

NeBuST-wide: バーストセンサデータの 高信頼低遅延配送プロトコル

兼子 佑樹^{†1} 桧垣 博章^{†1}

中継センサノード列による無線マルチホップ通信によってセンサデータをシンクノードへと配送するセンサネットワークでは、バースト的に発生するセンサデータを紛失することなく低遅延で配送することが求められる。しかし、シンクノードに近い中継センサノードでは、多数のセンサノードから配送されるセンサデータが集中するため、中継センサノードの通信バッファがオーバーフローする。また、シンクノードから遠い中継センサノードにおいても、前後2ホップの中継センサノードとの競合によって送信機会が減少し、通信バッファがオーバーフローする。ある中継センサノードでのバッファオーバーフローは、バッファオーバーフローした中継センサノード列形成の原因となり、センサデータの配送遅延を延長する。本論文では、無線マルチホップ配送経路の隣接センサノードの通信バッファにもセンサデータを格納することで配送遅延を短縮する NeBuST 手法を拡張し、より多くのセンサノードへとバーストセンサデータを拡散することでさらに配送遅延を短縮する NeBuST-wide 手法を提案する。

NeBuST-wide: Highly Reliable Shorter Delay Transmission Protocol for Burst Sensor Data

YUKI KANEKO^{†1} and HIROAKI HIGAKI^{†1}

In sensor networks, burst sensor messages are required to be transmitted along a wireless multihop route to a sink node with no lost sensor messages and with shorter transmission delay. However, due to congestions, buffers in intermediate sensor nodes around the sink node overflows. In addition, buffers in other intermediate sensor nodes are also overflows since an intermediate node S_i conflict with its 1-hop and 2-hop neighbor nodes in the route. This causes a sequence of sensor node with filled buffers and an approach NeBuST for reduction of buffered sensor data with help of 1-hop neighbor sensor nodes of the route has been proposed. This paper proposes an extension of NeBuST called NeBuST-wide in which burst sensor data are more distributed in wider area to be stored in sensor nodes nearer to the sink node. Results of simulation experiments show shorter transmission delay than the convention method.

1. はじめに

無線通信機能を備えた多数のセンサノードを観測対象領域に配置し、取得したセンサデータを無線マルチホップ配送によってシンクノードへと配送する無線センサネットワークの活用が期待されている [1]。ここで、センサデータは小さな通信遅延で送信元センサノードから送信先シンクノードまで配送することが求められる。これまでに継続的に一定量のセンサデータを配送することを想定したセンサデータの配送手法が提案されている。しかし、イベント駆動によるセンサデータの配送では、配送要求されるセンサデータ量は経時的に大きく変化する。このとき、センサノードには一般に少量のメモリ装置しか搭載されていないため、マルチホップ配送されるセンサデータが中継センサノードでバッファオーバーフローを発生することが考えられる。センサデータの紛失を回避するためには、次ホップセンサノードの通信バッファに空きがある場合にのみセンサデータを転送することが求められる。さらに、マルチホップ配送経路上のセンサノード群の通信バッファに格納されたセンサデータをできるだけ短時間にシンクノードへと配送する手法が必要である。本論文では、マルチホップ配送経路の隣接センサノードを活用し、よりシンクノードに近いセンサノードの通信バッファにセンサデータを格納することによって、センサデータ配送遅延を短縮する手法である NeBuST 手法を拡張し、より広域に配送センサデータを拡散することでさらに配送遅延を短縮する NeBuST-wide 手法を提案する。

2. 無線センサネットワーク

無線センサネットワークは、無線通信デバイスを備えたセンサノードとシンクノードから構成され、センサノードで取得されたセンサデータをシンクノードに配送することを目的として構築するネットワークである。各センサノードは搭載された電池による電力で駆動され、測定によるセンサデータの取得とその無線通信による配送を行なう。電池の電源容量が限られていることから、すべてのセンサノードがシンクノードに対して直接センサデータを配送することができない。そのため、センサノード群による無線マルチホップ配送を用いる。送信元センサノード $S^s (= S_0)$ から送信先シンクノード $S^d (= S_n)$ までの無線マルチホップ配送経路 $R = \{S_0 \dots S_n\}$ は、中継センサノード $S_i (0 < i < n)$ の列で構成される。各中継センサノード S_i が S_{i-1} から受信したセンサデータを S_{i+1} に転送する。そのため、隣接センサノード間の無線通信に必要な電力消費のみによってセンサデータをシンクノードに配送することができる。

ここで、送信元センサノードからシンクノードへのセンサデータの配送を以下の2種類に分類する。

- 送信元センサノードが定期的に取得したセンサデータをシンクノードへ配送する。

^{†1} 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

- イベントの発生を検知した送信元センサノードがセンサデータをシンクノードへ配送する。□

本論文では、イベント駆動型のセンサデータを対象として議論する。このようなセンサデータ配送を対象としたセンサネットワークでは、恒常的に高いトラフィックの通信をサポートすることは求められない。イベント駆動に対応してバースト的に生成される多数のセンサデータを短時間に紛失なくシンクノードへと配送することが求められる。なお、本論文では、シンクノードとその隣接ノードとの間にはすべてのセンサデータを配送するための帯域が存在することを前提とする。ここでは、一時的に送信元センサノードから多量のセンサデータ配送が要求された場合に通信バッファが満たされる現象を問題としており、そもそも配送要求を充足するのに十分な帯域が存在しない場合を問題にしているのではない。すなわち、本論文で対象とするイベント駆動型のセンサネットワークでは、イベントの発生時のみ多量のセンサデータが配送され、他の場合には少数のセンサデータ（および制御メッセージ）のみが配送されることによって、要求帯域（ビットレート）が大きく変動することとなり、配送経路上で通信バッファが満たされる原因となる。このような現象は、最終的にはセンサデータの配送遅延を延長させることになり、センサネットワークアプリケーションに対する障害となる。

3. 問題点

センサノードは、小型化と低価格化の要求から限られたバッテリー容量しか備えないことに加えて、搭載するメモリ容量も限られたものとなる。そのため、無線マルチホップ配送経路 $R = \{S_0 \dots S_n\}$ を用いたセンサデータ配送において、センサノード S_i の通信バッファがあらかじめ定められた閾値以上にセンサデータで満たされることがある。このような現象は、複数の送信元センサノードが同時並行にバースト的に生成された多数のセンサデータをシンクノードへ無線マルチホップ配送する場合に発生し易い。特に、図1に示すように、シンクノードに隣接するセンサノードや複数の無線マルチホップ配送経路が合流する中継無線センサノードにおいて、通信バッファが閾値以上にセンサデータで満たされる傾向がある。

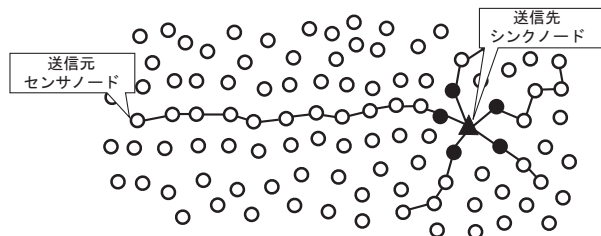


図1 バッファが満たされたシンクノードの隣接センサノード

また、無線マルチホップ通信においては中継センサノード S_i の無線信号到達範囲に前ホップセンサノード S_{i-1} と次ホップセンサノード S_{i+1} が必ず含まれる。このため、 S_{i-1} は S_i から S_{i+1} へのセンサデータ転送に対する晒し端末となる。同様に、 S_i は S_{i+1} から S_{i+2} へのセンサデータ転送に対する晒し端末となる。さらに、 S_i は S_{i-2} および S_{i+2} と互いに隠れ端末の関係にある。以上より、図2に示すように、 S_i は S_{i-2} 、 S_{i-1} 、 S_{i+1} 、 S_{i+2} の4つのセンサノードと競合関係にあり、送信機会の減少から S_i の通信バッファが閾値以上にセンサデータで満たされる。

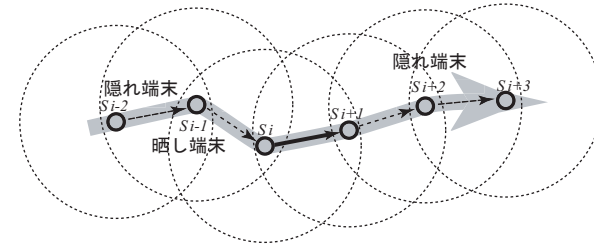


図2 無線マルチホップ配送経路における競合

さらに、センサノード S_i が次ホップセンサノード S_{i+1} にセンサデータを送信する場合、 S_{i+1} の通信バッファがあらかじめ定められた閾値以上にセンサデータで満たされている場合には、 S_i から転送されるセンサデータを受信することができない。多くの無線LANプロトコル [6, 7] では、 S_{i+1} からの受信確認メッセージが受信されないことから S_i はこのセンサデータの再送信を行なうが、一定回数の再送信を行なっても受信確認メッセージが受信されない場合には、センサデータを破棄する。TCP/IP ネットワークにおいてはエンドエンドの再送機能が働くが、無線センサネットワークでは、配送遅延の短縮が求められること、無線通信コストが大きいこと、送信元無線センサノードに十分な通信バッファが存在しないことからホップ毎の再送信のみを用いることが求められる。そこで、この破棄によるセンサデータの紛失を回避するためには、 S_i が S_{i+1} への転送に失敗したセンサデータを自身の通信バッファに一時的に蓄積し、待ち時間経過後に再送信することが求められる。しかし、この間に自身の通信バッファが同様に閾値以上に配送中センサデータで満たされ、前ホップセンサノード S_{i-1} から転送されるセンサデータを受信することができなくなることが考えられる。このように、無線マルチホップ配送経路上のあるセンサノード S_i の通信バッファが閾値以上にセンサデータで満たされると、センサノード列 S_{i-1} 、 S_{i-2} 、... においても順次通信バッファがセンサデータによって閾値以上に満たされる（図3）。これによって、各センサデータの配送遅延が拡大する。

このように無線マルチホップ配送経路を用いてバースト的に生成されるセンサデータをシンクノードへ配送する場合には、シンクノードの隣接センサノードのみではなく、中継セン

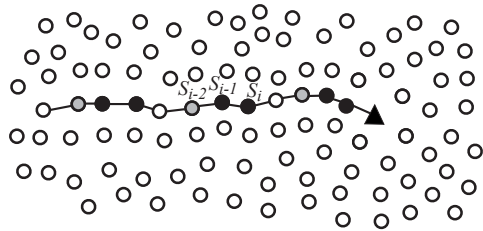


図3 バッファが満たされたセンサノード列

サノードを先頭としたセンサノード列において通信バッファが満たされることがある。この現象をシミュレーション実験によって確認する。ここでは、無線信号到達距離が100mの無線ノード20台を80m間隔で直線上に配置し、端点無線ノード(送信元センサノード)で毎秒60個のセンサデータを20秒間生成し、他の端点無線ノード(送信先シンクノード)まで無線マルチホップ配送する。そして、センサデータ生成開始時刻(0秒後)からすべてのセンサデータの配送を終えるまでの各中継無線ノードの通信バッファに格納されているセンサデータ数の分布の変化を計測する。計測結果を図4に示す。多数のセンサデータを通信バッファに格納した中継無線ノード列が無線マルチホップ配送経路上に出現し、その位置が経時的に変化していくことが分かる。このような中継無線ノード列の通信バッファに格納されたセンサデータをより短時間にシンクノードへと配送することが求められる。

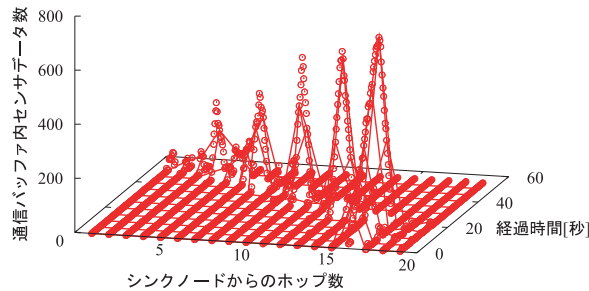


図4 バッファリングされたセンサデータ数

4. 関連研究

送信元センサノード $S^s (= S_0)$ から送信先シンクノード $S^d (= S_n)$ までの無線マルチホッ

プ配送経路 $R = \{S_0, \dots, S_n\}$ において、連続する k 台の中継センサノード $\{S_c, \dots, S_{c+k-1}\}$ の通信バッファがセンサデータで閾値以上に満たされている場合を考える。配送経路上にあるセンサノードのみを用いてセンサデータを配送する場合には、図5に示すように、次ホップセンサノードの通信バッファに空きができるまでセンサデータの転送を行なうことができない。

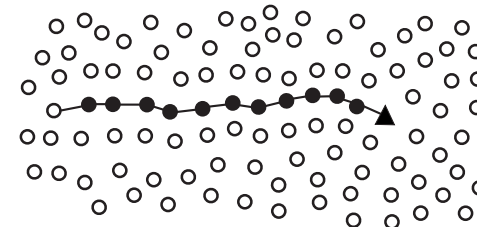


図5 従来手法による配送待ちセンサデータ

論文 [5] では、このように通信バッファに格納されて次ホップセンサノードの通信バッファに空きができるのを待つセンサデータをよりシンクノードに近いセンサノードの通信バッファに格納する NeBuST (Neighbor Buffering for Congested Sensor Data Transmission) 手法を提案している。センサデータをよりシンクノードに近いセンサノードの通信バッファに格納するために、図6に示すように、無線マルチホップ配送経路 R の各中継センサノード S_i に隣接する R に含まれないセンサノード S'_i を用いる。ここで S'_i は、 S_{i-1} と S_{i+1}

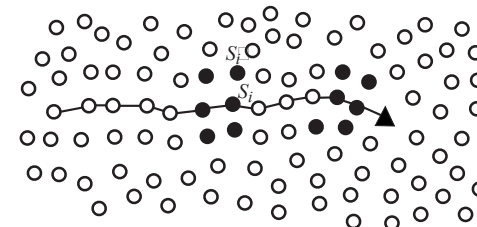


図6 NeBuST による配送待ちセンサデータ

の無線信号到達範囲に含まれるセンサノードである。 S_{i-1} が S_i へのセンサデータ転送を試みた時に S_i の通信バッファに空きがない場合、 S_i は S_{i-1} に対して nack メッセージを返信することで通信バッファに空きが無いことを明示的に通知し、これを受信した S_{i-1} は

S'_i へのセンサデータ転送を試みる。この転送が成功したならば、 S'_i は S_{i+1} を無線信号到達範囲に含むことから、 S_{i-1} の通信バッファにこのセンサデータを保持するよりも小さな遅延でシンクノードへマルチホップ配送することができる。なお、 S'_i の通信バッファにも空きがない場合には、 S_{i-1} の通信バッファにこのセンサデータを格納する。

本手法を実現するためには、 S^s から S^d までのマルチホップ配送経路 R に含まれる各中継センサノード S_i の隣接センサノードで S_{i-1} と S_{i+1} の無線信号到達範囲内にある S'_i を S_i のバックアップセンサノードとする*1。このためには、 S_{i-1} のルーティングテーブルに次ホップノードとして S'_i を登録するルーティングプロトコルと、 S_i の通信バッファに空きがない場合に S_{i-1} が S'_i を次ホップセンサノードとしてセンサデータを転送するメッセージ配送プロトコルが必要となる。NeBuST 手法では、AODV-BR [2] の拡張によってこれを実現している。ここでは、送信元センサノード S_0 からフラッディングされた経路探索要求メッセージ $Rreq$ に対して、検出された S_0 から S_n までの無線マルチホップ配送経路 $R = \{S_0 \dots S_n\}$ を逆方向にユニキャスト配送される経路探索応答メッセージ $Rrep$ を中継センサノード S_i の隣接センサノードが傍受 (overhearing) することによって、バックアップセンサノードの検出とこれを中継するセンサデータ配送のためのルーティングテーブルの設定を実現する。

5. 提案手法

5.1 センサデータ転送手法

バーストセンサデータをシンクノードへと無線マルチホップ配送するセンサネットワークにおいて、無線マルチホップ配送経路上の中継センサノードの通信バッファが満たされることによる配送遅延の短縮手法である NeBuST 手法では、1 ホップ隣接無線センサノードをオンデマンドにバックアップセンサノードとし、その通信バッファをも用いることによって、よりシンクノードに近いセンサノードの通信バッファにセンサデータを格納する。NeBuST 手法では、無線マルチホップ配送経路 $R = \{S_0 \dots S_n\}$ の中継センサノード S_i に対するバックアップセンサノード S'_i の通信バッファに格納されたセンサデータは、 S_i の次ホップセンサノード S_{i+1} へ転送される。これは、NeBuST 手法が主にシンクノード近辺において形成される通信バッファが満たされたセンサノード列を対象として設計されているためである。シンクノード近隣には、他のセンサノードからの無線マルチホップ配送経路が近接しているため、 S'_i の次ホップセンサノードとして他の無線マルチホップ配送経路に含まれない S_{i+1} 以外のものを定めることは困難である。論文 [5] で提案されている AODV-BR を拡張した経路探索プロトコルにおいても、 S_{i-1} のルーティングテーブルに S'_i を加えるとともに、 S'_i のルーティングテーブルには S_{i+1} のみを登録することとしている。

ところが、3章の実験結果が示すように、CSMA/CA を基礎とした無線 LAN プロトコルを用いてセンサデータを配送する無線センサネットワークでは、 R の任意の中継無線ノード

S_i においてセンサデータが通信バッファを満たし、これが S_{i-1} , S_{i-2} , ... の通信バッファを満たす原因となることで、バッファが満たされたセンサノード列が形成される (図 7)。シンクノード近隣に位置するのではない中継センサノード S_i においては、バックアップセンサノード S'_i が S_{i+1} ではなく、そのバックアップセンサノード S'_{i+1} が無線信号到達範囲に含まれるのであれば、 S'_i がセンサデータを S'_{i+1} へと転送することも可能である。さらに S'_i のバックアップセンサノード S''_i を定め、 S'_i の通信バッファが満たされた場合には、 S'_{i-1} が S''_i へと転送することによって、バーストセンサデータをよりシンクノードに近いセンサノードへと転送することができる。すなわち、図 8 のように、無線マルチホップ配送経路 R の中継無線センサノード S_i で通信バッファが満たされたならば、配送途中のバーストセンサデータ群は次第に R から離れたセンサノードへと拡散しながらよりシンクノードに近いセンサノードの通信バッファへと格納される。このように、通信バッファに格納されたセンサデータは、そのセンサノードの次ホップセンサノードのバッファが閾値以上に満たされていないのであれば R とは無関係にこのセンサノードに転送される。このようにして、より配送遅延が短縮されたバーストセンサデータ配送を実現することができる。

5.2 ルーティング手法

前節で述べた拡張された NeBuST 手法では、送信元センサノード S_0 から送信先シンクノード S_n までの単一の無線マルチホップ配送経路 $R = \{S_0 \dots S_n\}$ とその中継センサノード S_i の隣接センサノード S'_i 以外のセンサノードも中継センサノードとして用いる。このように中継センサノード数が多く、広域に分散配置されている場合も想定されることから、NeBuST 手法で用いたリアクティブ型ルーティング手法ではなく、各センサノードがシンクノードに対する次ホップ中継センサノードの情報を保持するプロアクティブ型ルーティング手法を採用するのが適切である。これを実現する簡易な手法として、シンクノードが制御メッセージを定期的にフラッディングする手法が考えられる。

ここでは、TORA [3] の手法を応用してシンクノードからのホップ数を各センサノードが保持する手法を用いる。すなわち、フラッディングされる制御メッセージに初期値 0 のひとつの整数値をピギーバックし、これをブロードキャスト送信するセンサノードは、それまでに受信した制御メッセージにピギーバックされた最小の整数値に 1 を加えたものをピギーバックした制御メッセージを送信する。すべての隣接センサノードがブロードキャスト送信した制御メッセージを受信した*2センサノードは、受信した制御メッセージにピギーバックされていた最小の整数値をシンクノードまでの最小ホップ数として保持し、この値と自身の ID をピギーバックした制御メッセージをブロードキャスト送信する。これによって、各センサノードは、自身の前ホップセンサノード (複数) と次ホップセンサノード (複数) を得ることができる。前ホップセンサノードのいずれかから受信したセンサデータを、バッファが満たされていない次ホップセンサノードへと転送することによって、センサデータをシンクノードへと配送することができる。

*1 各中継センサノードに対して複数のバックアップセンサノードを定めることも可能である。

*2 自身がこの制御メッセージをブロードキャスト送信する時にセットしたタイマがタイムアウトすることによって検出するのが一般的である。

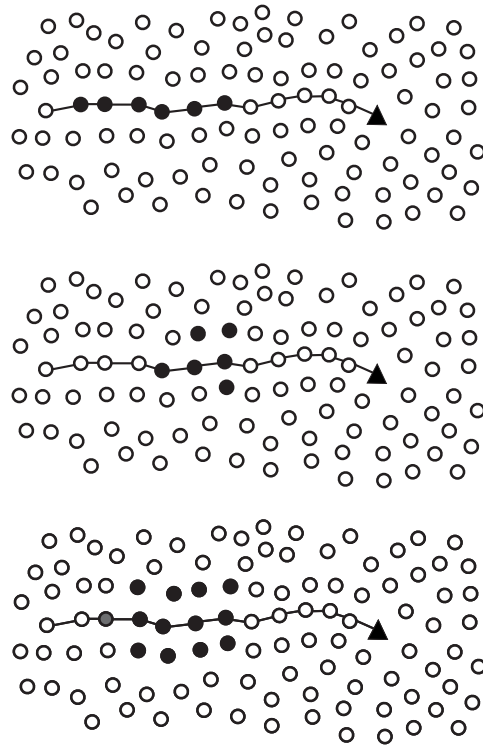


図 7 NeBuST 手法における配送待ちセンサデータ

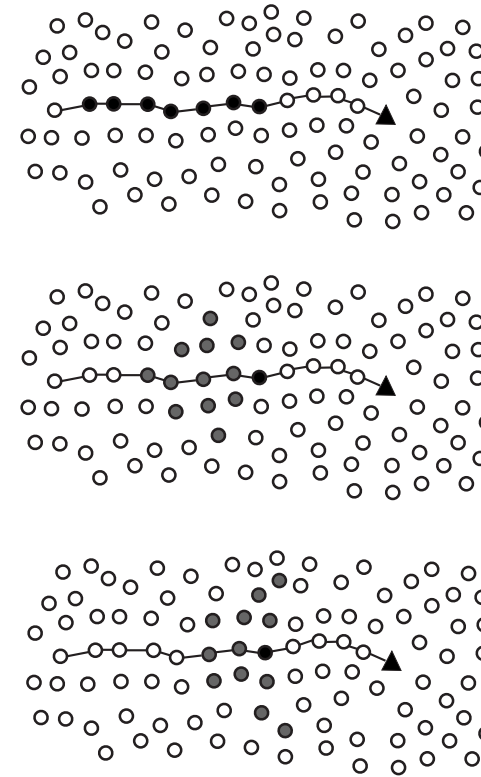


図 8 NeBuST-wide 手法による配送待ちセンサデータの拡散

ここで、次ホップセンサノードを等確率に選択する場合、図 9 に示すように、送信元センサノードと送信先シンクノードを結ぶ線分に近い中継センサノードへとセンサデータが転送される傾向が強くなるため、バッファが満たされたセンサノード列が延長する可能性がある。本論文では、図 8 に示すように配送途中のセンサデータがこの線分から離れていくように拡散することによって、よりシンクノードに近いセンサノードへとセンサデータが転送され、通信バッファが満たされたセンサデータが列状に配置されることによる配送遅延の延長を回避することを目標としている。このためには、各中継センサノードが前ホップセンサノードと次ホップセンサノードとの間の関係を推定することが必要である。図 10 に示すように、中継センサノード S_i の前ホップセンサノード S_{i-1} と次ホップセンサノード S_{i+1} について、 S_{i-1} の次ホップセンサノード (複数) と S_{i+1} の前ホップセンサノード (複数) との間に S_i 以外の共通のセンサノードを含むのであれば、これらのセンサノードは S_i とシ

ンクノードを結ぶ直線に対して同じ側に位置すると推定し、 S_i は S_{i-1} から受信したセンサデータの S_{i+1} への転送を控える。一方、図 11 に示すように、 S_i 以外の共通のセンサノードを含まないのであれば、これらのセンサノードは S_i とシンクノードを結ぶ直線に対して反対側に位置すると推定し、 S_i は S_{i-1} から受信したセンサデータを S_{i+1} へと転送する。

6. 性能評価

本章では、前章で提案した NeBuST-wide 手法の有効性をシミュレーション実験によって検証する。ここでは、無線マルチホップ配送されるバーストセンサデータ群に対して、中継センサノードにおいて一定時間転送を禁止することによってバッファオーバーフローを発生するセンサノード群を生成し、その後、禁止していた転送を許可する場合のセンサデータ群

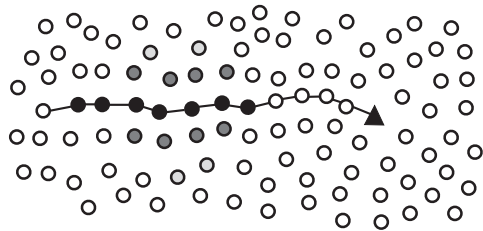


図 9 次ホップの均等選択による配送待ちセンサデータの集中

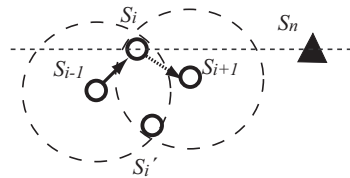


図 10 次ホップノード選択 (転送しない場合)

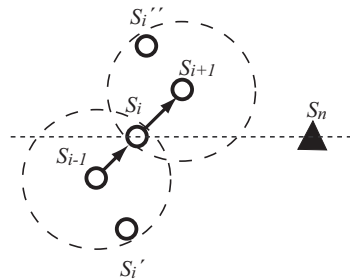


図 11 次ホップノード選択 (転送する場合)

の配送遅延を測定する。

シミュレーション環境は、無線信号到達距離 100m であり、5つのセンサデータを格納する通信バッファを備えたセンサノードを図 12 に示すような 60m 間隔の格子状に配置したものである。送信元センサノードからシンクノードまでは 30 ホップの直線状の無線マルチホップ配送経路で接続されているものとする。送信元センサノードでは、毎秒 30-50 個のセンサデータが 0.5-2.0 秒間バースト的に生成されるものとする。シミュレーション実験開始後 0.5-1.0 秒間、シンクノードから半径 300m 以内に位置するセンサノードでは、隣接セ

ンサノードからのセンサデータ転送に対して *nack* メッセージを返送する。このとき、バッファオーバーフローしている中継センサノードが転送センサデータの受信に対して *nack* メッセージを返送し、これを受信したセンサノードはセンサデータを通信バッファに保持する手法、無線マルチホップ配送経路の 1 ホップ隣接センサノードのみを中継センサノードに加える NeBuST 手法、本論文で提案したさらに無線マルチホップ配送経路から離れたセンサノードへもセンサデータを転送する NeBuST-wide 手法について、すべてのセンサデータをシンクノードまで配送するのに要する時間を測定した。

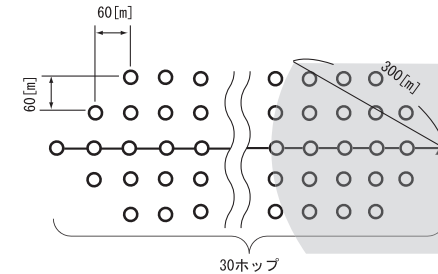


図 12 シミュレーション実験環境

測定結果を図 13 と図 14 に示す。これらはそれぞれシミュレーション開始後の *nack* メッセージ返送時間を 0.5 秒と 1.0 秒とした場合の結果を示しており、バッファオーバーフローを発生する中継センサノード数を変えている。すべてのバーストセンサデータ送信条件において、1 ホップ隣接センサノードへのバッファリング、さらに遠方へのセンサノードの転送を導入することによって、センサデータ群の配送に要する時間が短縮されている。*nack* メッセージの返送によってセンサデータの紛失に対処したのみ手法に比べて、NeBuST 手法ではそれぞれ 3.01%、4.67%の配送遅延短縮を実現しているが、NeBuST-wide 手法ではそれぞれ 8.35%、15.9%の配送遅延短縮となっており、大きな性能改善を実現している。これは、次ホップセンサノードにおけるバッファオーバーフロー検出時に転送センサデータをそのままバッファリングせず、転送可能なよりシンクノードに近い隣接センサノードを探索して転送することで、シンクノードにより近い中継センサノードにセンサデータをバッファリングする手法が有効であること、特にバーストセンサデータ数が多い場合により大きな効果が得られることを示している。

次に、各センサデータの配送遅延測定例を図 15 と図 16 に示す。図 15 は毎秒 50 個のセンサデータを 0.5 秒間生成し、*nack* メッセージ返送時間を 1 秒とした場合の 25 個のセンサデータそれぞれの配送遅延時間であり、図 17 は毎秒 50 個のセンサデータを 2.0 秒間生成し、*nack* メッセージ返送時間を 1 秒とした場合の 100 個のセンサデータそれぞれの配送遅延時間である。センサデータ列の先頭に近いセンサデータは、シミュレーション実験開始

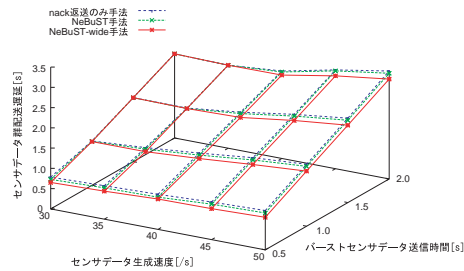


図 13 センサデータ群配送遅延 (nack 返送 0.5 秒)

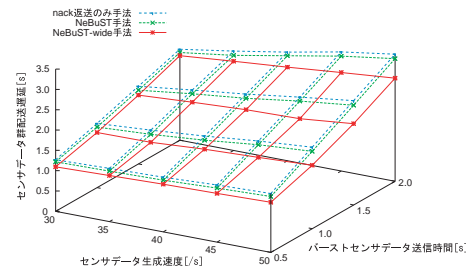


図 14 センサデータ群配送遅延 (nack 返送 1.0 秒)

後の *nack* メッセージ返送によって中継センサノードでバッファリングされるため、長い配送遅延となっている。*nack* メッセージ返送のみを導入した手法では、中継センサノードにおけるセンサデータの転送禁止を解除した以降においてもセンサデータのバッファリングが継続し、バッファオーバーフローした中継センサノード列が形成されるため、配送遅延が短縮しない。これに対して、NeBuST 手法では、1 ホップ隣接センサノードを用いてよりシンクノードに近い中継センサノードへバッファリングすることによりセンサデータ列末尾に近づくにつれて配送遅延が短縮している。この短縮は、NeBuST-wide 手法でより顕著となっており、これが全センサデータ配送遅延の短縮に寄与している。この傾向はより厳しいバーストセンサデータ生成時に強く表われている。図 16 では、*nack* メッセージのみの手法と NeBuST 手法では、センサデータ列末尾においてもバッファオーバーフローした中継センサノード列が形成され、ここでのバッファリングが配送遅延を延長させているのに対して、NeBuST-wide 手法では、依然としてセンサデータ列末尾に近づくにつれて配送遅延が短縮されている。

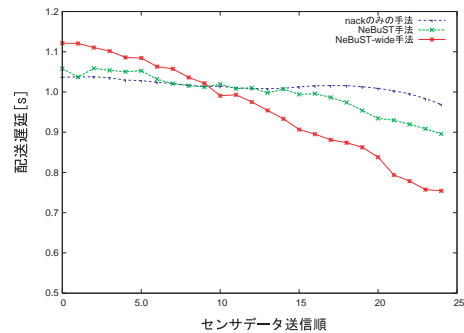


図 15 センサデータ配送遅延 (25 センサデータ)

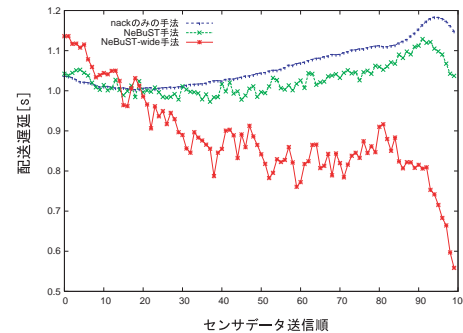


図 16 センサデータ配送遅延 (100 センサデータ)

ただし、NeBuST 手法と NeBuST-wide 手法では、各センサデータが異なる経路を用いて配送されることから、センサデータ群が送信順序とは異なる順序で受信され、各センサデータごとの配送遅延のばらつきが大きくなるのが分かる。そこで、各バーストセンサデータ送信条件について、センサデータ群の配送遅延の分散をまとめたものを図 17 と図 18 に示す。分散値は、バーストセンサデータ生成速度が小さく、バースト送信時間が長いほど大きくなる傾向がある。また、*nack* メッセージ返送のみを導入した手法と比べて、NeBuST 手法で平均 62.6%、NeBuST-wide 手法で平均 77.6% 拡大している。この拡大は、シンクノードにおいてセンサデータ列を復元する場合により大きなバッファ領域を必要とし、また、シンクノードにおけるセンサデータ列復元時間を延長することによってリアルタイムにセンサデータを利用するアプリケーションに悪影響を与えることが考えられる。ただし、センサデータを一時的にあるいは長期的に蓄積して利用するアプリケーションでは遅延の拡大の問題は小さく、センサノードに比べて十分な資源を備えたシンクノードではセンサデータ列復元に要するバッファ領域の拡大の影響も小さい。

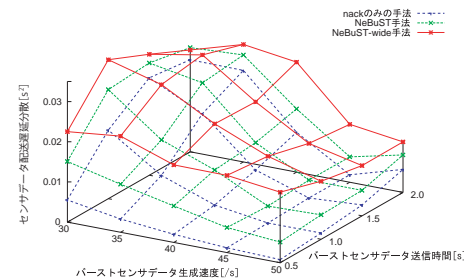


図 17 センサデータ配送遅延分散 (nack 返送 0.5 秒)

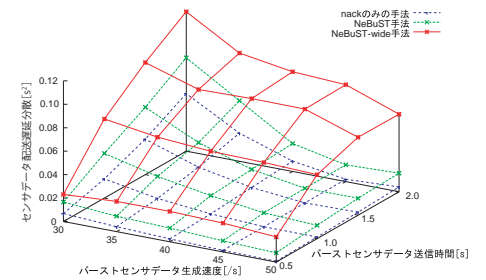


図 18 センサデータ配送遅延分散 (nack 返送 1.0 秒)

7. まとめと今後の課題

本論文では、イベント駆動型センサネットワークにおいて生成されるバーストセンサデータを無線マルチホップ配送によって低遅延でシンクノードへ配送する NeBuST 手法の拡張について提案した。従来手法では、マルチホップ配送経路の 1 ホップ隣接無線センサノードの通信バッファを用いることによって、よりシンクノードに近いセンサノードへのセンサデータの格納を実現したが、本論文では、より広い領域に分布するセンサノードを用いることによって、さらに配送遅延を短縮する。これを実現するルーティングプロトコルを設計し、センサデータを拡散するための次ホップ中継センサノード選択手法を考案した。さらに、この手法の有効性をシミュレーション実験結果として示した。本論文では、基礎実験として限られた範囲での拡散効果を測定した。今後は、センサネットワーク全体を対象とした

性能評価実験を行なう。

参 考 文 献

- 1) Culler, D.E. and Hong, W., “Wireless Sensor Networks,” Communications of the ACM, Vol.47, No.6, pp.30-33 (2004).
- 2) Lee, S.J. and Gerla, M., “AODV-BR: Backup Routing in Ad hoc Networks,” Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp.1311-1316 (2000).
- 3) Park, V. and Corson, M., “Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1 - Functional Specification,” Internet Draft, MANET Working Group, draft-ietf-manet-tora-spec-04.txt (2001).
- 4) Perkins, C.E. and Royer, E.M., “Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing,” RFC3561 (2003).
- 5) Sakamoto, D. and Higaki, H., “Wireless Multihop Transmission with Buffering in Neighbor Sensor Nodes for Shorter Delay,” Proceedings of the 10th IEEE International Wireless Communications and Networking Conference (2009).
- 6) “Local and Metropolitan Area Network Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,” Standard IEEE 802.11 (1997).
- 7) “Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LRWPANs),” Standard IEEE 802.15.4 (2003).