

複数拠点統合型センサネットワークにおける 収集データ記述方式の設計と実装

濱口 雄人^{†1} 義久 智樹^{†1} 寺西 裕一^{†2}
原 隆浩^{†1} 西尾 章治郎^{†1}

近年のセンサネットワークの普及に伴い、複数のセンサネットワーク拠点を連携させて統合的に利用する複数拠点統合型センサネットワークへの注目が高まっている。複数拠点統合型センサネットワークからデータ収集する場合、利用者が接続ソフトウェアを使って意図的に各センサネットワークに接続してデータ収集するといったように、データ収集の手順が複雑になる問題があった。そこで本研究では、複数拠点統合型センサネットワークにおいて、利用者の負担を軽減するために、収集データ記述方式の設計と実装を行った。本方式では、利用者がポータルサイトで収集するデータを記述することで、利用者は、各センサネットワークへの接続を意識することなく複数拠点統合型センサネットワークからのデータ収集が可能になる。

A Design and Implementation of Description Method for Data Aggregation on Integrated Sensor Networks

YUTO HAMAGUCHI,^{†1} TOMOKI YOSHIHISA,^{†1}
YUICHI TERANISHI,^{†2} TAKAHIRO HARA^{†1}
and SHOJIRO NISHIO^{†1}

Due to the recent development of sensor networks, integrated sensor networks attract great attention. When users collect sensor data from integrated sensor networks, the process for the collection is complicate, since they have to consciously connect to each sensor network using connection software. In this paper, to relax the burden on the users, we design and implement the description method for data aggregation on integrated sensor networks. In our proposed method, by describing the collecting data on the portal site, users can collect sensor data from an integrated sensor network saving many steps.

1. はじめに

近年のセンシング技術の発展に伴い、気象センサやカメラといったセンサで情報ネットワークを構築するセンサネットワークが多く場所で運営されている。本研究では、同じ組織が運営するセンサネットワークをまとめてセンサネットワーク拠点と呼ぶ。一つのセンサネットワーク拠点だけでは設置できるセンサの数や場所に制約があるため、複数のセンサネットワーク拠点をインターネット等の広域ネットワークを介して連携する複数拠点統合型センサネットワークに対する注目が高まっている。複数拠点統合型センサネットワークでは、各拠点の位置やセンサの種類を管理サーバが管理している。利用者はポータルサイトを介して管理サーバが持つこれらの情報を参照できる。

複数拠点統合型センサネットワークの構築において、単純に全てのセンサネットワーク拠点をネットワークで相互接続した場合、センサデータをセンサネットワーク拠点から利用者の端末等に一度集約した後に、平均や分散の計算などの所望の処理を行わなければならない。幾つかのデータ収集記述方式が開発されているが、利用者が接続用のソフトウェアを使って各センサネットワークに接続してデータ収集するといったように、データ収集の手順が複雑になっていた。例えば、単純なシステムの場合、データ収集を行うセンサネットワークを決定して各センサネットワークで SQL (Structured Query Language) 文を入力し、センサデータをダウンロードしてからセンサデータに対して処理を行う、といった手順が必要であった。結果を得るまでの手順が多いため、利用者に対する負担も同様に多くなっていた。

そこで本研究では、複数拠点統合型センサネットワークにおけるデータ収集処理に的した処理記述方式と、その処理系の設計と実装を行う。本稿では、まず、収集の対象となるセンサデータの時間的、空間的な条件および処理の方法を指定可能な収集データ記述方式 STQL (Spatio Temporal Query Language) を提案する。STQL は、センサネットワーク拠点や、拠点に対して SQL 文の入力を意識する必要がなく、データ収集を行う利用者が対象とするデータと処理方法の指定に注力できる利点があり、センサデータ抽出に関する記述を簡略化できる。

また、STQL のモバイルエージェントを用いた処理系の実現方法についても示す。モバ

^{†1} 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{†2} 情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology, Japan

イルエージェントでセンサデータの処理を行うことで、利用者の端末にデータを全てダウンロードすることなくデータに対する処理が可能になる。処理結果を得ることが可能になり、APIを利用してプログラミングを行うといった手間を軽減できる。

以下、本論文の構成を示す。2章で関連研究を述べ、3章で提案方式の設計について説明する。また、4章について説明する。5章で考察を行い、最後に6章でまとめる。

2. 関連研究

複数のセンサネットワークを扱う研究がいくつか行われている。

GSN (Global Sensor Network)¹⁾ は、各センサネットワーク拠点をノードとする P2P オーバレイを構築している。P2P オーバレイはサーバを必要とせず、拠点間で直接通信できるため、サーバに係る負荷の問題が発生しない。GSN では SQL ベースの問合せ言語が利用できるが、SQL で定義された集約関数は基本的なものであるため、利用可能なデータ処理記述は限定される。また、GSN では個々のセンサに対する条件指定しか行えず、一度の問合せで複数のセンサに対する条件指定を記述するのは困難である。

SenseWeb²⁾ では、各拠点で発生したセンサデータはゲートウェイである単一のコーディネータにストリームとして送信される。各アプリケーションは、SOAP (Simple Object Access Protocol) ベースの API (Application Program Interface) を用いてゲートウェイからセンサデータを取得できる。しかし、予め収集するデータをコーディネータに指定しておき、発生するデータの中からデータを収集するデータ主導型のシステムである。本研究では、既に存在するセンサネットワークを統合対象とし、センサデータアーカイブとして予め蓄積されているセンサデータの中からデータ収集する蓄積型のセンサシステムを対象としており、対象自体が異なる。

蓄積型のセンサシステムとして、Live E!³⁾ が挙げられる。Live E!はセンサをノードとして、それらをインターネットを介して接続する広域センサネットワークである。WEB ベースの API を用いてデータ収集を行うことで利用者の開発負担を軽減しており、雨の降り出し検出などのアプリケーションを実装できる。しかし、基本的なデータ取得 API を用意しているが、複数のセンサに対するデータ処理など複雑な処理を行えない。

IrisNet⁴⁾ は利用者の所有するセンサをインターネットに接続し、それらを利用可能にする共有基盤である。IrisNet では利用者が *senselet* と呼ばれるセンサに対するフィルタプログラムを C 言語で記述する。*senselet* をモバイルエージェントに送信し、フィルタプログラムを実行させることで必要なセンサデータを収集する。利用者のセンサを利用できるため

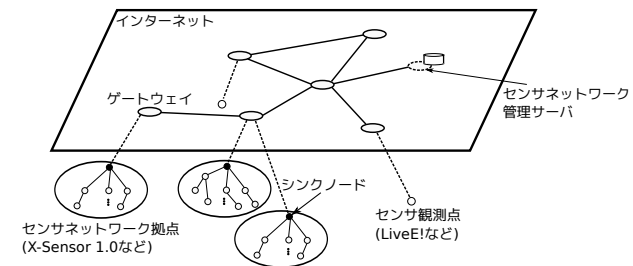


図 1 複数拠点統合型センサネットワークの構成

多数のセンサを使ったアプリケーションを構築できるが、利用者がセンサ毎にプログラムを記述する必要があり、目的のデータを取得するまでに多くの手間を必要とする。

また、センサネットワークからデータ収集する問合せ言語が幾つか開発されている。Region Streams⁵⁾ は、関数型の記述を行う問合せ言語である。SNEEq⁶⁾ は、センサ、ストリーム、リレーションの意味を形式的に記述する問合せ言語を定義している。しかし、これらの問合せ言語は複数拠点統合型センサネットワークを対象としておらず、複数のセンサネットワークを横断的に検索できない。

3. 設 計

本章では、まず複数拠点統合型センサネットワークについて説明し、その後、提案するデータ記述方式の設計について説明する。

3.1 複数拠点統合型センサネットワーク

図 1 に複数拠点統合型センサネットワークの構成を示す。複数拠点統合型センサネットワークは、X-Sensor 1.0⁷⁾ のような幾つかのセンサネットワーク拠点や、Live E!³⁾ のように広域に散在する複数のセンサ観測点で構成される。これらのセンサネットワーク拠点にはゲートウェイと呼ばれるセンサネットワークとインターネットを繋ぐ端末がある。ゲートウェイは各センサネットワークのシンクノードと繋がっており、ゲートウェイを介してセンサネットワーク拠点間の連携を可能とする。シンクノードが収集したセンサデータはゲートウェイにおいてセンサデータベースとして蓄積される。センサネットワーク管理サーバでは、各センサネットワークに配置されているセンサ種類やデータベース属性名といった情報を管理している。

3.2 設計方針

提案方式では、複数拠点統合型センサネットワークにおいて、利用者の負担を軽減するために、利用者が記述した問合せから自動的に必要なセンサネットワーク拠点を発見する。このためには以下の機能が必要と考える。

3.2.1 センサネットワーク拠点情報の管理

センサネットワーク拠点を発見するために必要な情報として以下の3項目が考えられる。まず、センサネットワーク拠点は物理的なセンサネットワークであり、その拠点に含まれるセンサの位置情報が必要である。次に、2011年1月からデータ収集を継続しているといった、これまでのデータ収集期間が挙げられる。最後に、そのセンサネットワークで処理しているセンサの種類がある。これらの情報を管理サーバが把握しておくことで、利用者の記述から必要なセンサネットワーク拠点を発見できる。必要なセンサネットワーク拠点を発見できればよいので、同じ位置、データ収集期間、センサの種類を持つセンサネットワーク拠点が複数あっても問題ない。管理サーバに静的な問合せを行うことでセンサネットワーク拠点を発見できるが、他のセンサメタデータやデータ値に対する条件指定も行える必要がある。それらの条件指定については後述する。

3.2.2 属性名の違いの吸収

複数拠点統合型センサネットワークでは、他の組織が運営しているセンサネットワークを用いるため、センサデータベースにおけるデータの表現形式が異なる可能性がある。例えば、センシング時刻が”time”や”timestamp”で表現されるといったように、同じ内容でも属性名が異なることがある。本提案システムでは、センサメタデータをシステム内で標準化することで表現形式の違いを統一する。共通スキーマと各センサネットワーク拠点のスキーマを対応付ける設定ファイルを各センサネットワークの管理者が記述する。例えば、あるセンサネットワークで、センシング時刻を保持するデータベースの属性名が”time”である場合、利用者は、予め定義されている共通スキーマのセンシング時刻の属性名である”timestamp”に対応付ける。ある組織の設定ファイルが更新または追加された場合、管理サーバに通知される。

各組織のセンサデータベースを統一的に扱えるようにするため、表1に示す共通スキーマを用意する。表1に示す属性は多くのセンサネットワークで用いられている一般的な属性である。また、提案する収集データ記述方式において、センサデータに対する条件指定を容易にするため、以下のように共通スキーマ属性を階層的に指定可能にする。

[センサの地理的範囲(センサネットワーク名)].[センサ型].[共通スキーマ属性]

表1 共通スキーマ

属性	型	内容
id	整数	識別子
timestamp	日付	センシング時刻
latitude	文字列	センサ座標、緯度
longitude	文字列	センサ座標、経度
value	浮動小数点数	センシング値
reserved	文字列	拡張

3.2.3 時空間およびセンサ情報

上述のように、必要なセンサネットワーク拠点を発見するには、その位置と時間とセンサの種類を指定する必要がある。このため、利用者が収集するデータの記述に関して、これらの情報を記述できる方式にする。

3.2.4 記述を容易にするための工夫

複数拠点統合型センサネットワークにおけるデータ収集において、関係データベースにおける基本的な演算である選択、射影、結合を共通スキーマで表現されるデータベースに対して適用できる必要がある。選択、射影を実現するため、選択句、条件句を設ける。選択句では、SQL文のように属性名や定義済み集約関数を指定し、条件句では集約したセンサデータの抽出を行う。ここで、本研究で指定可能な属性名は共通スキーマの属性のみとなる。

各センサネットワークのセンサデータベースに対する結合演算については、利用者が結合演算を意識せず容易に記述することを目指し、以下の3つの句を設ける。まず、センサデータの時空間情報を指定するために、時間句と空間句を設ける。ここで、時間の指定に関しては、開始時刻と終了時刻による範囲指定と時間幅(ウィンドウサイズ)の指定を行えるようにする。また、空間の指定に関しては、センサネットワーク名の指定と長方形領域による空間指定を可能にする。さらに、取得したいセンサ型とデータ属性を指定するため、センサ型句を設ける。センサ型句では、温度センサや湿度センサなどの検索したいセンサ型を指定する。以上の結合演算は、外結合を用いて行う。

属性名の扱いを容易にするため、選択句とセンサ型句、空間句においてエイリアスを定義可能とする。定義したエイリアスはイベント通知句と選択句、条件句で使用できる。条件句においては、エイリアスを用いることで、あるセンサ型に対する条件指定、該当する空間に存在するセンサに対する条件指定を容易に行える。

3.3 モバイルエージェントを用いた複数拠点統合型センサネットワーク

利用者が入力した収集データ記述方式を解析して各センサネットワーク拠点に投入し、セ

```
[ NOTICE ONCE condition ]
[ NOTICE UNTIL condition ]
SELECT [ ALL | DISTINCT ] * | expression [ AS alias ] [, ...]
[ SENSOR TYPE expression [ AS alias ] [, ...] ]
[ { AREA CLUSTER | AREA RECT } expression [ AS alias ] [, ...] ]
[ SPAN start TO end | SPAN Range window ]
[ EVERY second ]
[ WHERE condition [, ...] ]
[ GROUP BY expression [, ...] ]
[ ORDER BY expression [, ...] [ ASC | DESC ] ]
[ LIMIT count ]
```

図 2 STQL 文章の構文概要

ンサデータを収集するといった一連の手順を自動化することで利用者の負担を軽減できる。複数の手順を自動化するには、モバイルエージェントを用いたデータ収集が有効と考えられる。モバイルエージェントは端末を移動するプログラムであり、与えられたプログラムに従って必要なセンサネットワーク拠点に移動し、移動先で処理を実行できる。そこで、本研究では提案方式を筆者らの研究グループで開発しているモバイルエージェントを用いたデータ収集システムに実装する。

4. 実装

本章では、前章の設計方針に基づき実装した収集データ記述方式の実装方法について説明する。実装した収集データ記述方式を STQL (Spatio Temporal Query Language) と呼ぶ。

4.1 収集データ記述方式の構文概要

提案する収集データ記述方式 STQL を用いて記述された STQL 文章の例を図 2 に示す。STQL を直感的に理解しやすくするため、SQL 言語に基づく宣言型として定義した。以下で、提案する収集データ記述方式の構文について説明する。3 章との対応を明確にするため、図 2 の NOTICE 句からの順序ではなく、3 章の設計に合わせた順序で説明する。記述例は後に 4.4 節で紹介する。

4.1.1 時空間およびセンサ情報に関する記述

- SENSOR TYPE 句では、SELECT 句で選択したいセンサ型を列挙して指定する。これは 3.2.3 で設計したセンサの種類に対応する。センサ型にはエイリアスを付加できる。expression の記述については、SQL に準拠しており、ここでは割愛する。SENSOR

TYPE 句を省略した場合、全てのセンサ型を抽出対象とする。

- AREA 句では抽出したいセンサが位置する地理的領域を指定する。これは 3.2.3 で設計した位置の記述に対応する。AREA CLUSTER 句では、抽出したいセンサが存在するセンサネットワーク名を、AREA RECT 句では、長方形領域を二次元座標で指定する。長方形領域は緯度 ± 90 度、経度 ± 180 で指定する。センサネットワーク名を指定した場合、指定したセンサネットワークに所属する全てのセンサが抽出対象となる。長方形領域を指定した場合、領域に存在する全てのセンサネットワークに所属するセンサが抽出対象となる。以上のセンサネットワーク名または長方形領域は連続して指定することができ、複数の市街地といったように抽出を行いたいセンサが分布する地域のみを指定できる。また、AREA 句ではセンサネットワーク名と長方形領域に対してそれぞれエイリアスを定義することができ、後述する WHERE 句において一括した抽出条件の指定を可能にする。なお、AREA 句を省略した場合、全てのセンサネットワークのセンサデータを抽出対象とする。
- SPAN 句では、抽出したいセンサデータの時間領域を指定する。これは 3.2.3 で設計した時間の記述に対応する。SPAN 句の意味は NOTICE 句が指定されているか否かで異なる。NOTICE 句が指定されている場合、現在時刻付近にセンシングされたセンサデータに対する問合せとみなし、SPAN 句には Range パラメータで時間に関するウィンドウサイズ (*window*) を指定する。抽出するセンサデータに関しては、現在時刻 τ から過去に、指定されたウィンドウサイズに含まれる以下の *timestamp* を持つセンサデータが抽出対象となる。

$$0 \leq \tau - \text{sensor.timestamp} < \text{window}$$

一方、NOTICE 句を指定しない場合、過去に蓄積されたセンサデータに対する問合せとみなし、過去から現在の範囲で SPAN 句の時間領域を指定する。SPAN 句を省略した場合、現在から過去 1 時間にセンシングされたセンサデータが抽出対象となる。

4.1.2 データ処理に関する記述

- NOTICE ONCE 句では、指定された *condition* に一致した場合にのみ、SELECT 句以下で抽出したレコードを利用者の元に通知する。expression の記述については、SQL に準拠しており、ここでは割愛する。一方で、NOTICE UNTIL 句では指定された *condition* に一致するまで、SELECT 句以下を抽出し、レコードを取得し続ける。このため、条件に一致している間、利用者にレコードが通知され続ける。NOTICE 句を省略した場合、SELECT 句の問合せが一度だけ実行される。

- SELECT 句では、共通スキーマの属性である表 1 に基づいて指定する。ここで、属性名は以下のように階層的に指定できる。

sensornetworkA.temperature.value

具体的には、AREA 句で指定した領域 *sensornetworkA* を表す文字列またはエイリアスは属性としてセンサ型 *temperature* を持ち、さらにセンサ型の文字列またはエイリアスを介して共通スキーマ属性の一つである *value* を参照できる。センサ型を属性に付加しない場合、SENSOR TYPE 句で指定されたセンサ型に対する属性が選択されるが、指定されたセンサ型が複数の場合はどのセンサ型の属性が特定できないため、解析エラーとなる。以上のような記述方法とすることで、利用者は STQL の条件句においてどのセンサ型かを別途指定せずに条件抽出を行うことができる。

集約処理を行う場合については属性名と共に集約関数を指定し、GROUP BY 句を指定する。SELECT 句で指定した属性リストが最終的なデータ収集結果となるため、SELECT 句を省略できない。

- EVERY 句では、SELECT 句以下を評価する時間的な周期を指定する。ここで、NOTICE 句が指定されている場合については、SPAN 句で指定したウィンドウサイズに基づいて、指定周期毎に集約処理が実行され、NOTICE 句が評価される。NOTICE 句を指定しない場合については、取得したいセンサの時間周期を EVERY 句に指定する。EVERY 句を省略した場合、60 秒毎にセンシングデータを抽出する。
- WHERE 句では、センサを抽出する条件式を AREA 句で列挙した空間領域毎にカンマ区切りで指定する。条件式におけるオペランドには条件抽出を行いたいセンサ型と空間を一挙に指定できるため、AND 演算子を用いてセンサ型を追加で指定する必要がない。

4.2 収集データ記述方式の処理系

図 3 に提案する収集データ記述方式の処理系概要を示す。まず、利用者が記述した STQL 文章がポータルサイトを介して STQL Processor に投入されると、構文解析、意味解析が行われる。解析された結果は STQL 解析情報となる。次に、親モバイルエージェントに STQL 解析情報が送られ、それらの情報に基づいてセンサネットワーク毎に問合せが生成される。各問合せはモバイルエージェントに割り当てられ、属性管理機構を介して複数拠点統合型センサネットワークで実行される。各問合せの結果は再び親モバイルエージェントに集約され、統合される。統合処理の結果をポータルサイトに表示して利用者に問合せ結果を通知する。詳細は次節から説明する。

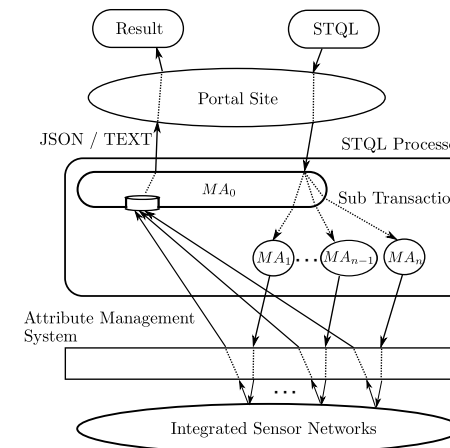


図 3 STQL の処理系

4.2.1 構文解析

STQL 文章が解析器に投入されると構文解析が実行される。提案する収集データ記述方式は LL(1) 文法であるため、LL(1) 構文解析器を用いた。LL(1) は再帰下向き構文解析の一種であり、1 個の字句を先読みすることで複数の生成規則から適する生成規則を決定する。生成規則のチェックに失敗した場合、失敗した位置で構文誤りとなるため、誤りの補正が的確に行える。構文解析に失敗した場合、構文誤りの情報を利用者に通知する。

4.2.2 意味解析

意味解析では、STQL 文章の意味を解析し、後の解析で用いる各句のパラメータやエイリアステーブルなどの情報を収集する。具体的には、記述された STQL で使用可能な識別子名や未定義のエイリアスを検査する。

4.2.3 複数問合せの生成

提案する収集データ記述方式では、センサネットワーク毎の問合せを自動的に生成する。各センサネットワーク拠点で実行することになる SQL 問合せは、SQL 文の WHERE 句について、意味解析で収集した AREA 句、SENSOR TYPE 句、SPAN 句、EVERY 句のパ

```

1 <gateway>
2 <sensornetwork>
3 <nelem name="osakau_sensor1" />
4 <nelem latitude="34.817892" />
5 <nelem longitude="135.521662" />

```

```

6 <nelem sensornumber="27" />
7 <nelem sensingtime="5" />
8 ...
9 <nelem seedipaddress="192.168.1.150:22300" />
10 <nelem ipaddress="192.168.1.172:22369" />
11 <sensors>
12 <selem sensortype="Temperature" unit="degree" converter="-235" attached="true" />
13 <selem sensortype="Humidity" unit="%" converter="5" attached="true" />
14 <selem sensortype="Pressure" unit="" converter="" attached="false" />
15 ...
16 </sensors>
17 </sensornetwork>
18 <database>
19 <delem dbsystem="postgresql" />
20 <delem dbname="xsensor" />
21 <delem table="sensor1" />
22 ...
23 <schema>
24 <attribute default="id" name="id" type="serial primary key" available="true"/>
25 <attribute default="time" name="timestamp" type="timestamp" available="true"/>
26 ...
27 <attribute default="humidity" name="hum" type="double precision" available="true"/>
28 </schema>
29 </database>
30 </gateway>
    
```

図 4 XML ファイルの記述例

ラメータを基に作成する。AREA 句で指定されたパラメータはセンサネットワークの特定に用い、SENSOR TYPE 句でセンサ型の絞り込みを行う。また、SPAN 句と EVERY 句から時間範囲の抽出条件を加える。問合せの結果は図 7 の MA_0 である親モバイルエージェントに集約する。その後、集約されたセンサデータに対して統合処理が行われる。

4.2.4 統合処理

親モバイルエージェントに集約された問合せの結果に対して、STQL 文章の NOTICE 句、SELECT 句に記述された処理を行う。例えば、平均値を計算することや最大値を求めるといった統合処理が考えられる。

4.3 属性管理機構の実装

属性管理機構とは、3.2.2 で設計したセンサデータベースにおける属性の表現形式の違いを吸収する機構である。本研究では、各センサネットワークのセンサデータベースにラップ機構を設けることで複数のセンサネットワークに対する透過的なアクセス機構を実現する。各センサネットワークの管理者は、センサネットワーク情報とそれらに属するセンサのセンサ名、センサのデータ型、単位に関するメタデータを XML ファイルに記述する。図 4 に XML ファイルの記述例を示す。センサネットワーク情報としては、センサネットワーク拠

<pre> SELECT timestamp, AVG(t.value), AVG(h.value) SENSOR TYPE Temperature AS t, Humidity AS h AREA RECT [38.431216+12.0:132.348631-22.5] AS area1, [8.231216+10.0:105.348631+10.0] AS area2 SPAN DATE'2011-01-09_18:00:00' TO DATE'2011-01-11_19:00:00' EVERY second(60) WHERE area1.t.value > 0, area2.t.value > 0 GROUP BY timestamp </pre>	<pre> NOTICE ONCE avg > 40 SELECT sensor_network, AVG(t.value) AS avg SENSOR TYPE Temperature AS t AREA RECT [38.431216+12.0:132.348631-22.5] AS area1 SPAN Range second(60) EVERY minute(2) GROUP BY sensor_network </pre>
--	--

図 5 データ収集例 (a)

図 6 データ収集例 (b)

<pre> SELECT time, temperature, humidity FROM EACH_TABLE_NAME WHERE timestamp >= (timestamp '2011-01-09 18:00:00') AND timestamp <= (timestamp '2011-01-11 19:00:00') AND temperature > 0; </pre>	<pre> SELECT timestamp, temperature FROM EACH_TABLE_NAME WHERE timestamp >= (now() - interval '60 second'); </pre>
--	---

図 7 データ収集例 (a) から生成される SQL 文

図 8 データ収集例 (b) から生成される SQL 文

点の緯度経度情報、IP アドレス、データベースシステム情報、センサ数などが含まれる。また、XML ファイル内でセンサデータベースのスキーマを共通スキーマに対応付ける。モバイルエージェントは、この XML ファイルを用いることで、STQL 文章と各センサネットワークの属性の違いを吸収できる。

4.4 問合せの記述例

図 5 に示すデータ収集例 (a) では、エイリアス area1, area2 で指定された領域に含まれるセンサネットワークにモバイルエージェントが移動し、SPAN 句で指定された時間範囲から温度センサと湿度センサのデータを抽出する STQL 文章である。SPAN 句のセンサ抽出開始時刻である 2011 年 1 月 9 日の 18 時から、EVERY 句で指定された 60 秒間隔でセンサデータが抽出され、共通スキーマに基づいて生成されたデータベースに格納される。格納されたセンサデータは各センサネットワークから集約された重複するセンシング時刻毎に GROUP BY 句でまとめられ、問合せ結果である温度データと湿度データの平均値を利用



図 9 ユーザインタフェース

者に返却する。

図 6 に示すデータ収集例 (b) では、AREA RECT 句で指定された領域に含まれるセンサネットワークにエージェントが移動し、現在時刻から過去 60 秒のウィンドウ範囲に該当する温度センサのデータが抽出される。現在時刻から EVERY 句で指定した周期 2 分毎にセンサデータが抽出され、共通スキーマに基づいて生成されたデータベースに格納される。格納されたセンサデータはそれぞれが属するセンサネットワーク拠点毎に GROUP BY 句によりまとめられ、SELECT 句においてセンサネットワーク毎の温度平均値が求められる。その温度平均値集合の中に 40 度を超える値が検知された場合のみ NOTICE ONCE 句によって問合せ結果が通知される。これらの STQL 文章を解析すると、図 7,8 に示す複数の SQL 文になる。なお、AREA 内には五つのセンサネットワークが存在するため、問合せが五つ生成される。

4.5 X-Sensor 2.0 への実装

センサネットワーク拠点間を移動可能なプログラムであるモバイルエージェントを用いてデータ収集を行う方法がいくつか提案されている⁸⁾⁻¹²⁾。これらのシステムでは、モバイルエージェントがセンサデータに対して処理を行いながら、必要なデータのみ収集することで、通信量を削減しつつ、センサデータを収集する。X-Sensor 2.0¹²⁾ は、筆者らの研究

グループで開発している広域に分布する複数センサネットワークの統合利用システムであり、モバイルエージェントを用いたデータ収集と可視化を支援する。複数拠点統合型センサネットワークを対象としている点が本研究に適しているため、STQL を X-Sensor 2.0 に実装した。X-Sensor 2.0 ではデータ収集に特化したモバイルエージェント開発 API を提供しており、Java プログラムを直接記述してモバイルエージェントを生成する。

4.6 データ収集記述インタフェース

図 9 に複数拠点統合型センサネットワークにおいて収集データを記述するためのユーザインタフェースを示す。入力ボックスに STQL を記述し、実行ボタンを押すと地図上に自動生成されたモバイルエージェントが表示され、データ収集を行える。データ収集が完了すると結果画面がポップアップで表示される。データ収集結果は画面下部に CUI としても出力される。

5. 議 論

5.1 操作性について

データ収集における利用者の操作負担について定性的な議論を行う。従来システムでの複数拠点統合型センサネットワークにおけるデータ収集では、データ収集を行うセンサネットワークの決定、各センサネットワークで SQL 文を入力、センサデータをダウンロード、センサデータに対する処理を行う、など少なくとも 4 段階以上の操作を行う必要があった。一方、提案する収集データ記述方式 STQL を用いることで、センサネットワークの検索は STQL の AREA 句において長方形領域を指定するだけで行えるようになる。また、STQL では各センサネットワークに対する問合せの記述を行う必要がなく、自動的にそれらの問合せを生成することで、利用者によるセンサネットワーク毎のメタデータの考慮と問合せの生成を不要にしている。STQL で集約処理を記述できるため、データが集約された後に改めて集約処理を記述する必要がない。

5.2 提案方式の有効性

STQL の記述に要した単語数は、データ収集例 (a),(b) でそれぞれ 63,41 単語であり、SQL 文を利用した場合の単語数はそれぞれ 274,245 単語であった。SQL 文を用いたデータ収集では、利用者は五つのセンサネットワークに対して SQL 文を発行する。各センサネットワークのスキーマは異なるため、センサネットワーク固有の SQL 文を作成し、問合せる必要があり、データ収集の記述に関して多くの単語数を要した。一方、STQL では属性管理機構を用いることで、入力した STQL 文章から各センサネットワークに対する固有の問合せ

せを生成するため、少ない記述で同様のデータ収集を実現できる。以上から、STQLは少ない単語数で複数センサネットワークからのデータ収集アプリケーションを実現していることが分かる。

本提案システムでは、親モバイルエージェントが集約データベースの作成を行っているが、エージェント数が増加すると各センサネットワークの記憶領域を圧迫してしまう可能性があるため、結果に重複するレコードが少ない場合には必要に応じて結果を削除する必要がある。

6. ま と め

本研究では、複数拠点統合型センサネットワークのための収集データ記述方式の設計と実装を行った。収集データ記述方式 STQL を用いることで、複数拠点統合型センサネットワークにおけるデータ収集時の手順を削減でき、利用者の負担を軽減できる。本研究では、STQL を、筆者らが提案してきた X-Sensor 2.0 に実装し、データ収集に係る手間や通信量に関して議論を行い、有効性を確認した。

今後、同様の処理を行う複数の問合せに関して共有できる部分を発見し、処理を高速化すること等を考えている。

謝 辞

本研究の一部は NICT・大阪大学共同研究「異種広域センサーネットワークの統合管理技術の研究開発および検証」、科学研究費補助金基盤研究 (S)(課題番号: 21220002) の研究助成による成果である。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) K. Aberer, M. Hauswirth, Salehi, A: Infrastructure for Data Processing in Large-Scale Interconnected Sensor Networks, *In Proc. of the 8th International Conference on Mobile Data Management*, pp. 198-205, 2007.
- 2) A. Kansal, S. Nath, J. Liu, and F. Zhao: SenseWeb: An Infrastructure for Shared Sensing, *IEEE MultiMedia*, Vol. 14, No. 4, pp. 8-13, 2007.
- 3) M. Nakayama, S. Matsuura, H. Esaki, and H. Sunahara, "Live E! Project: Sensing the Earth.", *Technologies for Advanced Heterogeneous Networks II*, Vol.4311, pp. 61-74, 2006.
- 4) J. Campbell, P.B. Gibbons, S. Nath, P. Pillai, S. Seshan, and R. Sukthankar: Irisnet: an internet-scale architecture for multimedia sensors, *In Proc. of the 13th*

- annual ACM Intl. Conf. on Multimedia*, pp. 81-88, 2005.
- 5) R. Newton and M. Welsh: Region Streams: Functional Macroprogramming for Sensor Networks, *Proc. 1st Int'l Workshop Data Management for Sensor Networks (DMSN 04)*, ACM Press, pp. 78-87, 2004.
- 6) Brenninkmeijer, C.Y.A., Galpin, I., et al.: A semantics for a query language over sensors, streams and relations, *In BNCOD 2008*, Vol. 5071, pp. 87-99, 2008.
- 7) A. Kanzaki, T. Hara, Y. Ishi, T. Yoshihisa, Y. Teranishi, and S. Shimojo, "X-Sensor: Wireless Sensor Network Testbed Integrating Multiple Networks.", *Wireless Sensor Network Technologies for the Information Explosion Era Studies in Computational Intelligence*, Vol. 278, pp. 249-271, 2010.
- 8) Jinho Ahn: Effective Mechanisms Considering Load Imbalance of Service Replication for Distributed Mobile Agent Systems, *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, Vol. 2, No. 1, pp.123-129, 2009.
- 9) 義久智樹, 神崎映光, 原隆浩, 石芳正, 寺西裕一, 下條真司: 複数拠点統合型センサネットワークのためのモバイルエージェントを用いたデータ収集システム, 電子情報通信学会技術研究報告 (コピキタスセンサネットワーク USN2009-2), pp. 147-151, 2009.
- 10) A.R. Tripathi, D. Kulkarni, H. Talkad, M. Koka, S. Karanth, T.Ahmed, and I. Osipkov: Autonomic Configuration and Recovery in a Mobile Agent-Based Distributed Event Monitoring System, *Software-Practice and Experience*, Vol. 37, No. 5, pp. 493-522, 2007.
- 11) Munehiro Fukuda, Koichi Kashiwagi, and Shinya Kobayashi: AgentTeamwork: Coordinating gridcomputing jobs with mobile agents, *International Journal of Applied Intelligence*, to appear in Special Issue on Agent-Based Grid Computing, 2006.
- 12) 濱口 雄人, 義久 智樹, 石 芳正, 寺西 裕一, 原 隆浩, 西尾 章治郎: 複数拠点統合型センサネットワークにおけるデータ収集用モバイルエージェントの開発支援システム, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2011) シンポジウム論文集, Vol. 2011, No. 1, pp. 1690-1697, 2011.