

## 無線センサネットワークにおける同期センサデータの取得手法

東京電機大学 理工学部

小野 真和 桧垣 博章 古田 勝久

E-mail: {masa,hig}@higlab.net, furuta@k.dendai.ac.jp

MICA などの小型コンピュータに各種センサデバイスを接続したセンサノードを利用し、これらを無線ネットワークで相互に接続した無線センサネットワークの実現への要求が高まっている。無線センサネットワークを利用するアプリケーションの中には、複数のセンサノードから同時期に取得した（同期のある）センサデータを必要とするものがある。それに対し、無線センサネットワークは、マルチホップ配送を利用するため、各センサノードを同期させてからセンサデータを取得することが困難である。本研究では、まず、同期センサデータについて定義し、クライアントからの同期センサデータ取得の問合せ（クエリ）に対して各センサノードが応答を返す際に、マルチホップ配送でセンサデータを中継するセンサノード上において、転送するセンサデータがクライアントの要求を満たしているか判断し、満たしていないセンサデータを破棄してクライアントに対して同期センサデータを提供する手法について検討する。

## Collection of Synchronized Sensing Data in Wireless Sensor Networks

Masakazu Ono, Hiroaki Higaki and Katsuhisa Furuta

Department of Computers and Systems Engineering

Tokyo Denki University

E-mail: {masa,hig}@higlab.net, furuta@k.dendai.ac.jp

There is rising demand that achieving wireless sensor networks which is constructed by sensor nodes that small-sized computers connect sensor devices. Some application require that synchronized datas sensed from sensor nodes in wireless sensor network. In contrast, it is difficult that sensor nodes synchronize each other in wireless network before getting sensor data from sensor devices in sensor nodes. In this paper, we definition synchronized sensing data and propose a novel collection technique that unsatisfied sensed data from client requirement is dropped on a forwarding sensor node.

## 1 背景と目的

近年,IEEE802.11 [1] などの無線通信技術や MICA などの小型コンピュータの高性能化, 小型化が進んでいる。これにともない, 小型コンピュータに温度, 湿度, 圧力, 加速度センサなどのセンサデバイスを接続したセンサノードを作成し, それらを無線ネットワークで相互に接続する無線センサネットワークに注目が集まっている。無線センサネットワークは, センサノードがバッテリーで動作し, 無線通信を行なう。そのため, 利用前に電力線や通信線などのインフラストラクチャを構築する必要としない利点がある。

無線センサネットワークは, 山岳地帯などの自然環境といったような広い範囲での利用や人体の血圧や脈拍を測定するといった狭い範囲での利用などさまざまな場面への適用が検討されている。また, 近年では, センサネットワーク内にロボットなどアクチュエータを取り入れ, それらがセンサノードから位置情報などのセンサデータを受信して自律的に行動することが実現できるようなシステムの研究が行なわれている。

センサネットワークのセンサデータを利用するためには, センサネットワーク内のセンサノードからセンサデータを取得するための手法が必要である。センサネットワークのネットワークを構築する方法として, 明示的にセンサノードを設置する方法のほか, 上空からセンサノードを散布し構築したりする方法や, 移動可能なセンサノードを自律的に移動させ構築する手法がある。

無線センサネットワークにおいて, ふたつのセンサノードが通信を行なうとき, 互いの無線信号が到達せず直接通信できない場合が考えられる。そのため, 無線センサネットワークではメッセージの送受関係にない, 互いに直接通信可能な他のセンサノードを経由して通信を行なうマルチホップ配送が利用される。

センサネットワークにおいて以下の3つの課題があげられる。

- 1) メッセージ配送量削減による電力消費量の削減
- 2) センサの配置に依存しないセンサデータの取得
- 3) 同期のあるセンサデータの集合の決定

1) はセンサネットワークの長期運用を実現するために解決が求められている。センサノードはバッテリーで動作し, 通信を行なう際にバッテリーの電力を消費する。さらに, マ

ルチホップ配送の利用により, センサノードが通信のために消費する電力量が多くなる。そのため, 無線センサネットワークでは通信を行なわなければならないセンサノードの数やメッセージ数を削減し, 各センサノードのバッテリー消費量を抑制することが求められている。

2) はアプリケーションプログラムをセンサノードの配置に依存しない記述を実現するために解決が求められている。また, センサネットワークが自律的にネットワーク構築する方法を採用した場合, センサノードのノード ID などのノード固有の情報とノードの物理的な位置情報を管理することは困難である。そのため, クライアントがセンサネットワーク内のセンサノードに接続しセンサデータを取得することを考えた場合, センサノードの物理的な位置があらかじめ分からないためクライアントが接続すべきセンサノードが判断できない問題があり, 位置透過性を実現することが求められている。

そこで, クライアントが接続するセンサノードを決定するのではなく, クライアントの間合せ(クエリ)をフラッディングを利用してセンサネットワーク内に送信し, センサネットワーク内のセンサノードが要求に答えるべきかどうか判断し応答を返す方法が検討されている [2-4]。

3) はセンサネットワークが対象とする対象物のある時点の状態を観測するために, 同時期に複数のセンサノードから同期のあるセンサデータの入手を実現するために解決が求められている。各センサノードがクライアントに送信したセンサデータを取得した時刻に注目する。クライアントがセンサネットワークに対してある瞬間の対象の状態を知りたいとき, 各センサノードが取得したセンサデータの同期を実現することが必要である。

そこで, 本論文は 3) に注目し, センサネットワーク内の各センサノードが取得したセンサデータが他のセンサデータと同期が取れているかをクライアントまでの中継センサノードで判断し, 同期のとれていないセンサデータを削除する手法を提案する。本手法を実現することにより, クライアントは同期のあるセンサデータ(同期センサデータ)を入手することができるほか, 必要のないセンサデータを削減でき, 各センサノードのバッテリー消費量を抑制し, 1) の実現も可能である。

## 2 関連研究

センサネットワーク  $\mathcal{N} = (\mathcal{S}, \mathcal{E})$  とは, センサノード  $s_i$  の集合  $\mathcal{S}$  と互いに直接通信可能なセンサノード

$s_i, s_j \in S$  の間の双方向リンク  $\langle s_i, s_j \rangle$  の集合  $\mathcal{E}$  で定まるネットワークである。

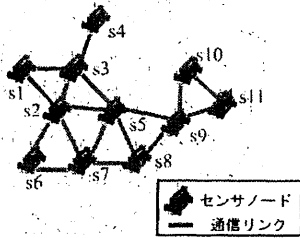


図1 センサネットワーク

センサネットワーク内で配送されるメッセージ数を削減し、センサノードの電力消費量を抑制する手法として [2, 3] がある。論文 [2] ではセンサデータの取得を行なうクライアントが対象となる物理的な対象範囲を指定することで、センサデータを取得するセンサノード数を限定し、配送されるセンサデータ数を抑制する手法である。論文 [3] では、クライアントが取得したセンサデータの集計(平均、合計、データ数)を行ないたい場合に必要センサデータをすべてクライアントが取得するのではなく、センサネットワーク内のセンサノードがセンサデータを配送しながら集計処理を行ない、センサデータ量を削減している。

しかし、これらの手法はセンサネットワーク内を配送されるセンサデータの削減が主な目的でありクライアントに配送されるセンサデータの同期については検討していない。無線ネットワークは狭帯域で低信頼であるため、クライアントが必要としなくなったセンサデータが遅延して到着することが考えられる。このようなデータによってクライアントが取得するセンサデータの精度が低下する。

ここで、同期センサデータについて以下のように定義する(図2)。同期センサデータのパラメータはセンサデータの取得を行なうクライアントによって決定することができる。

#### [同期センサデータ]

- 1) クライアントの想定する時間範囲内(取得希望時間とする)のセンサデータの集合であること。ただし、センサデータは各センサノードにつきひとつとする。

- 2) センサデータの集合のうち、最も古い時刻に取得されたセンサデータと最も新しい時刻に取得されたセンサデータの取得時刻の差がクライアントの要求した時間の範囲内(許容時間差とする)であること。

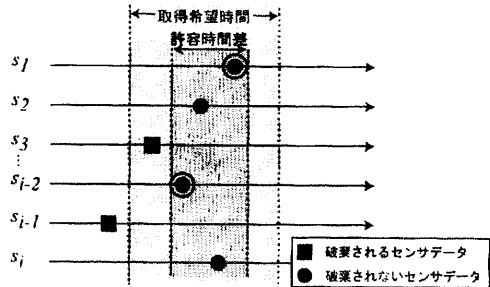


図2 同期センサデータ

図2において、センサノード  $s_{i-1}$  が取得したセンサデータはクライアントの取得希望時間内に取得されたデータではないため、データは破棄される。 $s_3$  が取得したセンサデータは取得希望時間内ではあるが、許容時間差を満たさないためクライアントが要求する同期を満たさないと判断され破棄される。

### 3 提案手法

無線センサネットワークにおいて、クライアントが同期のあるセンサデータを収集する手法について提案する。なお、以下の前提条件のもとで提案手法を設計した。

- 1) すべてのセンサノードはマルチホップ配送を用いることで通信が可能である
- 2) センサノードはGPSなどを用いて位置情報の取得と時刻同期が行なっているものとする。

センサデータの破棄は、前述した同期のあるセンサデータの定義にもとづき、図2のように行なう。

#### [リクエストの作成]

センサデータの取得を要求するクライアントコンピュータは、リクエストメッセージを作成する。メッセージには対象となる範囲情報のほかに、同期に対する要求である、取得希望時間および許容時間差のパラメータを含める。

#### [リクエストの配送]

リクエストメッセージはブロードキャストを用いて配送する。無線通信の性質から、センサノードが送信したパケットはその近隣の他のセンサノードが同時に受信が可能である。リクエストメッセージを受信したセンサノード

ドは同様にブロードキャストを行なう(図3(a)). このとき、各センサノードは、最初に要求メッセージを受信したメッセージの送信元のセンサノードを親ノードとするスパニングツリーを作成する(図3(b)). 図3の例では  $s_1$  がクライアントであり、クライアントを根としたスパニングツリーが構築される。

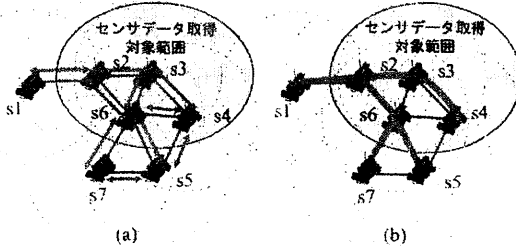


図3 メッセージの配送とスパニングツリーの作成

#### [応答の収集]

ブロードキャストが終了し、スパニングツリーが生成されたら、ツリーの葉となったセンサノードからリクエストの処理を行なう。図3(b)において、 $s_7, s_5, s_4$  がスパニングツリーの葉である。まず、センサノードが対象の範囲内に存在しているか判断し、対象のセンサノードかどうか判断する。対象のセンサノード( $s_4$ )であれば、センサデータを取得し、親センサノードに配送する。センサデータにはセンサデータを取得した時刻を付加する。対象外のセンサノード( $s_5, s_7$ )であれば、対象外であるメッセージ(対象外ノード通知)を親センサノードに配送する。

スパニングツリーの葉ではないセンサノードは自身のすべての子ノードからセンサデータあるいは対象外の通知を受信したとき、同様に、対象の範囲内に存在しているか判断しセンサノードの取得を行なう。また、子センサノードから受信したセンサデータあるいは対象外ノード通知について以下の条件で処理を行なう。

- 付加されたセンサデータのうち自身がセンサデータを取得した時刻を始点として許容時間差よりも古い時刻に取得されたセンサデータは破棄する
- 子ノードの対象外ノード通知は破棄する
- それ以外のセンサデータは自身の取得したセンサデータあるいは対象外ノード通知にビギンバックする

以上処理を終了したら、自身の親センサノードにメッセージを送信する。

この処理をスパニングツリーの根まで同様に続けることにより、クライアントに同期のあるセンサデータを配送することが可能である。

## 4 まとめと今後の課題

本論文では、無線センサネットワークにおいて、各センサノードがクライアントのクエリを受信し、取得してクライアントに送信したセンサデータのうち、クライアントの要求する同期の条件を満たさないセンサデータを中継するセンサノード上で判断して削除する手法を提案した。この手法により、クライアントは位置透過性を実現した手法によってクエリを発行し、クライアントの想定する同期センサデータを入手できる。さらに、センサネットワーク内のセンサノードのバッテリー消費量を削減することができる。

今度の課題は、各センサノードがクライアントからの要求がセンサネットワーク内に伝播される時間を予測し、センサデータを取得する時間を決定することで、各センサデータのより高い同期を実現する手法の検討を行なっていく。また、本提案では許容時間差の判定をスパニングツリーの親センサノードを基準として行なったため、親センサノードが故障している場合などには、正しいセンサデータをクライアントに送信することができなくなってしまう問題を含んでいる。そこで、センサデータの破棄条件を親センサノードを基準としない手法について検討していく。

## 参考文献

- [1] "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," Standard IEEE 802.11 (1999).
- [2] Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D. and Heidemann, J., "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, No. 1, pp. 2-16(2003).
- [3] Madden, S.R., Szewczyk, R., Franklin, M.J. and Culler, "Supporting Aggregate Queries Over Ad-Hoc Wireless Sensor Networks," Proc. of 4th IEEE Workshop on Mobile Computing and Systems Applications (WMCSA), pp.49-58(2002).
- [4] Yao, Y. and Gehrke, J., "The Cougar Approach to In-Network Query Processing in Sensor Networks," ACM SIGMOD Record., Vol. 31, No. 3, pp. 9-18(2002).