

無線センサネットワークにおける受信電波強度に基づいた 省電力情報散布手法の提案と評価

久松 潤之[†] 長谷川 剛^{††} 村田 正幸^{†††}

[†] 大阪電気通信大学 総合情報学部 〒 575-0063 大阪府四条畷市清滝 1130-70

^{††} 大阪大学 サイバーメディアセンター 〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-32

^{†††} 大阪大学 大学院情報科学研究科 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: [†]hisamatu@isc.osakac.ac.jp, ^{††}hasagawa@cmc.osaka-u.ac.jp, ^{†††}murata@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし センサネットワークの主な課題の一つに、消費電力の抑制がある。センサネットワークの省電力化において、無線通信による電力消費を抑えることが重要である。本稿では、無線センサネットワークにおける、消費電力を考慮した情報散布手法を提案する。提案手法は、フラッディング手法を基にした情報散布を行い、受信ノードがメッセージを受信したときの受信電力に応じて、ブロードキャスト時刻を制御する。二次元正方格子上にノードを配置したシミュレーションにより、提案手法は、フラッディング手法とは異なり、無線の電波の送信距離を大きくするほど、消費電力の面で効率的な情報散布ができることを示す。さらに、ノードをランダム配置した場合のシミュレーションを行い、提案方式が正方格子上にノードを配置した場合と同様の性質を示すことを明らかにする。

キーワード センサネットワーク、省電力、情報散布

Energy efficient information dissemination scheme based on the received signal strength in wireless sensor networks

Hiroyuki HISAMATSU[†], Go HASEGAWA^{††}, and Masayuki MURATA^{†††}

[†] Department of Computer Science, Osaka Electro-Communication University
1130-70 Kiyotaki, Shijonawate, Osaka, 575-0063, Japan

^{††} Cybermedia Center, Osaka University, 1-32 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka, 560-0043, Japan

^{†††} Graduate school of Information Science and Technology, 1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan

E-mail: [†]hisamatu@isc.osakac.ac.jp, ^{††}hasagawa@cmc.osaka-u.ac.jp, ^{†††}murata@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract In this report, we propose an information dissemination scheme to facilitate electric power consumption for wireless sensor networks. Our new dissemination scheme is based on the flooding and uses the receiver signal strength for determining the broadcast timing. We evaluated our proposed scheme by simulations. We used a network model where sensor nodes are arranged on the square lattices. As a result, it is shown that our proposed scheme improves the information delivery ratio by increasing the power consumption slightly in the network. Furthermore, we ran simulations using a network model where sensor nodes are randomly located and showed that the proposed scheme had the same characteristics as simulation results using the network model, where sensor nodes are arranged on the square lattices.

Key words sensor network, energy efficiency, information dissemination

1. はじめに

近年、半導体技術の進歩により無線端末の小型化が進み、それに伴い無線センサネットワークへの注目が高まっている。現在までに、既に多くの分野で、無線センサネットワークが適用

されている。例えば、危険なため人が入りにくい場所にノードを散布し、水害、林野火災、土砂崩壊などの災害検知や、有害ガスを検知するノードを用いることで、街中の大気、工場からのガス排出を監視する環境モニタリング、ビル内の人の数や、空調、照明の状況を検知し、空調、照明を管理するビルの環境

管理がある [1]。

無線センサネットワークは、上述のように様々な分野で用いられているが、想定されるネットワーク環境は、用いられる領域によって異なる。例えば、上述のビルの環境管理の場合、ノードは定期的なメンテナンスを受けることが可能で、ノードの故障、電力の枯渇等は深く考慮する必要はないと考えられる。一方、災害の検知の場合では、ノードの移動、故障等を十分に考慮する必要がある。

ノードの移動や故障等、状況が変化するネットワークでは、始点となるノードから終点となるノードまで、事前に経路を決定することは困難である。終点となる端末が移動する場合は、情報を送信する時点において、経路を決定することは難しい。情報をネットワーク全体に散布することで、確実に目的となるノードに情報を届ける手法は、始点ノードから終点ノードへの経路決定が難しい場合に適用される、代表的な手法の一つである [2]。

これに加えて、[3] では、ノードから効率的な情報収集のために、収集すべき情報や通知すべきイベントを、全てのノードに散布する手法が提案されている。さらに、[4] では、センサネットワークにおけるノードの故障に対応するための管理システムが提案されている。このシステムでは、確実にノードに情報を届けるために、ネットワーク全体へ情報を散布させる。また、[5] では、既に動作しているノードに対して、プログラムをインストールするための情報散布手法が提案されている。この研究でも、確実にプログラムをノードに届けるために、ネットワーク全体へ情報を散布するアプローチが取られている。

このように、センサネットワークにおいて、何らかのアプリケーションを動作させる場合に、センサネットワーク全体へ情報を散布させることが求められている。また、無線センサネットワークが我々にとって身近になるにつれ、センサネットワーク上で動作するアプリケーションは増えることが考えられる。今後、情報散布手法がよりいっそう、重要となることが予想される。

ネットワーク全体に情報を散布する手法の問題点の一つとして、消費電力量の増加が挙げられる。無線センサネットワークにおいて、無線によるメッセージの送受信によって消費する電力量は、センサノードの動作において消費する電力量のうち大きな割合を占める [6]。定期的なメンテナンスを期待できない環境でバッテリーによって駆動するセンサノードにとって、限られた電力資源を有効に活用しネットワークの稼働時間を延ばすためには、無線通信による電力消費を抑える事が重要となる。

本稿では、無線センサネットワークにおける、消費電力を考慮した情報散布手法を提案する。提案手法は、フラッディング手法 [7] を基にした情報散布を行う。フラッディング手法は、新しい情報を受信したノードは、その情報を全ての隣接ノードへブロードキャストする一方、既に取得済みの情報を受信したノードは何も行わない。提案手法では、無線によりメッセージを受信したときの受信電力を用いて、メッセージのブロードキャスト時刻を制御する。一般的に、受信ノードから遠くのノードが送信された無線の電波ほど、伝搬損失のために、受信電力は

小さくなる。このことを利用して、提案手法では、新しいメッセージを受信してブロードキャストするまでに、再度同じメッセージを受信した場合、ブロードキャストを取りやめる。これによって、提案手法は、送信ノードからより遠くにある受信ノードが、先にメッセージをブロードキャストする機会を持つことで、少ないブロードキャスト回数で情報を散布させることができる。

本稿では、二次元正方格子上にノードを配置したシミュレーションにより、フラッディング手法とは異なり、提案手法は、無線の電波の送信距離を大きくするほど、効率的な情報散布ができることを示す。さらに、センサノードをランダム配置した場合のシミュレーションを行い、正方格子上にセンサノードを配置した場合と同様の性質が、示されることを明らかにする。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2. 章では、関連研究を説明する。次に、3. 章で、提案手法を説明し、4. 章では、シミュレーションにより提案手法を性能評価し、その有効性を示す。最後に 5. 章では、本稿のまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

これまでに、センサネットワークにおける情報散布の研究は複数行われている [8]~[11]。例えば、[8] では、ノードが取得した情報を、ネットワーク全体へ散布させるために、フラッディング手法を基にした情報散布手法が提案されている。この手法では、全てのメッセージを散布させるのではなく、一定の頻度でメッセージを削除し、メッセージの送受信回数を減らしている。しかしながら、各ノードで独立してメッセージを削除するため、メッセージの情報散布率の低下が考えられる。また、[9] では、シンクノードからノードへ確実に情報を散布する手法を提案している。この手法では、送受信ノード間でユニキャスト通信を行う際に、確認応答を用いることで、情報を確実に受信ノードへ送信する。しかしながら、フラッディング手法に比べた場合、送受信されるメッセージ量の増加、および、消費電力量の増加が予想される。

また、[10] では、複数のシンクノードが移動するネットワークにおいて、シンクノードからノードに対して情報散布する手法が提案されている。ネットワークを複数の正方格子で分けし、正方格子内のノードに対して、フラッディング手法により情報を散布させる。正方格子の外には、情報を散布させないことで、転送されるメッセージ数を減らしている。この手法は、限られた領域へ情報を散布することを前提に、送受信されるメッセージ数を削減しており、ネットワーク全体に対して情報散布する手法への拡張は難しい。さらに、[11] では、シンクノードが移動するネットワークにおいて、ノードが収集した情報をシンクノードへ送信するために、情報散布する手法が提案されている。ネットワークの一部の領域にあるノード群に情報を集め、このノード群からシンクノードは情報を取得する。その結果、送受信されるメッセージ数が削減されることが示されている。この手法は、シンクノードの特殊性を前提としており、ネットワーク全体へ情報散布させる手法へ適用することは難しい。

3. 提案手法

提案手法では、フラッディング手法を基に、効率的に情報を散布させたいことを考える。フラッディング手法では、新たに散布させたい情報が発生したノードが、まず、ブロードキャストによって、全ての隣接ノードに対してメッセージを送信する。このとき、メッセージを受信したノードは、そのメッセージが初めて受信したものであれば、メッセージをブロードキャストするが、既に受け取っていたメッセージの場合には、ブロードキャストしない。このように隣接ノードに対して、ブロードキャストを繰り返すことにより、ネットワーク全体に情報を散布させる。

提案手法は、メッセージを受け取った際の受信電力に応じて、メッセージをブロードキャストするタイミングを決定する。一般的に、受信ノードから遠くのノードが送信された無線の電波ほど、伝搬損失のために、受信電力は小さくなる。この性質を利用して、提案手法では、送信ノードからより遠くにあるノードが先にブロードキャストを行う。また、提案手法では、新しいメッセージを受信したノードが、受信したメッセージをブロードキャストする前に、再度、同じメッセージを受信した場合には、ブロードキャストを取りやめる。

図 1 に、(a) フラッディング手法と (b) 提案手法でのメッセージの散布の様子を示す。図では、実線の円がノードを示し、太い円ノードにおいてメッセージが生成され、メッセージが散布していく。ノード内にかかれた数字は、メッセージを受け取った回数を示し、点線の円は無線の電波の到達範囲を示す。点線の円の個数はブロードキャストが行われた回数となる。この図から、提案手法を用いることで、ネットワーク全体でのメッセージの送信回数、および、受信回数を減少させることが分かる。また、提案手法では、送信電力を大きくし、無線電波の送信距離を大きくした方が、効率的な情報散布を期待できる。

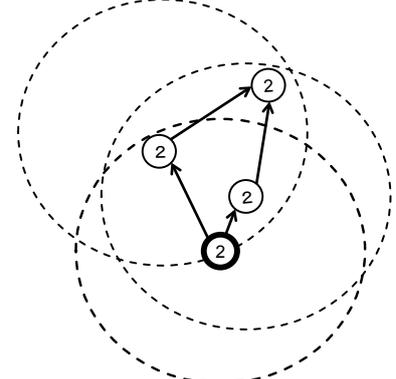
距離 d 離れた、送受信ノード間において、受信ノードが無線の電波を受信するときの受信電力は、送信電力を P_{tx} 、送信アンテナの利得を G_t 、無線電波の伝搬損失を $L_p(d)$ 、受信アンテナの利得を G_r とすると、以下の式で与えられる [12]。

$$P_r(d) = P_{tx} + G_t - L_p(d) + G_r \quad (1)$$

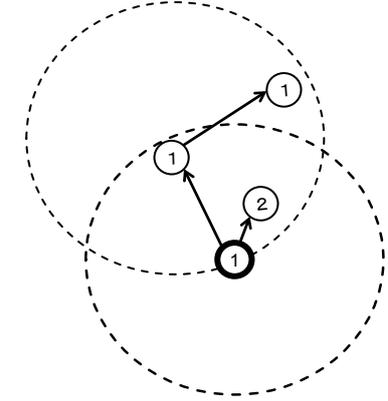
今、ネットワーク全体が同一のノードで、かつ、同一の設定により構成されると仮定する。このとき、各ノードは、他のノードの送信電力、送信アンテナの利得、受信アンテナの利得から、受信電力の最大値 P_r^{max} を計算できる。 P_r^{max} は、以下の式で与えられる。

$$P_r^{max} = P_{tx} + G_t + G_r \quad (2)$$

IEEE 802.11 におけるブロードキャストでは、RTS (Request To Send)、CTS (Clear To Send)、および、フレームが届いたことを示す ACK は用いられない [13]。フラッディング手法において、初めて受信するメッセージを受け取った受信ノードは、次式で定められる T 時間後に、メッセージをブロードキャストする。



(a) フラッディング手法



(b) 提案手法

図 1: メッセージの散布の様子

$$T = DIFS + CW \times slot_time \quad (3)$$

DIFS, CW slot_time は、IEEE 802.11 のアクセス制御である CSMA/CA において、パケットの衝突を回避するために定められているパラメータである。

提案手法は、式 (3) を拡張し、受信電力 P_r のメッセージを受け取り、そのメッセージが初めて受信したメッセージのとき、受信ノードがそのメッセージをブロードキャストする時間 T を、次式によって決定する。

$$T = DIFS + \left(CW + \left[CW \times \frac{P_r}{P_r^{max}} \right] \right) \times slot_time \quad (4)$$

受信電力 P_r が小さいほど、すなわち、送信ノードからより離れたノードほど、メッセージの早いブロードキャストが可能である。

4. シミュレーションによる性能評価

本章では、シミュレーションにより、提案手法が従来のフラッディング手法とは異なり、無線の電波の送信距離を大きくするほど、効率的な情報散布ができることを示す。

4.1 シミュレーション環境

図 2 に、シミュレーションモデルを示す。1 辺 100 [m] の二次元正方形格子 100×100 上に、ノードが存在する。ノードは、CrossBow の MICAz [14] を想定する。また、無線の周波

数を 2.45 [GHz]、送信レートを 250 [Kbit/s]、パケットサイズを 127 [Byte] とし、メッセージは全て単一のパケットに収まるとする。電圧を 3.0 [V] とし、メッセージ受信時に流れる電流を 19.70 [mA] とする。さらに、送受信アンテナの利得を 0 [dBm]、ノードの最低受信感度は、-90 [dBm] とする。

無線の送信距離を 100、150、200 [m] の 3 種類に設定し、いずれの場合においても、受信電力が -80 [dBm] となるように、送信電力を定める。本稿では、ノード間に障害物、および、反射物がないと仮定し、無線の電波が自由空間損失モデルに従うとする。この場合、送信ノードが送出した電波が距離 d 離れた受信ノードに到着したときの伝搬損失 $L_p(d)$ は、以下の式で与えられる [12]。

$$L_p(d) = (4\pi d/\lambda)^2 \quad (5)$$

ただし、 λ は、無線の電波の波長である。なお、今回は自由空間損失モデルにより伝搬損失を求めたが、センサネットワークを展開する環境に応じて、伝搬損失モデルを変更することで、容易に、他の環境における性能評価を行うことができる。

式 (1) および式 (5) より、送信距離が 100、150、200 [m] の場合の送信電力はそれぞれ、10.22、13.74、16.24 [dBm] となる。このとき、パケット送信時に流れる電流は、それぞれ、85.19、178.81、309.87 [mA] となる。また、送受信時に流れる電流 I [A]、電圧 V [V]、パケットサイズ L [bit]、転送速度 r [bit/s] を用いて、消費電力量 J [J] は以下の式で与えられる。

$$J = I \times V \times \frac{L}{r}$$

この環境において、100 回のシミュレーションを繰り返し実行し、情報散布率、ネットワーク全体の消費電力の平均値を計算する。表 1 に、シミュレーションに用いたパラメータをまとめる。

4.2 センサノードを二次元正方格子上に配置した場合のシミュレーション

図 3 に、通信成功確率を 90% とし、格子点上へノードを配置する確率 (以下、配置確率と呼ぶ) を変化させたときのフラッ

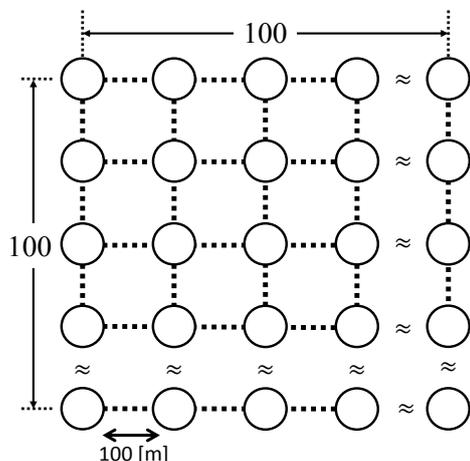


図 2: シミュレーションモデル

表 1: シミュレーションに用いたパラメータ値

周波数	2.45 [GHz]
送信レート	250 [Kbit/s]
送受信アンテナゲイン	0 [dBm]
最低受信感度	-90 [dBm]
受信時に流れる電流	19.7 [mA]
100 [m] 送信時に流れる電流	85.19 [mA]
150 [m] 送信時に流れる電流	178.81 [mA]
200 [m] 送信時に流れる電流	309.87 [mA]
電圧	3.0 [V]
パケットサイズ	127 [Byte]

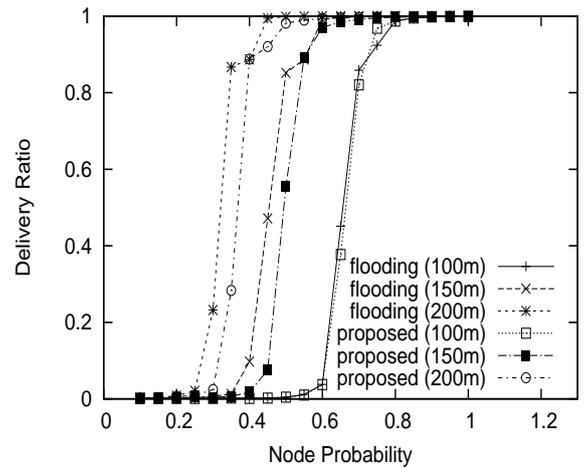


図 3: シミュレーション結果: 情報散布率

ディング手法および提案手法の情報散布率を示す。この図から、まず、配置確率に関しては、いずれの場合においても情報伝播率が急激に上昇する閾値が存在することが分かる。また、フラッディング手法および提案手法どちらの場合でも、無線電波の送信距離が伸びるほど、配置確率の閾値が小さくなる、すなわち、配置確率に対して、情報散布率が高い領域が広がることが分かる。これは、より遠くに無線の電波を送信することで、一回の送信で受信することができるノード数が増加し、その結果、配置確率が小さい領域においても、情報散布率を高く維持できていると説明できる。

さらに、無線の電波の送信距離が 100 [m] の場合では、フラッディング手法と提案手法の情報散布率が、ほぼ一致していることが分かる。これは一辺 100 [m] の正方格子上で、無線の電波が 100 [m] まで届くときは、フラッディング手法と提案手法が、ほぼ同じ動作をするためである。一方、無線の電波の送信距離が 150 および 200 [m] のときは、フラッディング手法の配置確率の閾値は、提案手法のそれよりわずかに小さい、すなわち、フラッディング手法の方が、提案手法より、情報散布率の高い領域がわずかに広いことが分かる。この理由を図 4 を用いて説明する。図 4 では、まず、ノード A がブロードキャストし、ノード B、C、および、D がメッセージを受信する。このとき、フラッディング手法では、ノード B、C、および、D がそれぞれブロードキャストする。一方、提案手法で

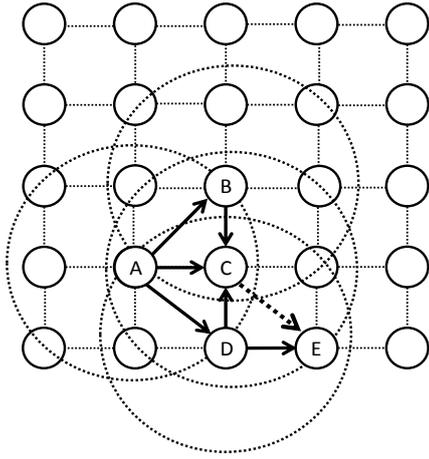


図 4: メッセージの散布の例

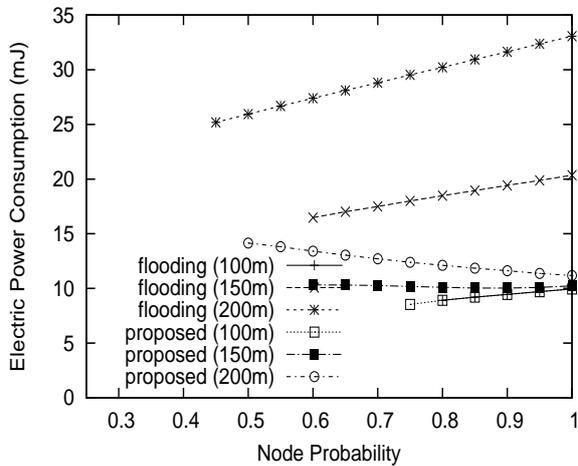


図 5: シミュレーション結果: 情報散布率が 95% 以上の領域の消費電力量

は、ノード A から見て、ノード C より遠くにあるノード B、および、D が先にブロードキャストするため、ノード B、または、D から、再度、情報を受信したノード C は、ブロードキャストしない。その結果、図 4 のような状況の場合、提案手法はフラッディング手法に比べて、ノード E が情報を取得する機会が 1 回少なくなる。このように、提案手法はフラッディング手法に比べて、情報を取得する機会が少なくなる可能性があるため、配置確率の閾値がわずかに大きくなり、それにもなって情報伝播率の高い領域が、わずかに狭くなる。

次に、図 5 に、フラッディング手法および提案手法において、情報散布率が 95% 以上の領域における、ネットワーク全体においてメッセージの送受信に用いられた消費電力量を示す。この図から、まず、無線の電波を 100 [m] まで送出するときには、フラッディング手法と提案手法の消費電力量が、ほぼ一致していることが分かる。これは、情報散布率の場合と同様の理由である。これに対して、無線の送信距離が 150、200 [m] のときには、フラッディング手法は配置確率が増加するにつれて、消費電力量が増加することが分かる。これは、配置確率が

増加するにつれて、ネットワーク中のノード数が増加するためである。フラッディング手法の場合、新しいメッセージを受信したときに、新しいメッセージを受信した場合、周りのノードのメッセージの受信状況に関係なく、必ずブロードキャストするため、ノード数が増加すると、それだけブロードキャストの回数、および、各ノードのメッセージの受信回数も増える。その結果、ネットワーク全体での消費電力量が増加する。

また、図 5 から、フラッディング手法の場合、無線の送信距離が大きくなればなるほど、消費電力量が非常に増加していることが分かる。これは、無線の送信距離が増加することにより、一度の送信でメッセージを受信できるノード数が増加したこと、加えて、無線の送信距離を大きくするために、より多くの電力を用いたことが原因である。そのため、フラッディング手法の場合、無線の送信距離が大きくなるほど、消費電力量が非常に増加する。

これに対して提案手法では、図 5 から、無線の送信距離が 150、200 [m] のとき、配置確率が増加するにつれて、消費電力量が減少していることがわかる。さらに、無線の送信距離が 150 [m] のときよりも、200 [m] の方が、配置確率に対して、より消費電力量の減少が大きい。これは配置確率が増加するにつれて、また、送信距離が大きくなるにつれて、提案手法が、より効率的にメッセージの送受信することを示す。

以上をまとめると、フラッディング手法と提案手法ではどちらも、送信の際に、より大きな電力を用いて無線の送信距離を増加させることで、情報散布率の高い領域を広くすることができる。このとき、フラッディング手法は、より大きな電力を用いて無線の送信距離を増加させると、それにもなって、ネットワーク全体の消費電力量が、非常に増加するが、提案手法では、ネットワーク全体の消費電力量の増加を、最小限に抑えることに成功している。

4.3 センサノードをランダム配置した場合のシミュレーション

先のシミュレーションは、二次元正方格子上にセンサノードを配置したシミュレーションであった。最後に、より現実のネットワークに近い環境でシミュレーションを行う。一辺 4,000 [m] の正方形領域上に、ノードをランダムに配置する。ノードの設定は、表 1 と同様とし、また、無線の電波の伝搬損失も、式 (5) に従う。

図 6 に、ネットワーク中のノード数を変化させたときの情報散布率を示す。図 3 と同様に、ネットワーク中のノード数が増加すると、閾値を境に情報散布率が急激に増加していることが分かる。また、図 3 と比較すると、無線の送信距離が 100 [m] のときに、提案手法の方がフラッディング手法よりも、閾値が大きいことが分かる。無線の送信距離が 100 [m]、かつ、正方格子の 1 辺が 100 [m] の場合において、提案手法とフラッディング手法では、ほぼ同じ動作をしていた。しかし、ランダム配置の場合、送受信ノード間の距離が 100 [m] 未満になることがあり、送信距離が 150、200 [m] のときと同様に、提案手法ではメッセージを受け取る機会が減る場合がある。

図 7 に、フラッディング手法および提案手法において、情報

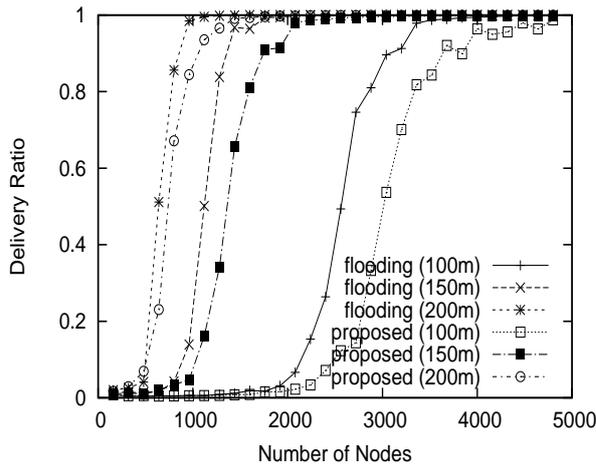


図 6: ノードをランダム配置した場合のシミュレーション結果: 情報散布率

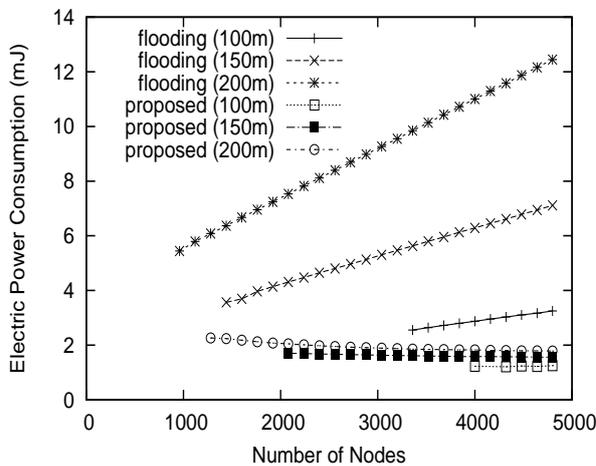


図 7: ノードをランダム配置した場合のシミュレーション結果: 情報散布率が 95% 以上の領域の消費電力量

散布率が 95% 以上の領域における、ネットワーク全体においてメッセージの送受信に用いられた消費電力量を示す。図 5 と同様に、フラディング手法は、ノード数が増加するにつれて、消費電力量が増加する。一方、提案手法は、ノード数が増加するにつれて、ネットワーク全体の消費電力量が減少していることが分かる。以上より、ノードをランダム配置した場合において、提案手法は、正方格子に配置した場合と同様の性質を示すことが分かった。

5. まとめと今後の課題

本稿では、無線センサネットワークにおける、消費電力を考慮した情報散布手法を提案した。提案手法は、フラディング手法を基にした情報散布を行う。提案手法は、ノードがメッセージを受信したときの受信電力に応じて、ブロードキャスト時刻を制御し、さらに、新しいメッセージを受信したノードが、そのメッセージをブロードキャストする前に、同じメッセージを他のノードから受信した場合、ブロードキャストを取りやめる。

二次元正方格子上にノードを配置したシミュレーションを行い、提案手法は、送信の際に、より大きな電力を用いて無線の送信距離を増加させることで、情報散布率が高い領域を広くすることができること、また、このときのネットワーク全体の消費電力量の増加が小さいことを示した。さらに、ノードをランダム配置したシミュレーションを行い、提案手法は、正方格子に配置した場合と同様の性質を示すことを明らかにした。

今後の課題として、提案手法のパフォーマンス理論を用いた性能解析、提案手法の実機を用いた実験評価、そして、遅延耐性ネットワークへの拡張が挙げられる。

文 献

- [1] 阪田 史郎, ユビキタス技術 センサネットワーク. オーム社, Aug. 2006.
- [2] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic routing for partially connected ad hoc networks," tech. rep., Technical Report CS-200006, Duke University, 2000.
- [3] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed diffusion for wireless sensor networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, no. 1, pp. 2–16, 2003.
- [4] G. Tolle and D. Culler, "Design of an application-cooperative management system for wireless sensor networks," in *Proceedings of the Second European Workshop on Wireless Sensor Networks*, pp. 121–132, Feb. 2005.
- [5] J. W. Hui and D. Culler, "The dynamic behavior of a data dissemination protocol for network programming at scale," in *Proceedings of the 2nd ACM conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 81–94, Nov. 2004.
- [6] Y. Agarwal, C. Schurgets, and R. Gupta, "Dynamic power management using on demand paging for networked embedded systems," in *Proceedings of the 19th Asia and South Pacific Design Automation Conference 2005*, pp. 755–759, Jan. 2005.
- [7] Y. K. Dalal and R. M. Metcalfe, "Reverse path forwarding of broadcast packets," *Communications of the ACM*, pp. 1040–1048, Dec. 1978.
- [8] S. Tilak, A. Murphy, and W. Heinzelman, "Non-uniform information dissemination for sensor networks," in *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Network Protocols*, pp. 295–304, Nov. 2003.
- [9] S.-J. Park, R. Vedantham, R. Sivakumar, and I. F. Akyildiz, "A scalable approach for reliable downstream data delivery in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, pp. 78–89, May 2004.
- [10] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "TTDD: two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 11, pp. 161–175, Jan. 2005.
- [11] E. B. Hamida and G. Chelius, "A line-based data dissemination protocol for wireless sensor networks with mobile sink," in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 2008)*, pp. 2201–2205, May 2008.
- [12] A. Jajszczyk, *A Guide to the Wireless Engineering Body of Knowledge*. Wiley-IEEE Press, 2nd ed., Oct. 2012.
- [13] IEEE 802.11 Working Group, "IEEE standard for information technology - telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirements - part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications," *IEEE Std 802.11-2007 (Revision of IEEE Std 802.11-1999)*, pp. 1–1076, 2007.
- [14] "MICAz." available at http://www.openautomation.net/uploads/productos/micaz_datasheet.pdf.