

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 30 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700072

研究課題名（和文） 広域気象センサ網を対象とした、動的適応可能な地産地消型 P2P ネットワークの構築

研究課題名（英文） Constructing a "local production for local consumption" Dynamic Peer-to-peer Network for Large Scale Sensor Networks

研究代表者

松浦 知史 (MATSUURA Satoshi)

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 特任准教授

研究者番号：00533845

研究成果の概要(和文)：広域に展開するセンサネットワークのデータをマネジメントし、また実際のセンサが展開されている位置情報を考慮しながら配送や計算過程の処理を最適化することが目的である。これらに対応するために位置情報を考慮した P2P ネットワークおよび計算処理機構を持つデータ配送システムを提案した。提案手法により、位置情報を考慮した局所完結的なデータ配送を実現し、また計算処理と組み合わせたデータ提供を行いつつ負荷分散を実現した。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research is to manage large scale sensor data of distributed sensor networks and to optimize transferring / processing sensor data based on geographical locations. I propose a geographical based overlay network and a publish/subscribe system with data processing. The proposed method realizes a "local production for local consumption" data transfer. This method also realizes scalability because of data process divisions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学

キーワード：スマートセンサ情報システム、地理情報システム、ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

当時、ネットワークが世界中に張り巡らされ、高性能で安価になった大量の小型デバイスが次々とネットワークに接続されるようになっていた。既存の広域センサネットワーク構築手法では、運用・管理コストが高く、加えて階層構造を採っているシステムが多く、負荷の一極集中が避けられない。そこで、

自立分散可能なオーバーレイネットワークに注目が集まり、多くの研究が行われていた。しかし、既存のオーバーレイネットワークの多くは1次元の ID 空間を管理しており、緯度・経度・時間・センサの種類といった多くの属性を管理できない。多次元の ID 空間を管理可能な手法も存在はするが、多くの ID 空間を管理する必要があり、検索性能の低下および

び管理コストの増大が問題となる。

このような世界規模で展開するセンサーネットワークから生成されるデータを管理・共有することを目的に、私は地理位置情報とオーバーレイネットワーク技術に着目し、その構築手法の提案および実装・評価を重ねてきていた。

2. 研究の目的

広域に展開するセンサネットワークのデータをマネージメントし、また実際のセンサが展開されている位置情報を考慮し、配送や計算過程の処理を最適化することが目的である。そのために、本研究ではグローバル規模で増加し続けるセンサデータを、動的に生成される地域クラスタ内で管理する。クラスタ内で大部分のデータ生成およびその利用が完結するようにシステムが設計されている。

このような地産地消型のシステムを採用することで、データの転送コストが最適化され、検索効率の向上だけでなく計算過程など別のコスト削減効果も期待できる。また、これらクラスタ間は P2P ネットワークにより繋がる事で、局所最適を実現しつつ、全領域に対するデータアクセスも可能にしている。

この仕組みによって、グローバル規模でのセンサデータの共有およびユーザからの複雑な検索(分散環境での積集合検索)を可能とすることで、環境問題、省電力化、教育やビジネスなど幅広い分野において、新しいアプリケーションの開発が期待できる。

3. 研究の方法

これまで個人の研究過程においては、緯度・経度といった地理位置に関わる複数の属性を地理的特性を考慮しながら1次元に変換し、ID空間を管理する手法を提案した。この手法を利用し、既存のオーバーレイネットワークの長所を取り入れながら、マルチスケールでの矩形領域検索(地理的な検索)をサポートしたオーバーレイネットワークを実装・評価している。

気象センサなどのセンサ類は固定式の物が多く、自動車などの移動体センサにおいても生活周期に合わせて一定の地域内で移動することが殆どである。また、ユーザが利用するデータもユーザが存在する(存在する予定の)位置との関連性が高い。このようなセンサと地理位置との関係を考慮することで、上記オーバーレイネットワーク上に動的に地域ごとのクラスタを形成することが可能となる。このクラスタ内でデータをやり取りす

ることで、既存の問題点を解決しつつ、広域センサネットワークにおけるデータ共有が可能となる。

またこれは研究を進めることでより一層重要な問題と認識された事であるが、ユーザのクエリに応じてセンサデータを返す場合にまず着目すべき点は、リアルタイム性とデータ処理のスケーラビリティである。センサデータは一般的に時間経過によって価値が急速に低下する傾向を持つため、イベント駆動型のデータ配信機構を用意しリアルタイム性を確保する方針を採用した。一方でデータ配信時にユーザのクエリの偏りに寄ってデータ処理部分に負荷集中が生じ、システムが機能しなくなる可能性がある。この問題点を解決するためにデータ処理過程を動的に分割し、複数のノードで分割し処理を実行可能となるようデータ処理フォーマットを定義した。これらの設計をもとにプロトタイプシステムを実装し、評価実験を行った。

4. 研究成果

センサデータのリアルタイム配送において、ユーザの要求に合わせてセンサデータを収集・加工し提供することが望ましい。このデータの収集・加工部分に関してはこれまでの研究を応用することで概ね対応することが可能であった。ただ前章でも示したように、データ加工の柔軟性を確保するために配送経路内で計算処理を行うと、その部分がボトルネックとなり、サービスの安定提供やシステム自体の安定性に悪影響を及ぼしてしまう。そのために、センサデータ配送過程における計算処理機構を導入すると同時に、その計算処理過程の分割を行い、ボトルネックを解消するシステムが必要となる(図1)。

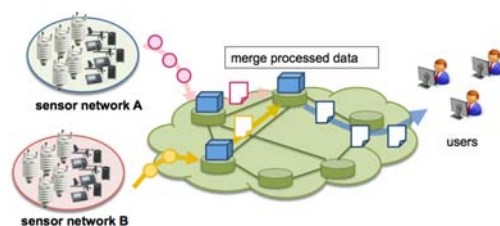


図1：計算処理過程を組み込んだデータ配送システム

そこでまず、サービスのユースケースを整理し、そこで利用されるセンサデータ(データの種類やID、位置情報の取り扱い方など)や計算処理(計算の組み合わせ方法や繰り返し、実行時間の設定方法など)を表現するフォーマットを作成した(図2)

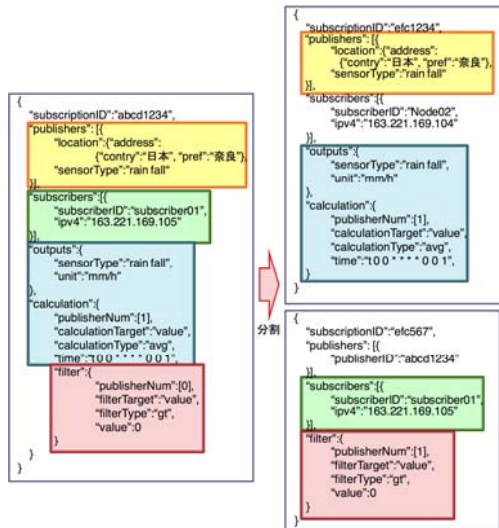


図 2 : センサデータ取得フォーマットと分割

このフォーマットでは基本的な計算(四則演算や min, max 等)とフィルタリングを特定のセンサデータに適用できるようにしており、これら計算やフィルタリングの順番に沿って数珠つなぎに記述することが可能となっている。センサを特定する部分や先の数珠つなぎの部分分割することで、途中の計算過程がそれに合わせて分割されるようになっている。センサデータを配送する途中のノード(計算機)は割り当てられた計算負荷が増加すると図 1 の例のようにフォーマットを分割し、他のノードへ一部を割り当てることで負荷分散を図ることが出来る。

またこのフォーマットを元に設計を行い、プロトタイプシステムの実装を行った。実装の目的は実機上でセンサデータ配送時における計算処理およびその分割時のパフォーマンスを計測するためである。図 3, 図 4 にその計測結果を示す。

図 3 はセンサデータの生成頻度を段階的に増加させ、それを 2 分岐ツリーのノードトポロジーで処理させたときのトラフィック量を計測している。分割数が多いほど 1 ノード辺りが処理すべきトラフィック量は減り、ほぼ線形の関係になっている。この傾向は CPU 負荷でも同様に得られた。この事は実装したシステムが設計通りに動いている事を示すと共に、負荷集中が発生した際に計算過程を分割することでピークを抑えることが出来、適切な再配置を実現することでスケラビリティを確保することが出来ることを示している。またセンサデータの様な非常に小さいデータを大量に扱う場合は IO(特にネットワーク IO)の負荷が支配的である事を改めて確認した。この事はノードトポロジーの最適

化においてこの指標に置いて決定することがシンプルな解法になり得る事を示唆している。

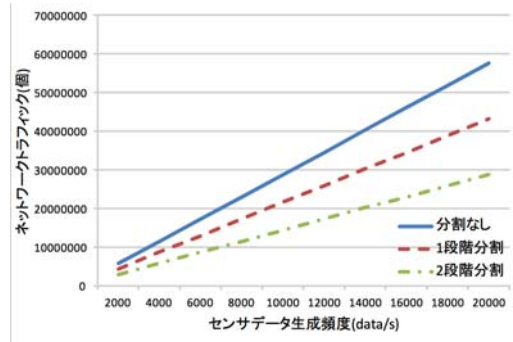


図 3 : 計算過程の分割数とトラフィック量

図 4 は計算過程を分割し、他のノードに計算過程を半分委譲した場合の CPU 負荷を示している。ここでは特定地域に存在するセンサ群が時間の経過と共にデータの生成頻度を増加させているというシナリオを想定している。ノード 1 は最初全域の特定地域全域のデータを収集し、データの加工および再配信を行っていたが、負荷が 50%を越えたところでノード 2 に半分の領域を委譲し負荷分散を図っている。切り替え時にはノード内で計算を実行させるためのリソース確保(メモリ領域の確保やスレッドの生成など)が必要となり、ノード 2 の負荷が若干高めになっている事が分かる。しかしシステム自体を不安定にさせるほどでは無く、すぐに安定して計算処理を継続出来ていることが図 4 に示されている。

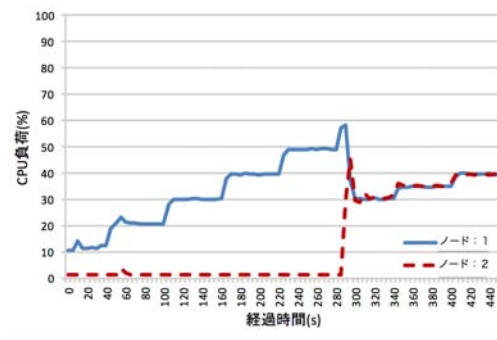


図 4 : 計算過程の分割時における CPU 負荷の変化

本研究で設計したプロトタイプ実装を評価し、分割機構が負荷集中を抑え、複数ノードが協調してセンサデータの配送およびデータ処理可能であることを確認した。また根本的なスケラビリティに関する問題に取り組むため、位置情報を考慮したオーバーレイネットワーク上に本システムを組み込む研究開発も平行して行った。具体的には分散モ

バイルエージェント環境を提供する PIAX 上で本設計を実装し、動作確認まで行った。また、地理位置情報を考慮したオーバーレイネットワーク上でセンサデータを効率的に扱うデータ複製手法についても検討を重ね、エミュレーションによる評価を行った。

これらの成果によって、課題を達成するだけで無く、分散データ配信機構と P2P ネットワークの組み合わせが広域センサネットワークにおいて有効であることを示した。これらの成果は国際会議を中心に書籍等でも発表を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 砂原 秀樹, 松浦 知史, インターネット技術を活用したセンサネットワーク(解説記事), 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 3, pp40-43, 2010, 査読有り

2. 洞井 晋一, 松浦 知史, 藤川 和利, 砂原 秀樹, 時間に基づく階層化と Value の集約配置手法による耐 Churn オーバレイネットワーク, 情報処理学会 論文誌, Vol. 51 No. 4, pp. 1142-1151, 2010, 査読有り

[学会発表] (計 9 件)

1. 宮城亮太, 松浦知史, 野口悟, 猪俣敦夫, 藤川和利, 配送過程における計算処理と地理的分散処理を考慮した大規模センサネットワークのための Pub/Sub システム, 電子情報通信学会 IA 研究会, 2012. 03. 16, 北海道札幌市

2. 布引佑来, 松浦知史, 猪俣敦夫, 藤川和利, 屋内位置情報サービス提供システムにおける位置情報を考慮した負荷分散手法の提案と評価, 電子情報通信学会 IA 研究会, 2012. 03. 16, 北海道札幌市

3. 和田倫和, 松浦知史, 野口悟, 猪俣敦夫, 藤川和利, コンテンツ人気遷移に追従する地理情報を用いた P2P クエリ処理最適化手法の提案と評価, 電子情報通信学会 IA 研究会, 2012. 02. 24, 東京都港区

4. 松高聡史, 松浦知史, 猪俣敦夫, 藤川和利, DTN 環境を考慮したセンサネットワークからの収集率に応じたセンサデータ収集手法の提案と評価, 電子情報通信学会 IA 研究会, 2012. 02. 24, 東京都港区

5. 神田景太, 松浦知史, 猪俣敦夫, 藤川和利, データストリームマネジメントシステムにおける映像ストリーム分割手法の提案と評価, 電子情報通信学会 IA 研究会, 2012. 02. 24, 東京都港区

6. Hideya Ochiai, Kenji Matsuo, Satoshi Matsuura, Hiroshi Esaki, A Case Study of UTMesh: Design and Impact of Real World Experiments with Wi-Fi and Bluetooth Devices, SAINT 2011 workshops on EUCASS, 2011. 07. 21, Munich, Germany

7. Satoshi Matsuura, Ryota Miyagi, Satoru Noguchi, Hideya Ochiai, Kazutoshi Fujikawa, Hideki Sunahara, A method of sensor data processing on large scale publish/subscribe systems (invited talk), ICET2011, 2011. 05. 03, Phuket, Thailand

8. Satoshi Matsuura, Hideya Ochiai, Shingo Kimura, Kazutoshi Fujikawa, Hideki Sunahara, A Large Scale Content-Based Network Considering Publish/Process/Subscribe, Globecom 2010 workshops on ASIT, 2010. 12. 10, Miami, USA

9. 松尾 健司, 松浦 知史, 竹内 享, 寺西裕一, 藤川 和利, 砂原 秀樹, DTN 環境を考慮した高密度センサネットワークに対するセンサデータ抽出手法の提案, 電子情報通信学会 IA 研究会, 2010. 12. 17, 東京都港区

[図書] (計 2 件)

1. Masato Yamanouchi, Ryota Miyagi, Satoshi Matsuura, Kazutoshi Fujikawa, Hideki Sunahara, F. Borko et al. (Eds.): Handbook of Data Intensive Computing, chap. 30, pp. 753-776, Springer, 2011

2. Satoshi Matsuura, Kazutoshi Fujikawa, Hideki Sunahara, WSN Technologies for the information Explosion Era), SCI 278(T. Hara et al. Eds.), pp. 231-247, Springer, 2010

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 知史 (MATSUURA Satoshi)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・特任准教授

研究者番号: 00533845