

# センサネットワークにおける問い合わせ言語を用いた データ収集効率化手法の提案

On Efficient Data Collection Method Using Query Language in Sensor Network

鈴木 克弥\*1 沼尾 雅之\*2  
Katsuya SUZUKI Masayuki NUMAO

\*1 電気通信大学大学院情報工学専攻

Graduate School of Computer Science, The University of Electro-Communications

\*2 電気通信大学情報工学科

Department of Computer Science, The University of Electro-Communications

Since huge amounts of information are collected and exchanged in sensor network, it is necessary to design an efficient method to control the sensor nodes. In this paper, we propose application-directed traceability system in which the sensor nodes are intelligent enough to make a decision on which data should be sensed and when they should be sent based on the SQL-like query from application. Also we show the integration of sensor data and RFID data by unified scheme in order to simplify the query.

## 1. はじめに

近年、機器の小型化や低価格化が進み、無線通信とセンシング機能を搭載したセンサノードと呼ばれるデバイスの開発が行われており、複数のセンサノードによって構成されるセンサネットワークの研究が盛んに行われている。センサネットワークを利用することで、ユーザは自身から遠く離れた複数の場所の環境情報を容易に取得することが可能となった。

また、ID 情報を埋め込んだ微小なタグから、電波などを用いた近距離無線通信によりデータをやり取りする RFID (Radio Frequency IDentification) を利用することで、同様に様々な情報を取得することができる。RFID は、人・物・情報の流れを可視化するトレーサビリティの分野、バーコードに代わる物品管理・識別技術など多岐に渡る研究が行われている。

これらの技術を用いることで、今日では個人の身近にある様々な情報を容易に取得することの出来る社会が形成されつつある。しかし、このような社会で利用される実用的なシステムを構築するためにはいくつかの課題が存在する。

一般にセンサノードはバッテリーによって駆動するが、センサノードが最も電力を消費するプロセスはデータの無線通信である。そのため、センサネットワークを長期に渡り利用するためには、不要なデータ通信の削減が必要である。また、無線通信を行う際のバンド幅は限られているため、観測データを取捨選択し必要なデータのみを通信することが望まれる。

そこで本研究では、センサネットワークに対して、SQL ライクな問い合わせ言語を与えることで、センサノードのデータ観測対象、データ観測周期を知的に制御する。また、時間、場所、センサデータ、RFID タグの読み取りデータ等を組み合わせた様々なイベントを定義し、問い合わせ時に設定することで、センサノードが動作するタイミングの制御を行うという手法を提案する。ユーザーが必要とするデータを必要なタイミングで、センサネットワーク上から収集することで、センサネットワークから効率的にデータを収集することが可能となると考える。

表 1: センサノードと RFID から得られるデータ

	時間	環境情報	タグ ID	ユーザ領域	位置
センサノード			-	-	
RFID		-			

## 2. センサノードと RFID の利用

表 1 は、センサノードと RFID から得られるデータの種類をまとめたものである。センサノードは、その搭載するセンサの種類に応じて様々な環境情報を得ることができる。また、RFID は RFID タグの ID と RFID タグのユーザ領域に書き込まれたデータを得ることができる。各ノードの設置場所が移動しない状況においては、ノードがそれぞれ固有の ID を持つことで、ID と設置場所を紐付け位置情報を得ることも可能である。

これらの情報を組み合わせることで、ノードに様々なイベントを設定することを考える。

## 3. イベントについて

センサノードにイベントを設定するためには、センサネットワークを利用する環境が重要な要素となる。本稿では、センサネットワークはビルに構築されており、ビル内部の人間はすべて RFID タグを携帯していることを想定する。また、RFID タグを利用することで各人の所在や各部屋の入退室の管理、在室状況などを把握することが可能であるとする。このような状況を想定した場合、以下に挙げるような変化をイベントとして設定することが考えられる。

### センサデータを利用したイベント

観測データが閾値や予測値、前回の観測データなどを上回る(下回る)場合、過去数回分の観測データ(その平均値など)が規定値を上回る(下回る)場合など。

### RFID タグを利用したイベント

特定 ID を持つ RFID タグを読み込んだ場合、特定データがユーザ領域に書き込まれた RFID タグを読み込んだ場合など。

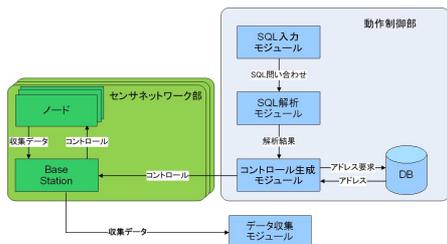


図 1: 動的ノード制御システムの構成

### RFID タグと位置情報を利用したイベント

ある部屋に入退室があった場合、ある部屋の在室人数が一定数を上回った（下回った）場合、ある部屋に特定の組み合わせの人物が在室している場合、ある人物が部屋 A から部屋 B に移動した場合など。

この他にも様々なイベントを定義し、ユーザがその時々に応じてセンサネットワークに与えることで、一定間隔でデータ観測、データ通信をおこない続けるようなシステムに比べて、よりユーザの要求を満たし、無駄な観測や通信を削減したデータ収集を行うことができると考えられる。

## 4. 動的ノード制御システムの構成

提案手法の評価を行うために、提案手法に基づいてデータ収集を行う、動的ノード制御システムを構築した。システムの構成は図 1 のようになっている。

動的ノード制御システムは動作制御部、センサネットワーク部、データ収集モジュールから構成されている。動作制御部 1 つに対して、複数のセンサネットワーク部、1 つのデータ収集モジュールから成る。

動作制御部では SQL 入力モジュールから問い合わせの入力を行い、SQL 解析モジュールで問い合わせの解析を行う。解析結果からコントロール生成モジュールがコントロールを生成し、センサネットワーク部にネットワークを介して送信する。センサネットワーク部では、コントロールを BaseStation と呼ばれる基地ノードが受け取り、子であるノード（ノード：RFID、センサノード双方を指す）にコントロールを送信する。ノードはコントロールに従ってデータを観測し、結果を BaseStation に送信し、データ収集モジュールに渡す。データ収集モジュールは、センサネットワーク部で観測されたデータを収集する機構である。

## 5. SQL 問い合わせの設計

本研究で設計した SQL 問い合わせの構文は図 2 のようになっている。

### ON EVENT 文

ノードの動作を制御するイベントの指定を行う。

### SELECT 文

収集対象となるデータの種別を指定する。通常の SQL 文と同程度のものである。

### FROM 文

```
ON EVENT event
SELECT param, ...
FROM sensors
WHERE pred
SAMPLE PERIOD seconds
```

図 2: SQL 問い合わせの構文

```
ON EVENT read(room1, Tag1, Tag2)
SELECT Timestamp, Temperature, Light
FROM sensors
WHERE Light > 150
```

図 3: SQL 問い合わせ例

SQL 問い合わせを行う対象の指定を行う。本研究では sensors という仮想的なテーブルに対して問い合わせを行う。

### WHERE 文

データ収集の条件設定を行う。センサノードに対しては閾値の設定を行うことが可能である。RFID に対しては特定の ID を持つ RFID タグだけを収集する等の設定を行うことが可能である。観測したデータが、指定された条件を満たさない場合には Base Station にデータ送信を行わない。

### SAMPLE PERIOD 文

データ観測の周期を設定する。観測周期の設定は秒単位で行う。

図 3 は、実際の SQL 問い合わせの例である。room1 においてタグ ID が Tag1 または Tag2 である RFID タグがリーダーに読み込まれたことをイベントに、room1 に設置されたセンサノードがデータを観測する。すなわち、Tag1 または Tag2 を持った人物が room1 の入退室を行ったことをイベントに動作することに相当する。観測データのうち照度には閾値を設定し、結果が 150 lux を超えていた場合のみデータを送信する。また、この例ではイベントによってセンサノードの動作タイミングを制御するため、データ観測の周期を設定する SAMPLE PERIOD 文の記述は省略する。

## 6. 評価実験

提案手法の評価を行うために、センサデータの観測値に閾値を設定したデータ収集、RFID を利用したイベントを設定したデータ収集という 2 種類の簡単なデータ収集を行った。収集データ量はサーバが受信したデータの件数及び、受信データを書き込んだファイルのサイズとする。

### 6.1 閾値を設定したデータ収集

センサノード A, B それぞれ温度と照度を対象として、30 秒間隔で約 48 時間データ収集を行った。センサノード A には照度に閾値を設定し、観測データが 100 lux 未満である場合にはデータ送信を行わないものとした。データ収集の結果を表 2 に示す。

表 2: 閾値を設定したデータ収集の結果

	行数	ファイルサイズ (byte)
センサノード A	5,629	286,631
センサノード B	1,732	90,293

表 3: RFID を利用したイベントによるデータ収集結果

	行数	ファイルサイズ (byte)
Case 1	461	23,935
Case 2	206	10,197

## 6.2 RFID を利用したイベント

研究室のメンバがそれぞれユニークな ID が与えられた RFID タグを携帯し、研究室 A, B の入口付近に RFID リーダを設置することで、人の入退室をイベントとしてデータ収集を約 48 時間行った。イベントが発生すると、そのイベントが発生した研究室に設置されたセンサノードが動作し、温度と照度を観測しデータを送信する。データ収集の結果を表 3 に示す。Case 1 では 8 名、Case 2 では 8 名のうち 4 名がイベントのトリガとなっている。

## 6.3 考察

表 2 を見ると、閾値を設定したセンサノード B では収集データ量がセンサノード A に比べて約 31% となっていることがわかる。照度の小さい夜間には観測データが閾値を超えず、センサノードがデータを送信しないためである。ここでは夜間も 30 秒間隔でデータの観測を行っているが、過去数回の観測データを元に暗くなったというイベントを発生させ、観測周期を長く再設定することで、より効率的なデータ収集が行うことができると考えられる。

表 2 と表 3 を比べると、どちらも観測するセンサデータは温度、照度と同様であるが、収集データ量には大きな差がある。データの観測を人の入退室時に限ることでデータ観測や通信の頻度を大幅に削減しているためである。室内の環境情報は、入室する人数や人が移動する頻度の大小で、その変化の起こりやすさや変化の程度が異なると考えられる。そのため、入室人数や人の移動が多いであろう昼間においては RFID を利用したイベントで動作し、夜間は一定間隔で動作するなど、RFID を利用したイベントとセンサデータを利用したイベントを組み合わせることで、より効率的なデータ収集が行うことができると考えられる。

## 7. 提案手法の実用例について

現在、私達沼尾研究室ではアプリケーション主導型トレーサビリティシステムを提案し、研究・開発を進めている。これは、何を追跡したいのかという目的に応じて、データ収集、データ交換、データ解析システムを相互に有機的に連携させるというものであり、現在のデータ収集側から解析側にデータを一方的に流す考え方とは異なり、追跡したいもののデータを意図的に集め、解析するというトレーサビリティシステムである。本研究は、アプリケーション主導型トレーサビリティシステムにおける、データ収集システムに相当する。SQL ライクな問い合わせによるノードの制御、トレーサビリティにおいてデータ検索や解析時に頻出するようなイベントを問い合わせのパラメータとして設定することにより、ユーザの必要とする情報のみを意図的に収集できると考えている。

従来のトレーサビリティシステムにおいては、ユーザはある条件の下で収集・蓄積されたデータに対して検索、解析を行っ

```
SELECT Nodeid, Timestamp, Temperature
FROM sensor
WHERE Timestamp IN
  (SELECT Timestamp FROM rfid
   WHERE RoomID = room1
    AND TagID = Tag1)
AND Temp > 20.0;
```

図 4: 通常の SQL 問い合わせ

```
ON EVENT read(room1, Tag1)
SELECT Nodeid, Timestamp, Temperature
FROM sensors
WHERE Temp > 20.0;
```

図 5: 提案手法による SQL 問い合わせ

ている。この方法では、蓄積されたデータの中にユーザの要求を満たさない物が含まれている場合も存在し、ストレージ容量、処理時間等の点で無駄があった。また、トレーサビリティにおいて頻出するようなデータ検索に用いられる問い合わせ文は煩雑である場合が多い。

例えば「ある人物 (TagID = Tag1) が ある部屋 (RoomID = room1) に設置された RFID リーダで検知された時刻に、センサノードが観測した温度が 20 を超えている場合、センサノードの ID、タイムスタンプ、温度を取得する」という要求を満たすことを考える。

既に収集・蓄積されたデータに対して通常の SQL 問い合わせを用いて、要求を満たすデータを検索する場合、例えば図 4 のような問い合わせが考えられる。

これに対し、提案手法における SQL 問い合わせを用いて、要求を満たす SQL 問い合わせを記述すると、図 5 のようになる。

このように、SQL 問い合わせを簡略化することも可能であると考えられる。

## 8. 関連研究

センサネットワーク上のノードの動作を、SQL ライクな問い合わせ言語で制御するものとして TinyDB [Madden 05] が挙げられる。TinyDB は TinySQL と呼ばれる問い合わせ言語を用いて、センサノードのデータ観測対象や、データ観測周期等を指定することができる。また、TAG [Madden 02] と呼ばれる集約機構を実装しており、AVG() のような集約関数を用いてデータ収集を行う際に、中継ノードが集約関数に従ってデータを加工し、その結果を親ノードに送信することで送信するデータサイズを小さくすることができる。動作を制御するためにイベントを設定することも可能であるが、RFID への導入は行われていない。

Cougar [Yao 02] はセンサネットワーク全体を分散したデータベースとして捉え、センサデータを各センサノードが保管し、必要なセンサデータを並列的に検索、集約する機構を備えたシステムである。センサデータの検索を行うために SQL ライクな問い合わせ言語を提供している。Cougar を利用することで、

ユーザはセンサデータを必要に応じて収集することが可能となるが、センサノードの動作制御にイベントを用いることや、RFID の導入については言及されていない。

富森らは、センサノードにルールベースの問い合わせを行うことによって、不要なデータ観測や通信を削減する手法を提案している [富森 08]。ルールの設定には SQL ライクな問い合わせ言語を用いており、各センサノードに対して状態、イベント、状態遷移等のルールを設定する。観測したデータがイベントの条件に合致した場合には、センサノードが状態遷移することでデータ観測の条件を変更するというものである。センサノードの動作制御にセンサデータを利用したイベントを用いる点は同様であるが、本研究では RFID を利用したイベントを用いている点が異なる。

[義久 07] では、センサノードにある程度の誤差を許容した予測値を与え、予測値から外れたデータを観測したセンサノードのみがデータを送信することで、データ収集の効率化を図るという提案がなされている。予測値の更新はデータを集約するサーバで行われるが、ネットワーク上のノード数が増加すると予測値の計算コストが膨大になるという課題がある。

## 9. おわりに

本研究では、センサネットワークにおける課題の 1 つであるデータ収集の効率化に着目し、センサネットワークに SQL ライクな問い合わせを行うことで、センサノードの動作を動的に制御する機構を作成した。また、RFID や各ノードの位置情報などを利用したイベントを、問い合わせを行う際に指定することで、よりユーザの要求を反映したデータ収集を行うことを提案した。提案手法の簡単な評価実験を行い、センサデータ、RFID などを利用したイベントを設定することでデータ収集効率向上の可能性を示した。さらに、アプリケーション主導型トレーサビリティシステムにおけるデータ収集システムとして利用することで、データ検索時に煩雑になりがちな SQL 問い合わせの簡略化に繋がる可能性を示した。

今後は、様々なイベントを実装したシステムの構築を行い、シミュレーションの利用や、実際にセンサネットワークを構築することでその評価を行っていく。本稿では、ユーザ数がひとりに限定された状況を想定していたが、今後は複数のユーザが異なる条件でデータ収集を行おうとした場合における、コントロール生成の最適化の問題について検討を行う必要がある。また、センサノードの消費電力に着目し、提案手法を導入することによるセンサネットワークの省電力化に対する効果の有無を評価する予定である。

## 参考文献

- [Madden 05] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein and W. Hong: " TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks ", ACM Transactions on Database Systems (TODS), 30, 1, pp. 122.173 (2005).
- [Madden 02] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein and W. Hong: " TAG: a Tiny AGgregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks ", Proceedings of the ACM Symposium on Operating System Design and Implementation (OSDI) (2002).
- [Yao 02] Y. Yao and J. Gehrke: " The Cougar Approach to In-Network Query Processing in Sensor Networks ", ACM SIGMOD Record, Vol.31, No.3, pp.9-18 (2002).

[富森 08] 富森英生, 鈴木和久, 横田裕介, 大久保英嗣. " センサノード上の時系列データに対するルールベースの問い合わせ処理 ", 電子情報通信学会データ工学ワークショップ (DEWS2008) ,2008

[義久 07] 義久智樹, 西尾章治郎. " センサネットワークにおける放送型配信を用いたデータ収集方式 ", 電子情報通信学会データ工学ワークショップ (DEWS2007) ,2007