

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700068

研究課題名(和文)リアルタイムな広域環境モニタリングを可能にするPub/Subシステム

研究課題名(英文)Distributed Pub/Sub system enabling real-time large scale monitoring

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：大量に発生するセンサデータをリアルタイムでユーザに届けるために、in-network-processingの機能を備えたPublish/Subscribeシステムを提供する事が研究の目的である。そのためには配送過程における負荷分散、スケーラビリティの確保、リアルタイム性の確保が大きな課題となっている。配送過程における負荷分散を実現するために三段の木構造を基礎としたトポロジーを動的に構築し、その中でsubscriptionの分割再配置を行う手法を提案および評価し、先に挙げた課題の解決に貢献した。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research is to develop a distributed Publish/Subscribe system with in-network-processing enabling real-time large scale monitoring. To do so, load-balance, scalability, real-time distribution are should be overcome. I adopt three layered topology as distribution paths and also propose a method of subscription division. This topology is useful to realize load-balance of costs from in-network-processing with subscription divisions.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 計算機システム・ネットワーク

キーワード：スマートセンサ情報システム

### 1. 研究開始当初の背景

当時、インターネットの普及に加えて無線ネットワーク技術の向上や多種多様な小型センサデバイスの登場により、多くの環境情報が広域で取得可能な状況が整いつつあった。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。またこれらのシステムでは一度データをストアしてからユーザの要求に応じてデータを提供する PULL 型のためにリアルタイム性でも劣る部分がある。そこで、多くの中継ノードが協調して PUSH 型のデータ配送を実現する Publish/Subscribe(Pub/Sub)システムに注目が集まり、研究が行われていた。しかし、既存の Pub/Sub システムの多くはユーザからのリクエストをブロードキャストする形でルーティングを行い、またノードの情報に関してもブロードキャストを使って全てのノードが全てのノード情報を事前に知る必要があるシステムを採用している。そのために広域センサネットワークのデータを扱うために規模性に加えて、リアルタイム性を持ったデータ配信可能なシステムが求められていた。

### 2. 研究の目的

広域で常時発生する大量かつ多種多様なセンサデータを扱うにあたり、規模性に加えてリアルタイムにデータを配信できるシステムを構築する事が目的である。また、データを配信するだけでなく配送過程においてデータを集約し処理を施した上でユーザに配信することも目的としている。配送過程におけるデータ処理を実現することで、これまではユーザの手元まで配信していたデータをシステム側で処理することが可能となる。この事でユーザに集中していたデータ処理を緩和するだけでなく、システム側でもデータの転送量が削減され、システム負荷を低減させる事にも効果も予想される。また、処理過程の共有や二次利用が促進されれば、一層の負荷低減やより価値の高い情報の抽出なども期待出来る。

### 3. 研究の方法

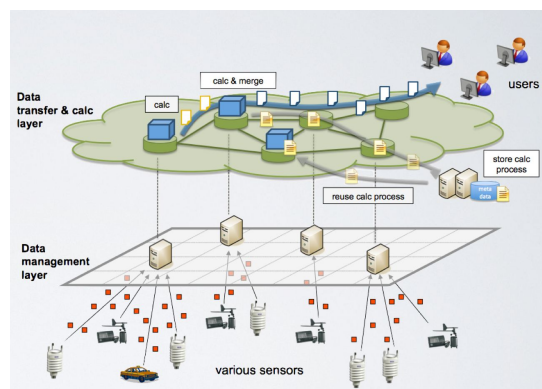
大量に発生するセンサデータをリアルタイムでユーザに届けるために、in-network-processing の機能を備えた Publish/Subscribe システムの研究開発を行った。配送過程における負荷分散、スケーラビリティの確保、リアルタイム性の確保が大きな課題となっている。これまで個人の研究過程においては、緯度・経度といった地理位置に関わる複数の属性を地理的特性を考慮しながら 1 次元に変換し、ID 空間を管理する手法を提案した。この手法を利用し、既存のオーバーレイネットワークの長所を取り入れながら、マルチスケールでの矩形領域検索

(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。このオーバーレイネットワーク上に Pub/Sub システムを実現することで規模性を備えたデータ配送システムを実現した。

配送過程におけるデータ処理はユーザから複雑な要求を受け付けることを可能とし、システム側のデータ配送コストを下げる効果もある。一方でデータ処理を行うノードには大量の一次情報が集中し、加えてデータ処理も行う必要があり、様々な負荷が集中してしまう。そのために配送過程におけるデータ処理の負荷分散が必須となる。配送過程における負荷分散を実現するために三段の木構造を基礎としたトポロジーを動的に構築し、その中で subscription の分割再配置を行う手法を提案した。また提案手法の実装・評価を行い、負荷分散の効果等を評価した。

### 4. 研究成果

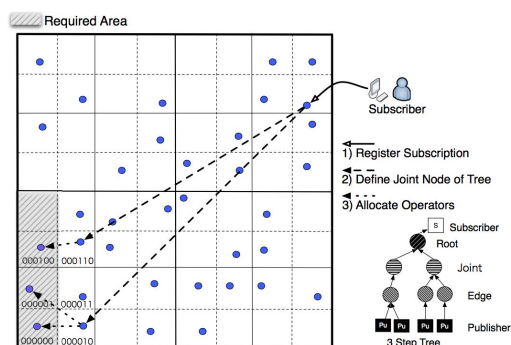
広域センサネットワークから大量に発生するセンサデータをリアルタイムにユーザに届けるために、これまで研究開発に取り組んできた地理位置を考慮したオーバーレイネットワーク上に Pub/Sub システムを構築することにした。その為に Pub/Sub システムを構成するノードにオーバーレイネットワークの論理空間で通信が可能となるように設計および実装・評価を行った。システムの全体像は図 1 に示すような構造になっている。提案するオーバーレイネットワークを利用することで地理位置に関わる情報を扱え、また規模性も担保される。加えて Pub/Sub システムの持つイベント駆動型のデータ配信機構がリアルタイム性を持った配信に効果をもたらすことが可能である。



[図 1 : システムの全体像]

また、subscription にはフィルタールールだけでなく簡単な四則演算を記述できるように定義づけを行い、合わせてその実行エンジンを配送ノードの機能の一部として組み込んだ。この事により、in-network-processing 機能を持った地理分散可能な Pub/Sub システムを実現した。3. 研究の方法で記したよう

に、配送過程におけるデータ処理はユーザから複雑な要求を受け付けることを可能とし、システム側のデータ配送コストを下げる効果もある。一方でデータ処理を行うノードには大量の一次情報が集中し、加えてデータ処理も行う必要があり、様々な負荷が集中してしまう。そのために配送過程におけるデータ処理の負荷分散が必須となる。配送過程における負荷分散を実現するために三段の木構造を基礎としたトポロジを動的に構築し、その中で subscription の分割再配置を行う手法を提案した(図2)。

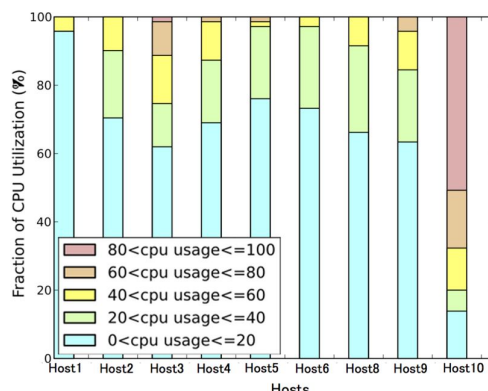


[図2：三段木構成のデータ配送]

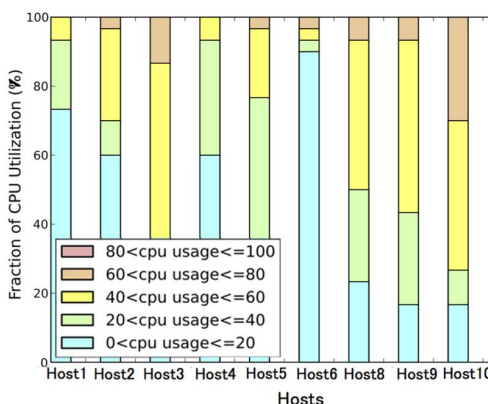
この三段木はデータを受け取る処理ノード(Edge ノード)と受け取ったデータを処理するJoint ノード(Filter/Calculationオペレータを実行するノード)およびデータをまとめユーザに届けるRoot ノードから構成される。Publish/Subscribe システムにおいて、Edge ノードに近い位置でデータを廃棄することがパフォーマンス向上に効果的であると知られている。なぜならば、データ発生源に近い所でデータを廃棄できるので、配送コストが低減するためである。加えて、平均等のデータ処理はデータ量を大幅に低減することが可能である。上記のデータ受信、データの廃棄や計算によるデータ量の削減を提案システムでは三段木の三段目の層(下層)と二段目の層(中間層)で行い、一段目の層(上層)のRoot ノードがデータの集約しユーザにデータを届ける。三段木の構成は常に最適な配送経路を取れるわけでは無いが、Publish/Subscribe システムにおけるデータ配送が考慮されており、またトポロジが単純で高負荷時の経路変更も行いやすいため、多くのシナリオで高いパフォーマンスが得られることが期待される。三段木の構成が多くの場合で高いパフォーマンスを示すことをシミュレーションで確認した。

評価は全国規模でオーバーレイネットワークを構築しているテストベッドであるPIAX上で行った(図3、図4)。図3のグラフは三段木のトポロジを利用しない場合の負荷の分布を表している。また図4は三段木のトポロジを利用しSubscriptionの再配置を

行った場合の負荷の分布を表している。提案手法を用いることで負荷分散が促進され、安定したサービスの継続を実現できた。



[図3：各ノードの負荷分布(提案手法無し)]



[図4：各ノードの負荷分布(提案手法あり)]

札幌、東京、京都、大阪などを結び実環境に近いネットワークや計算機環境を利用する事で、アルゴリズムの特性からだけでは発見しにくい実環境特有の問題(知見)も得られた。実装・評価を重ね、これら研究成果を論文誌や国際会議等に発表した。

## 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. 福井達也, 松浦正尚, 松浦知史, 猪俣敦夫, 藤川和利: "処理の動的分割再配置により負荷分散を実現する Publish/Subscribe システム", 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 1, pp. 289--299, Jan, 2014, 査読有り

2. Satoru NOGUCHI, Satoshi MATSUURA, Atsuo INOMATA, Kazutoshi FUJIKAWA, Hideki SUNAHARA: "Wide-Area Publish/Subscribe Mobile Resource Discovery Based on IPv6 GeoNetworking", IEICE Transaction on Communication, Vol. Vol. E96-B, No. 7, pp. 170

6--1715, Jul, 2013, 査読有り

〔学会発表〕(計9件)

1. 松浦正尚, 松浦知史, 猪俣敦夫, 藤川和利: "メッセージ保証機構を備えた分散 Publish/Subscribe システム", 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会信学技報, 2014-01-31, 東京都港区

2. 畑中健作, 松浦知史, 猪俣敦夫, 藤川和利: "災害救助活動を想定したメッセージフェリーの動的経路決定手法", 電子情報通信学会モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (MoNA) 予稿集, Vol. MoNA2013, No.50, pp.7--12, Jan, 2014-01-23, 愛媛県松山市

3. Yohei Kanemaru, Satoshi Matsuura, Masatoshi Kakiuchi, Satoru Noguchi, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa: "Vehicle Clustering Algorithm for Sharing Information on Traffic Congestion", 2013 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST 2013), pp.38-43, 2013-11-05, Tampere, Finland

4. Tsubasa Teramoto, Satoshi Matsuura, Masatoshi Kakiuchi, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa: "Location Tracking Prevention with Dummy Messages for Vehicular Communications", 2013 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST 2013), pp.56--61, 2013-11-05 Tampere, Finland

5. Masanao Matsuura, Satoshi Matsuura, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa: "Adaptation of Storm to Large Scale Distributed Publish/Subscribe System", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02013) シンポジウム予稿集, pp.2128--2132, 2013-07-11, 北海道河東郡

6. Tatsuya Fukui, Satoshi Matsuura, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa: "A Two-tier Overlay Publish/Subscribe System for Sensor Data Stream Using Geographic Based Load Balancing", SMPE 2013, 2013-03-27, Barcelona, Spain,

7. Ryota Miyagi, Satoshi Matsuura, Satoru Noguchi, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa: A Divide and Merge Method for Sensor Data Processing on Large-Scale Publish/Subscribe Systems. SAINT 2012, pages 424-429, 2012-07-16, Izmir, TURKEY

8. Satoru Noguchi, Satoshi Matsuura, Kazutoshi Fujikawa: "Performance analysis of mobile Publish-Subscribe service

discovery on IPv6 over GeoNetworking", The Third International Workshop on Mobility Modeling and Performance Evaluation (MoMoPE 2012), 2012-07-06, Palermo, Italy

9. 福井達也, 野口悟, 松浦知史, 猪俣敦夫, 藤川和利: "処理分割機構を備えたセンサネットワークのための Publish/Subscribe システムの配送トポロジ構築とオペレータ配置に関する調査", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02012) シンポジウム予稿集, No.4A-4, 2012-07-05, 加賀市, 石川県

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