に示す。この図から、提案手法が、パケットの送受信回数を抑えることで、比較手法に比べて WSN の消費電力を大幅に削減できることが分かる。

提案手法は、クラスタリング手法と比べて、RDP におけるパケットの送受信による電力消費が小さい。これは、一部の発信されたパケットを傍受することで冗長なデータの発信を抑えているためである。このことから、冗長なデータの抑制を、余分な通信を伴うことなく実現できていると言える。

一方、提案手法は、クラスタリング手法と比べて受信待ち状態による電力消費が大きい。これは、提案手法が RDP において、隣接ノードのパケットを傍受するため、隣接ノードの割当てスロットとなっている全スロットで受信待ち状態になるためである。しかし、 F の値を最小にしているため、受信待ち状態による電力の消費は最小限に抑えられている。

6 まとめ

本稿では、WSN における、データの傍受を利用した通信量削減手法を提案した。提案手法では、傍受した隣接ノードの発信データを基に、WSN 内の各ノードが自律的に自身のデータの冗長性を判定する。この冗長性判定には、簡便な空間的補間を用いている。シミュレーションの結果より、提案手法が、WSN の通信量と消費電力を抑えることを示した。

今後は、通信の失敗が起こる環境における提案手法の性能評価や、そのような環境への対応について検討する。さらに、データの空間的相関性のみでなく、時間的相関性も利用できるよう、提案手法を拡張する予定である。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究 (18049050) および基盤研究 (A)(17200006) の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Chu, D. Deshpande, A. Hellerstein, J. and Hong, W.: Approximate Data Collection in Sensor Networks using Probabilistic Models, Proc. ICDE, pp. 48–60 (2006).
- [2] Crossbow: http://www.xbow.com/products/product_pdf_files/wireless_pdf/6020-0060-01_a_micaz.pdf.
- [3] Dai, H. and Han, R.: TSync: A Lightweight Bidirectional Time Synchronization Service for Wireless Sensor Networks, SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev., Vol.8, No.1, pp.125–139 (2004).
- [4] Deshpande, A. Guestrin, C. Madden, Hellerstein, J. and Hong, W.: Model-driven Data Acquisition in Sensor Networks, Proc. VLDB, pp. 588–599 (2004).
- [5] Florens, C. and McEliece, R.: Scheduling Algorithms for Wireless Ad-Hoc Sensor Networks, Proc. GLOBECO, Vol.1, pp. 6–10 (2002).
- [6] Guestrin, C. Bodi, P. Thibau, R. Paski M. and Madden, S.: Distributed Regression: An Efficient Framework for Modeling Sensor Network Data, Proc. IPSN, pp. 1–10 (2004).
- [7] Kanzaki, A. Hara T. and Nishio, S.: An Adaptive TDMA Slot Assignment Protocol in Ad Hoc Sensor Networks, Proc. SAC, Vol.2, pp. 1160–1165 (2005).
- [8] Kotidis, Y.: Snapshot Queries: Towards Data-Centric Sensor Networks, Proc. ICDE, pp. 131–142 (2005).
- [9] Tulone, D. and Madden, S.: An Energy-efficient Querying Framework in Sensor Networks for Detecting Node Similarities, Proc. MSWiM, pp. 191–300 (2006).