

# センサネットワークにおける高優先度パケット群配送時の 低優先度パケット群配送遅延短縮手法

高橋 恵<sup>1,a)</sup> 松垣 博章<sup>1,b)</sup>

**概要：**センサデータメッセージを無線センサノード群による無線マルチホップ通信によってシンクノードまで配送する無線センサネットワークにおいて、異なる優先度を持つセンサデータメッセージを配送する手法について議論する。高優先度のセンサデータメッセージの低遅延配送を実現するために、各無線センサノード内、隣接無線センサノード間および無線マルチホップ配送経路上においてこれらを優先的に転送する手法が提案されている。しかし、これによって低優先度センサデータメッセージの配送が一時停止するために、その配送遅延が延長する問題がある。本論文では、高優先度のセンサデータメッセージ群の配送を無線マルチホップ配送経路上およびそれに隣接する無線センサノードを占有する配送手法において、低優先度センサデータメッセージの配送遅延延長を抑制するために、動的に定まる迂回経路を用いてよりシンクノードに近い中継無線センサノードにセンサデータメッセージを転送し、バッファリングする手法を提案する。

**キーワード：**無線センサネットワーク, 優先度, 配送遅延, バッファリング, プロトコル

## Reduction of End-to-End Transmission Delay of Low Priority Packets during High Priority Packet Transmissions in WSNs

MEGUMI TAKAHASHI<sup>1,a)</sup> HIROAKI HIGAKI<sup>1,b)</sup>

**Abstract:** Wireless sensor networks are for sensor data transmission from a wireless sensor node to a sink node with help of intermediate wireless sensor nodes which forwards sensor data messages along a wireless multihop transmission route. For achieving shorter transmission delay in transmission of high priority sensor data messages, various priority-based transmission methods for 1-hop and multihop wireless transmissions have been proposed. However, since most of the methods do not consider longer transmission delay of low-priority sensor data message transmissions. This paper proposes a novel method for reduction of transmission delay of low priority sensor data messages by buffering them into wireless sensor nodes nearer to the sink node even though they are out of their original wireless multihop transmission route under a condition that they never interfere the transmissions of high priority sensor data message transmissions.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Priority, Transmission Delay, Buffering, Protocol

### 1. はじめに

無線センサネットワークでは、無線通信機能を備えたセ

ンサノードがセンサによって取得した観測データを含むセンサデータメッセージをシンクノードへと集約する。一般に、センサノードには継続的な外部電力供給源が付属せず、電池等の限られた電力供給源のみによってより長期間駆動することが求められる。特に、通信モジュールの電力消費が大きいため、これを間欠的に動作させる手法としてS-MAC [8], B-MAC [5], X-MAC [1]などが提案されている。また、無線信号の送受信電力を低減してもセンサノ

<sup>1</sup> 東京電機大学大学院未来科学研究科ロボット・メカトロニクス学専攻

Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

a) megumi@higlab.net

b) hig@higlab.net

ドからシンクノードへのセンサデータメッセージ配送を可能とするために、センサノードが中継ノードとして機能する無線マルチホップ通信が導入されている。

無線通信は無線信号のブロードキャスト送信を基礎としていることから、隣接無線ノード間の通信のための無線信号は、送信無線ノードのすべての隣接無線ノードへ到達する。このため、晒し端末問題、隠れ端末問題により無線信号間の衝突が発生し、データメッセージの到達性低下や配送遅延の延長を招く。そこで、競合を基礎とする無線通信プロトコルでは CSMA/CA や RTC/CTS によって衝突を削減し、ホップ毎の再送信機構によって配送遅延の延長と到達性の低下を低減している。

無線センサネットワークによって各無線センサノードからシンクノードへ無線マルチホップ配送されるセンサデータメッセージには、恒常的、定期的、周期的に発生するものと突発的、一時的に発生するものがある。前者は、定期的、周期的に観測したデータを配送するものであり、個々の観測によって得られるデータ量が少なく、配送遅延に対する厳しい要求はなされないのが一般的である。多くの場合、このようなデータはシンクノードに集約された後にデータベースに蓄積されて利用されるものであり、無線センサネットワークはこれらのセンサデータメッセージを無線マルチホップ配送するために求められる十分な性能を備えたものが設計、構築される。一方、後者は、イベント発生時にこれを検知したセンサノードが観測データを配送するものであり、短時間に多数のセンサデータメッセージを配送することが求められる。また、一般的にこれらのデータはシンクノードに集約され、直ちに利用されるものであることから、配送遅延に対する要求が厳しいのが一般的である。そこで、このようなイベント観測データを含むセンサデータメッセージを各中継無線センサノードで高優先度の転送を行なうことが考えられる。このとき、無線マルチホップ配送では、高優先度センサデータメッセージを衝突を回避して転送することを可能にするためには、無線マルチホップ配送経路上およびその隣接無線センサノードの通信を制約しなければならない。これによって、低優先度のセンサデータメッセージの配送遅延が大きく延長することが考えられる。本論文では、この低優先度センサデータメッセージの配送遅延延長を抑制する手法を提案する。

## 2. 従来手法

無線ネットワークにおいて、データメッセージの優先度に応じて異なる配送方法を用いることで、高優先度データメッセージの配送遅延の短縮、スループットの拡大、信頼性の向上を実現する手法が提案されている。IEEE802.11e [6, 7] では、EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) によって、隣接無線ノード間での優先度に基づくデータメッセージ送信を AIFS (Arbitration Inter Frame Space) の導

入、コンテンツウィンドウサイズの取り得る範囲の設定によって実現する。また、HCCA (Hybrid Coordination Function Controlled Channel Access) では、TXOP (Transmission Opportunity) 期間を定めることによって、一定時間、特定の無線ノードが独占的にデータメッセージを送信することを可能としている [4]。

これらは、1 ホップ無線通信における優先度に応じたデータメッセージ配送手法であるのに対して、MACA/PR プロトコルは無線マルチホップ配送を対象とした優先度導入手法である [3]。ここでは、配送されるデータメッセージ群の先頭データメッセージを送信元無線ノードから送信先無線ノードまで無線マルチホップ配送される間に 2 ホップ隣接無線ノード群に対して、予約ウィンドウを確保して無線メディアを占有することで高優先度データメッセージ配送を実現する。低優先度データメッセージは、未予約ウィンドウのみを用いて配送される。また、論文 [9] では、TXOP を無線マルチホップ配送経路上の各中継無線ノードに導入する手法が提案されている。

このように、高優先度のデータメッセージ群の配送に対しては、低優先度データメッセージ配送との間の競合、衝突を回避するために、無線通信メディアの占有を許すことによって、遅延の短縮や信頼性の向上が実現される。しかし、高優先度データメッセージ配送時の低優先度データメッセージ配送への影響は考慮されていない。そのため、低優先度データメッセージ配送が一時停止し、配送遅延が拡大する問題がある。

無線センサネットワークでは、周期的に得られる観測データを含むセンサデータメッセージ群とバースト的に生成されるイベント観測データを含むセンサデータメッセージとが混在する。後者の配送には緊急を要するとともに観測データ生成時間が限定されていることから、高優先度センサデータメッセージとして扱われるのが一般的であり、上記のような優先度に基づく無線マルチホップ配送プロトコルの適用が妥当である。一方、前者の配送には緊急を要するものではないが、配送遅延の無制限な延長は好ましくない。個別の無線センサノードで周期的に生成される観測データはわずかである場合でも、多数の無線センサノードが継続的に観測データを生成し、低優先度センサデータメッセージとして送信し続けることから、無線センサネットワーク内を配送され続けることによる性能低下は問題であり、高優先度センサデータメッセージの配送が要求される場合でもより低遅延、高信頼な配送が求められる。

## 3. 提案手法

本章では、前章で述べた高優先度センサデータメッセージ群を他のセンサデータメッセージ配送との衝突を回避してシンクノードまで無線マルチホップ配送する場合における低優先度センサデータメッセージ配送遅延の拡大の問題

を検討し、その解決手法を示す。

送信元無線センサノード  $N^s$  から送信先シンクノード  $N^d$  までバースト的に生成された高優先度センサデータメッセージ群を無線マルチホップ配送経路  $R := \{N_0 (= N^s) \dots N_n (= N^d)\}$  に沿って配送する場合を考える (図 1)。ここで、 $R$  の 1 ホップ隣接無線センサノード、すなわち、 $R$  に含まれる中継無線センサノード  $N_i$  のいずれかに隣接する無線センサノードは、高優先度センサデータメッセージ群の配送時には、一切のセンサデータメッセージ、制御メッセージの送信を中断しなければならない。このため、これらの無線センサノードの通信バッファに蓄積された配送途中の低優先度センサデータメッセージは、 $R$  に沿った高優先度センサデータメッセージの配送が終了するまで転送することができない (図 2)。ここで、多くの無線 LAN プロトコルでは、ホップ毎の受信確認が *ack* 制御メッセージの受信無線センサノードから送信無線センサノードへの返信によってなされ、これとタイマのタイムアウトとの組合せによってセンサデータメッセージの再送信が実現されている (図 3)。また、定められた回数の再送信を行っても送信無線センサノードが *ack* 制御メッセージを受信できない場合には、センサデータメッセージは送信無線センサノードによって破棄される。そのため、 $R$  の 1 ホップ隣接無線センサノードを次ホップとする  $R$  の 2 ホップ隣接無線センサノードでは、*ack* 制御メッセージを受信することができない (図 4)。この結果、低優先度センサデータメッセージを転送することができず、このメッセージは破棄されることとなる (図 5)。送信元無線センサノードからの再送信には、送信元無線センサノードと送信先シンクノードとの間のエンドエンドの受信確認と送信元無線センサノードにおける再送信に備えたセンサデータメッセージのバッファリングが必要となる。しかし、通信バッファのためのメモリ資源を十分に備えることが困難な無線センサノードでは、エンドエンドの再送信を行なうことは現実的ではない [2]。

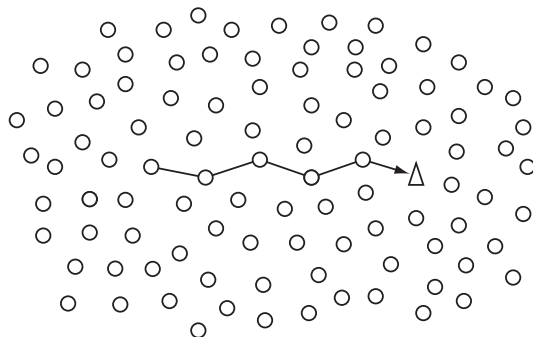


図 1 高優先度センサデータ配送経路  $R$

そこで、 $R$  に沿った高優先度センサデータメッセージ群の無線マルチホップ配送開始時に、 $R$  の 1 ホップ隣接無線センサノードには配送終了まで一切のメッセージ送信の

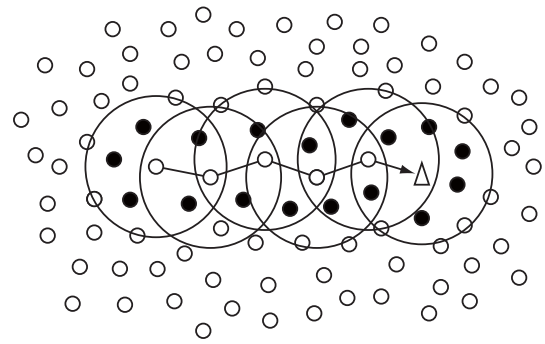


図 2 送信を中断する  $R$  の 1 ホップ隣接センサノード

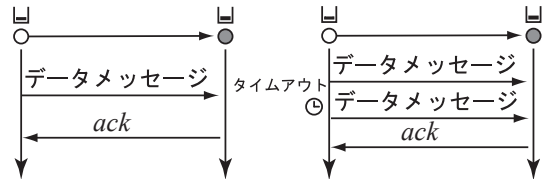


図 3 *ack* 返送とタイマによるデータメッセージ転送

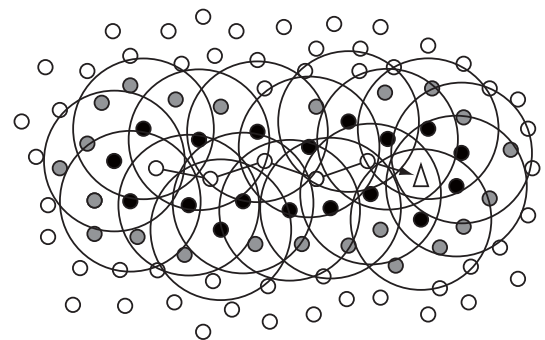


図 4 *ack* 受信できない  $R$  の 2 ホップ隣接センサノード

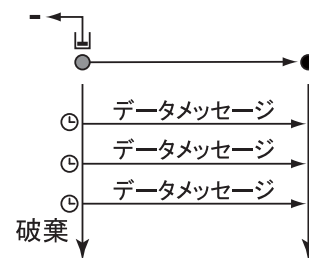


図 5 *ack* 返送不可によるセンサデータメッセージ破棄

中断を通知する制御メッセージを送信し、 $R$  の 1 ホップ隣接無線センサノードを次ホップとする  $R$  の 2 ホップ隣接無線センサノードに対しても低優先度センサデータメッセージの次ホップへの転送を中断する旨を通知する制御メッセージを送信することによって、低優先度センサデータメッセージの破棄を回避することができる。しかし、 $R$  に沿った高優先度センサデータメッセージ群の配送時間が  $R$  の 2 ホップ隣接無線センサノードをシンクノードへの無線マルチホップ配送経路に含む低優先度センサデータメッセージの配送頻度に対して相対的に長い場合には、この 2 ホップ隣接無線センサノードに多数の低優先度センサデータメッセージがバッファリングされる。ところが、無線セ

ンサノードは電力供給源のみならず、処理性能、記憶領域等の資源についても必ずしも十分に与えられている訳ではない。したがって、この2ホップ隣接無線センサノードでは配送途中の低優先度センサデータメッセージによって通信バッファがオーバーフローすることが考えられる(図6)。

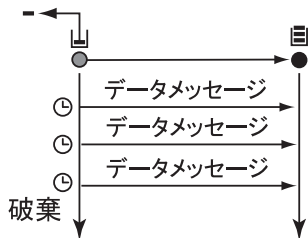


図6 次ホップのバッファオーバーフローによるセンサデータメッセージ破棄

これに対する解決策として、通信バッファが配送途中の低優先度センサデータメッセージによって満たされた中継無線センサノードが転送センサデータメッセージ受信時に明示的に *nack* 制御メッセージを返信する手法が考えられる(図8)。転送元中継無線センサノードでは、転送センサデータメッセージを通信バッファに格納し、*ack* 制御メッセージを受信した場合には破棄し、*ack* 制御メッセージを受信した場合には保持する。これによって、中継無線センサノードにおける通信バッファオーバーフローを回避できるものの、図7に示すように低優先度センサデータメッセージの無線マルチホップ配送経路に沿って通信バッファが満たされた中継無線センサノード列が形成される。

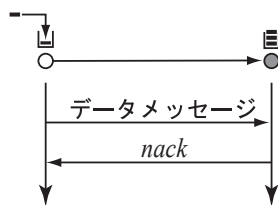


図7 *nack* 返送によるセンサデータメッセージ破棄の回避

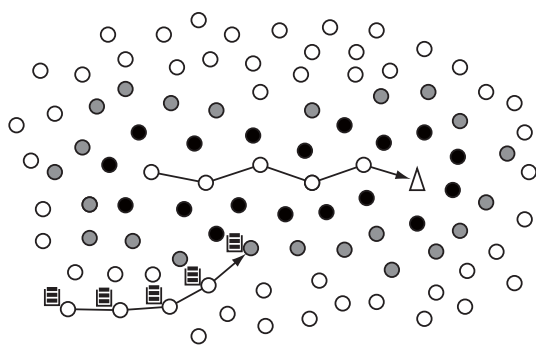


図8 バッファが満たされた中継無線センサノード列

このような中継無線センサノード列が形成された後に高優先度のセンサデータメッセージ群の配送が終了し、低優先

先度センサデータメッセージの配送が可能になる場合でも、これらの中継無線センサノードの通信バッファに格納されたセンサデータメッセージがシンクノードに到達するまでには長時間を要する、すなわち、低優先度センサデータメッセージの配送遅延が大きく延長することが考えられる。これは、以下の2つの原因によるものである。

- ある中継無線センサノードの通信バッファに蓄積されたセンサデータメッセージは、次ホップ中継無線センサノードの通信バッファに空きができるまで転送することができない。
- 中継無線センサノードは、前ホップ中継無線センサノード、次ホップ中継無線センサノードと互いに隠れ端末の関係にあり、前々ホップ中継無線センサノード、次々ホップ中継無線センサノードと互いに隠れ端末の関係にあることから、これらの無線センサノードと同時にセンサデータメッセージを転送することができない。通信バッファが満たされた無線センサノードはいずれもセンサデータメッセージの次ホップへの転送を試みることから、通信バッファが満たされた無線センサノード列が形成されると各中継無線センサノードの送信機会が大幅に減少する。

この低優先度センサデータメッセージの配送遅延拡大の問題を解決するためには、高優先度センサデータメッセージ群の配送時間に、低優先度センサデータメッセージの送信先シンクノードまでの元来の無線マルチホップ配送経路から逸脱してでも、より送信先シンクノードに近い中継無線センサノードまで配送しておき、そこで通信バッファに格納する方法を本論文では提案する。ルーティングプロトコルによって、あらかじめ各中継無線センサノードがすべての隣接無線センサノードから送信先シンクノードまでのホップ数取得しておくことによって、外来の次ホップ隣接無線センサノード以外であっても送信先シンクノードまでのホップ数が自身よりも少ないならば、次ホップ無線センサノード候補としておく。元来の次ホップ無線センサノードから *nack* 制御メッセージを受信することでその通信バッファが中継センサデータメッセージで満たされていることを検知した場合には、他の次ホップ無線センサノードへの転送を試みる(図9)。これによって、通信バッファが満たされた無線センサノードがひとつの配送経路上に列を形成することが回避される(図10)。中継無線センサノードの通信バッファに格納された各低優先度センサデータメッセージは、高優先度センサデータメッセージの配送終了後、送信元無線センサノードとは無関係にバッファリングされた中継無線センサノードからの無線マルチホップ配送経路に沿ってより短時間で送信先シンクノードへと配送される。すなわち、低優先度センサデータメッセージの配送遅延延長を抑制する効果が期待できる。なお、この元来の無線マルチホップ配送経路を逸脱した低優先度センサ

データメッセージ配送は、無線センサネットワークの各所で行なわれることから、図 11 に示すように送信先シンクノードにより近い中継無線センサノードに偏った分布でバッファリングされることとなる。

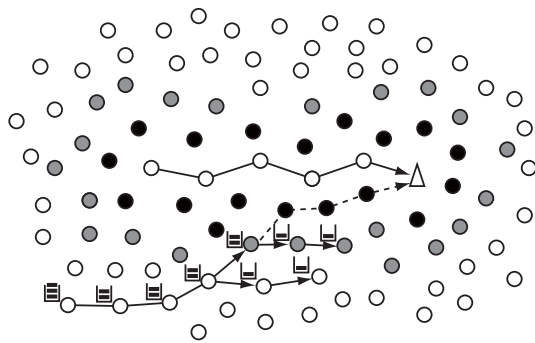


図 9 配送経路を逸脱したセンサデータ転送 (1)

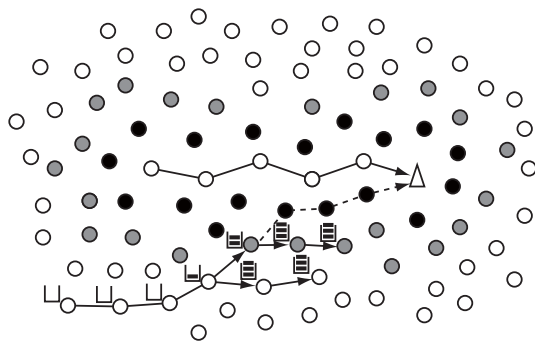


図 10 配送経路を逸脱したセンサデータ転送 (2)

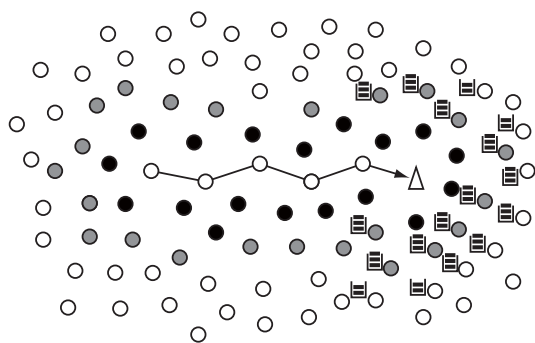


図 11 シンクノード周辺へのセンサデータバッファリング

ルーティングプロトコルを以下に示す。ここでは、シンクノードから制御メッセージを定期的にフラッディングする。各無線センサノードでは、隣接無線センサノードから受信した制御メッセージに含まれるシンクノードからのホップ数を用いて、自身よりシンクノードに近いすべての無線センサノードを次ホップ無線センサノードの候補とする。これによって、高優先度センサデータメッセージ群配送時における低優先度センサデータメッセージの迂回経路を構成する。なお、シンクノード  $N_0$  と無線センサノード

$N_i$  は、シーケンス番号  $seq_i$  とホップ数  $hop_i$  を保持する。

[ルーティングプロトコル]

- 1) シンクノード  $N_0$  は定期的にルーティング制御メッセージ  $Route(seq_0, hop_0)$  をブロードキャスト送信する。このとき、 $seq_0 := seq_0 + 1$  とする。
- 2)  $N_j$  から  $Route(seq_j, hop_j)$  を受信した無線センサノード  $N_i$  は、以下の処理を行なう。
  - 2-1)  $seq_j > seq_i$  であるならば、 $N_j$  を次ホップノードとし、 $seq_i := seq_j, hop_i := hop_j + 1$  とする。 $Route(seq_i, hop_i)$  をブロードキャスト送信する。
  - 2-2)  $seq_j = seq_i$  であり  $hop_j < hop_i$  であるならば、 $N_j$  を迂回経路の次ホップノードとする。
  - 2-3)  $seq_j = seq_i$  であり  $hop_j \geq hop_i$  であるならば、何もしない。
  - 2-4)  $seq_j < seq_i$  であるならば、何もしない。□

高優先度センサデータメッセージ配送時には、配送経路の 1 ホップ隣接無線センサノードによるすべてのメッセージの送受信と配送経路の 2 ホップ隣接無線センサノードによる 1 ホップ隣接無線センサノードへのデータメッセージ転送とを一時停止することが必要である。そこで、高優先度センサデータメッセージ群の配送に先立って、優先配送要求メッセージ  $HPReq(NAV)$  を高優先度センサデータ配送経路  $R := \{N_0 \dots N_n\}$  に沿って配送する。これを  $R$  の 1 ホップ隣接無線センサノードが傍受することによって、上記の一時停止を実現する。

[高優先度データメッセージ配送プロトコル]

- 1) 送信元無線センサノード  $N_0$  は、 $HPReq(NAV)$  を次ホップ中継無線センサノード  $N_1$  へユニキャスト送信する。以降、高優先度センサデータメッセージを順次  $N_1$  へ送信する。
- 2) 前ホップ無線センサノード  $N_{i-1}$  からユニキャスト送信された  $HPReq(NAV)$  を受信した中継無線センサノード  $N_i$  は、このメッセージを次ホップ無線ノード  $N_{i+1}$  へユニキャスト送信する。以降、 $N_{i-1}$  から受信した高優先度センサデータメッセージを順次次ホップ無線ノード  $N_{i+1}$  へ送信する。
- 3) 前ホップ無線センサノード  $N_{n-1}$  からユニキャスト送信された  $HPReq(NAV)$  を受信したシンクノード  $N_n$  は、このメッセージを自身を宛先としてユニキャスト送信する。なお、 $N_n$  は、このメッセージを受信してもこれを処理せずに破棄する。以降、 $N_{n-1}$  から順次高優先度センサデータメッセージを受信する。
- 4) 隣接無線ノードがブロードキャスト送信した  $HPReq(NAV)$  を傍受した無線ノード  $N$  は、

$HPReq'(NAV)$  メッセージをブロードキャスト送信する。以降の  $NAV$  時間、送受信を一時停止する。

- 5) 隣接無線ノード  $N$  がブロードキャスト送信した  $HPReq'(NAV)$  を傍受した無線ノード  $N'$  は、以降の  $NAV$  時間、 $N$  へのセンサデータメッセージ転送を一時停止する。□

低優先度センサデータメッセージを生成、受信あるいは保持している無線センサノードは、高優先度センサデータメッセージ配送が行なわれていない場合には、次ホップ無線ノードへとこのメッセージを転送する。高優先度センサデータメッセージの配送経路上の無線ノード、メッセージの送受信を一時停止している無線センサノードでは、低優先度センサデータメッセージを送信せず、また、受信しても  $ack$  制御メッセージを返送できないことから、処理せずに直ちに破棄する。

#### [低優先度データメッセージ配送プロトコル]

- 1) 通信バッファに低優先度センサデータメッセージを保持する無線センサノード  $N_i$  は、高優先度センサデータメッセージの配送経路上の中継無線センサノードである、もしくは、メッセージの送受信を一時停止している無線センサノードであるならば、 $NAV$  時間が経過するまで、低優先度センサデータメッセージを通信バッファに保持したままとする。
- 2) 低優先度センサデータメッセージを送信可能な無線センサノード  $N_i$  は、次ホップ無線センサノードを以下の方法で決定し、センサデータメッセージを転送する。
  - 2-1) 自身が次ホップ無線ノードがブロードキャスト送信した  $HPReq'$  制御メッセージの受信によって  $NAV$  間を設定しているのであれば、センサデータメッセージを迂回経路の次ホップ無線センサノードのいずれかに転送する。
  - 2-2)  $NAV$  時間を設定していないのであれば、センサデータメッセージを次ホップ無線ノードに転送する。
- 3) 隣接無線センサノード  $N_i$  から低優先度センサデータメッセージを受信した無線ノード  $N_{i+1}$  は、受信したセンサデータメッセージを通信バッファに保持し、 $ack$  制御メッセージを  $N_i$  へ返送する。通信バッファオーバーフローにより、受信したセンサデータメッセージを通信バッファに保持することができない場合には、 $nack$  制御メッセージを  $N_i$  へ返送する。
- 4)  $N_{i+1}$  から  $ack$  制御メッセージを受信した  $N_i$  は、送信した低優先度センサデータメッセージを通信バッファから除去する。一方、 $N_{i+1}$  から  $nack$  制御メッセージを受信した  $N_i$  は、迂回経路の次ホップ無線センサノードへのデータメッセージ転送を手順 2) に従っ

て行なう。既にすべての迂回経路の次ホップ無線センサノードへのデータメッセージ転送を試みた場合は、このデータメッセージを通信バッファに保持する。タイムアウトにより  $ack$  制御メッセージと  $nack$  制御メッセージのいずれをも  $N_{i+1}$  から受信できない場合には、 $N_i$  は手順 2) に従って再送信を行なう。再送信回数があらかじめ定められた回数を繰返してもセンサデータメッセージを転送できない場合には、迂回経路の次ホップ無線センサノードへのデータメッセージ転送を手順 2) に従って行なう。□

## 4. 性能評価

前章で提案した優先度付きセンサデータメッセージ配送手法の性能をシミュレーション実験により評価する。ここでは、 $2,000\text{m} \times 2,000\text{m}$  の正方形領域に無線通信距離が  $100\text{m}$  で 2 つのセンサデータメッセージを保持可能な通信バッファを備えた無線センサノード 3000 台を一様分布乱数によりランダムに配置する。シンクノードを実験領域の中央(原点)に配置し、ランダムに選択した 3 台の無線センサノードが 5 秒間隔で低優先度センサデータメッセージを送信する。また、 $(900\text{m}, 900\text{m})$  に配置した無線センサノードが時刻 100 秒から 160 秒までの 60 秒間、高優先度センサデータメッセージを配送するものとする。 $nack$  制御メッセージの返送によるバッファオーバーフローの防止のみを行ない配送経路を変更しない手法を従来手法として比較する実験結果を図 12 に示す。ここでは、各センサデータメッセージの送信時刻と受信時刻との関係として実験結果をまとめている。

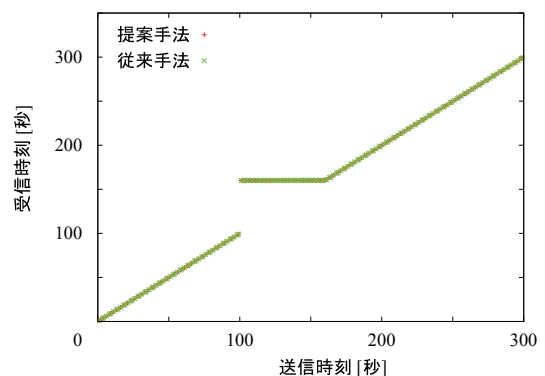


図 12 低優先度センサデータメッセージ配送

高優先度センサデータメッセージが配送されていない状況では、各送信元無線センサノードからの配送経路長が異なるものの、一定範囲に収まる配送遅延で安定してシンクノードまで配送されている。高優先度センサデータメッセージ群が配送されている期間に配送途中であった低優先度センサデータメッセージについては、従来手法と提案手法では配送遅延の傾向が異なっている。提案手法では、高優先度センサデータメッセージ配送開始時にその配送経路

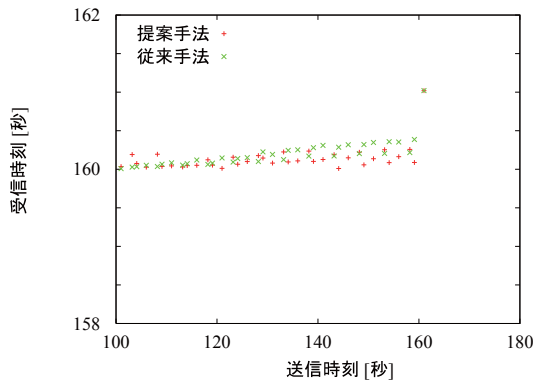


図 13 低優先度センサデータメッセージ配送 (詳細)

から 2 ホップ以上離れた無線センサノードの通信バッファに保持されていた低優先度センサデータメッセージと未送信であった低優先度センサデータメッセージは、高優先度センサデータメッセージ配送中にもよりシンクノードに近い無線センサノードへと転送されているため、従来手法と比較して配送遅延が 1.29%程度短縮している。一方、高優先度データメッセージ配送開始時に、高優先度データメッセージ配送経路上の中継無線センサノードもしくはそれらの 1 ホップ隣接無線センサノードの通信バッファに保持されていた低優先度データメッセージは、高優先度データメッセージ配送終了後、よりシンクノードに近い無線センサノードへと配送されていた後続低優先度センサデータメッセージの配送との競合により、配送遅延が 0.13%程度拡大している。配送遅延が高優先度センサデータメッセージの配送の影響を受けたと考えられる 100 秒から 160 秒の間に送信された低優先度センサデータメッセージについて比較すると平均 1.09%の配送遅延短縮が実現されている。

なお、高優先度センサデータメッセージの配送終了時点 (160 秒) から各低優先度センサデータメッセージの配送終了までの時間で比較すると平均 51.3%の短縮となっており、配送が一時停止されていた低優先度センサデータメッセージをより短時間でシンクノードへと配送することができていることが分かる。

## 5. まとめと今後の課題

本論文では、パースト的に発生するイベント観測データを含む高優先度センサデータメッセージ群を他の低優先度センサデータメッセージとの衝突を発生することなく、低遅延で送信先シンクノードまで配送するために、高優先度センサデータメッセージ群の無線マルチホップ配送経路に含まれる中継無線センサノードを独占的に使用する場合における、低優先度センサデータメッセージ配送遅延の延長を抑制する手法を提案した。ここでは、経路の 1 ホップ隣接無線センサノードを次ホップとする 2 ホップ隣接無線センサノードへ転送不可であることを通知する。また、通信バッファオーバーフローによるセンサデータメッセージの破

棄を回避するために、通信バッファが満たされた中継無線センサノードが転送元無線センサノードに *nack* 制御メッセージを返送する機構を導入した。さらに、通信バッファの満たされた中継無線センサノード列が形成されることによって高優先度センサデータメッセージ群の配送終了後の低優先度センサデータメッセージ配送遅延が延長する問題を解決する手法として、元来の無線マルチホップ配送経路を逸脱して、より送信先シンクノードに近い中継無線センサノードへと転送する手法を提案した。本手法を実現するプロトコルを設計し、シミュレーション実験によりその有効性を評価した。ここでは、データメッセージ配送量が比較的少ない状況想定において、配送遅延の短縮効果が認められた。今後は、多様な実験パラメータによる性能評価実験を行ない、提案手法の有効性を明らかにする。

## 参考文献

- [1] Buettner, M. Yee, G.V., Anderson, E. and Han, R., "X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks," Proceedings of the ACM SenSys, pp. 307-320 (2006).
- [2] Kaneko, Y. and Higaki, H., "Ad-Hoc Buffering in Neighbor Nodes for Burst Data Transmissions in Wireless Sensor Networks," Proceedings of the 3rd International Workshop on Future Information System Technologies and Applications, pp. 14-19 (2012).
- [3] Lin, C.R. and Gerla, M., "Real-Time Support in Multihop Wireless Networks," Wireless Networks, Vol. 5, pp. 125-135 (1999).
- [4] Mangold, S., Choi, S., Klein, O., Hiertz, G. and Stibor, L., "IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service," Proceedings of the European Wireless, Vol. 1, pp. 32-39 (2002).
- [5] Polastre, J., Hill, J. and Culler, D., "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," Proceedings of the ACM SenSys, pp. 95-107 (2004).
- [6] Tran, S.N.H. and Lee, W., "QoS Provisioning in IEEE 802.11 Wireless LANs," Proceedings of the 1st International Conference on Communications and Electronics, pp. 23-28 (2006).
- [7] Xiao, Y., "Enhanced DCF of IEEE 802.11e to Support QoS," Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol. 2, pp. 1291-1296 (2003).
- [8] Ye, W., Heidemann, J. and Estrin, D., "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," Proceedings of the IEEE INFOCOM, Vol. 3, pp. 1567-1576 (2002).
- [9] キュウ, 宮本, "マルチホップ無線 LAN システムにおける QoS 保証伝送プロトコルに関する検討," 信学技報, RCS2006-15, pp. 85-90 (2006).