

# 長期運用を実現するためのクライアント参加型センサネットワーク\*

東京電機大学 理工学部

† 小野 真和 梶垣 博章 古田 勝久‡ §

## 1 背景と目的

近年、小型で高性能なコンピュータに温度センサやカメラなどのセンサデバイスを接続したバッテリーで動作可能なセンサノードが作られるようになった。さらに、無線通信技術を適用した複数の無線センサノードから構成される無線センサネットワークに注目が集まり、交通システムにおける流動量調査などのさまざまな分野への応用が想定され研究や開発が行なわれている。

無線センサネットワークに対して、センサノードの消費電力を抑制してセンサネットワークの長期運用を実現する手法への要求がある。バッテリーで動作するセンサノードは電力供給インフラを必要とせず、容易にネットワークを構築できる利点があるが消費可能な電力量は限られているため、通信などによる消費電力量を抑制しなければならない。そのために、消費電力量の少ない通信技術の利用や配送されるセンサデータ数を削減する手法の適用が考えられる。たとえば、通信技術として IEEE802.15.4(ZigBee) [1] などの既存の無線 LAN プロトコルと比較して狭帯域であるが低消費電力量である手法が利用される。

また、センサデータの配送時に配送先のセンサノードと直接通信を行なえない場合、互いに直接通信可能なセンサノードを経由して配送を行なうマルチホップ配送が利用される。この配送手法では自身の取得したセンサデータに加え他ノードのセンサデータも配送しなければならず、より多くの電力を消費する問題がある。そこで、従来の研究においてマルチホップで配送するセンサデータの数を削減する手法として、無線センサノード上で取捨選択や集計処理を行なう手法が提案されてきた [3]。

しかしながら、複数のセンサデバイスから高分解能データや画像などの大容量データを取得するような場合、マルチホップ配送によって発生する配送遅延やセンサノードの電力消費量の増加の問題が解決できない。

ここで、渋滞情報提供のための交通量調査など、センサネットワークの適用例の中には、複数のクライアントがセンサネットワーク内に存在する場合がある。しかし、従来の手法ではこの点を考慮せずセンサデータの集約をセンサノードのみで行なうことが想定されている。そこで本論文では、このような環境においてセンサネットワーク内のクライアントコンピュータ間でセンサデータの集約や配送を行なうことによりこれらの問題点を解決し、センサネットワークの長期運用を実現する手法を提案する。

## 2 センサネットワーク

### 2.1 システムモデル

従来の研究で対象となっているセンサネットワークのモデルは、センサネットワーク内のセンサノードから取得したセンサデータを利用するクライアントはセ

ンサネットワークに参加しないモデルである (図 1(a))。

クライアントは無線センサノードと直接通信することができない無線センサネットワークの外部に存在する。そこで、クライアントからのクエリ配送やセンサノードへのセンサデータ配送は Sink とよばれるサーバを経由して行なわれる。

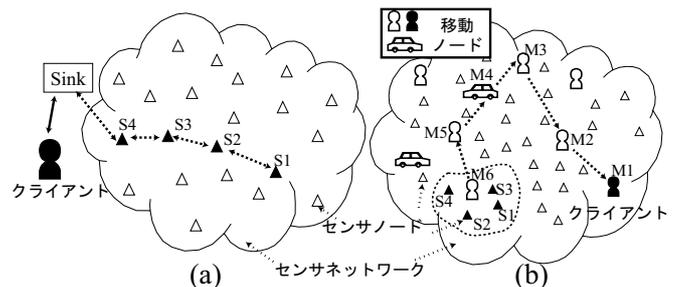


図 1: センサネットワークの通信モデル

無線センサノードから Sink にセンサデータを配送するとき、センサノードによる無線マルチホップ配送が利用される。例えば図 1(a) の場合、センサノード  $S_1$  が取得したセンサデータは  $S_2, S_3, S_4$  を経由して Sink まで配送される。この形態の無線センサネットワークをクライアント非参加モデルと呼ぶこととする。

従来の研究では、クライアントがセンサノードと直接通信可能なセンサネットワークの内部に存在するかどうかについては考慮されていない。そのため、クライアントがセンサネットワーク内に存在したとしても、センサデータの配送および集約の処理はすべてセンサノード上において行なわれ、クライアントに対しては Sink 経由でクエリ応答が配送される。

ここで、センサネットワーク内のクライアントがセンサデータの配送や集約に参加することができれば、センサノードが行なう配送や集約処理のオーバーヘッドを削減し、消費電力を抑制することができる。そこで、本研究ではセンサネットワーク内に複数の移動ノードによるクライアントが存在するモデルを考える (図 1(b))。このような無線センサネットワークは、市街における交通システムなど、クライアントがセンサネットワーク内に存在しセンサデータを取得して利用することが想定される。ここで、センサノードは移動ノードからセンサデータ取得の要求に対しセンサデータを返信する。

このとき、センサノードはマルチホップ配送を行わないため、移動ノードは直接通信可能なセンサノードからのみセンサデータを取得することが可能である。移動ノード間の通信は広帯域なマルチホップ配送を利用することができ、別の移動ノードを経由してセンサネットワーク内の遠隔地からセンサデータを取得可能である。たとえば、図 1(b) において、 $M_1$  は  $M_6$  の持つセンサデータを要求したとき、それを  $M_6, M_5, M_4, M_3, M_2, M_1$  の順に  $M_1$  まで配送することによりセンサデータを収集できる。

\*client participated sensor networks for achieving long long-term operation

†Tokyo Denki University

‡Masakazu Ono, Hiroaki Higaki, Katsuhisa Furuta

§{masa, hig}@higlab.net, furuta@k.dendai.ac.jp

## 2.2 センサデータベース

センサネットワーク内の各センサノードが、センサデバイスから取得するセンサデータを情報源としてとらえ、センサネットワーク全体を大きなひとつのセンサデータベースとして扱う手法が提案されている [2]。これらの手法では、クライアントからセンサネットワークの構成(たとえば、センサノードの位置、実装しているセンサデバイスの種類、センサデータのデータ形式など)を隠蔽し、その代わりに SQL のようなクエリ記述言語で表記可能な統一されたアクセス方法を提供する。

ここで、クライアントのクエリおよびセンサノードからのセンサデータを配送する手法が必要である。センサノードは高い密度で設置される点や、センサの故障や移動などによりネットワークトポロジが動的に変化するため、クライアントがセンサノード固有の ID を指定して個別に通信を行なう手法では、制御メッセージ数の増加や通信オーバーヘッドが大きくなる。そこで、クライアントのクエリをフラッディングを利用して配送し、同時にセンサノードからクライアントまでのセンサデータの配送経路を構築することでセンサノードの識別情報を必要とせず配送を行なえる、オーバーヘッドの小さい手法が提案されている [2, 3]。

さらに、センサノードの電力消費量削減のため、マルチホップ配送でセンサデータを配送する途中の中継ノード上において平均値などの集計処理する手法が提案されている [3]。中継ノード上において集計処理を行なうことでセンサデータ数を削減し、通信オーバーヘッドを抑制し消費電力量の削減を実現している。

## 3 センサデータ取得手法

クライアント参加モデルの無線センサネットワークにおいて、センサデータを要求する移動ノードがクエリを作成しセンサネットワーク内に問い合わせる。本論文では、例として図 2(a) に示すセンサネットワーク内の、ある時刻  $t$  にある領域  $D$  から移動したセンサノードが検出可能な移動体 ( $O_1, O_2, O_3$ ) の移動履歴 ( $O_1 \rightarrow O_1', O_2 \rightarrow O_2', O_3 \rightarrow O_3'$ ) の検索を検討する。

以下の前提条件の元で手法を検討する。

- 無線センサネットワーク内の無線センサノードは任意の間隔でセンサデータを取得している。
- ネットワーク内のすべてのノードは  $O_1, O_2, O_3$  を一意に識別しうる情報を所有していない。
- センサノードが取得するセンサデータには取得時間や位置情報を付加することが可能である。
- 移動ノード間はマルチホップ配送が可能である。

まず、 $M_1$  はセンサデータ取得を行なうために検索開始時の時刻  $t$  と対象領域  $D$  をクエリに含めたクエリ  $Q$  を作成する。作成した  $Q$  を、フラッディングによってセンサネットワークの移動ノードに配送する(図 2(b))。このとき、センサノードは  $Q$  を受取らない。また、同時に移動ノードがセンサデータを配送するための経路を構築する。

$Q$  を受信した移動ノードは、自身の近隣に存在するセンサノードからセンサデータを取得する(図 2(c))。また、 $Q$  で指定された  $D$  に含まれるセンサノード  $M_d$  は、各移動ノードが取得したセンサデータの中から  $M_1$  に配送するセンサデータを決定し、その情報をフラッディングによって移動ノードに通知する(図 2(d))。

この情報を元に、各移動ノードは  $M_1$  に配送するセンサデータを決定し、 $M_1$  に配送する。このとき、図 2(b) のフラッディングを行なったときに作成された配送経路を利用してセンサデータを配送する(図 2(e))。

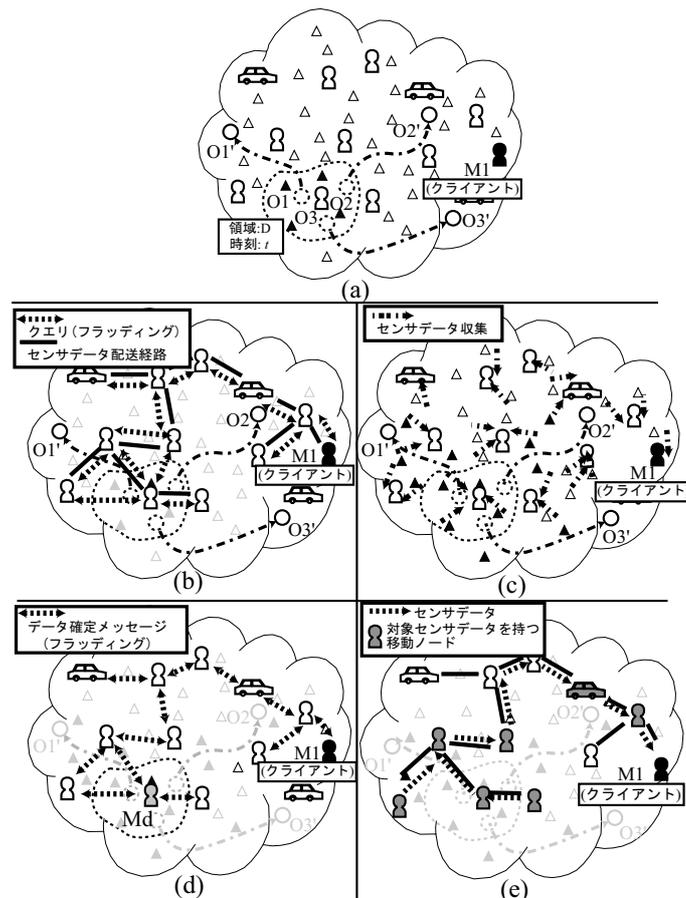


図 2: センサデータの取得

このように、移動ノードがセンサデータを配送することによりセンサノードが送信するメッセージ数を削減することができ、センサノードの消費電力量を抑制し、長期運用を実現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、複数のセンサノードから構成されるネットワーク内に複数のクライアントが存在するようなセンサネットワークにおいて、センサノードの消費電力量を抑制し、長期運用を実現できるセンサデータ収集手法について提案した。今後の課題は、センサノードや移動ノードの密度によって変化するセンサデータの集約数、ノードの消費電力などについて検討していく。

## 参考文献

- [1] “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 (LR-WPANs),” Standard IEEE 802.15.4 (2003).
- [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).