

スキップグラフを用いた スケーラブルなセンサデータ収集システムの検討

川上 朋也^{1,2} 石 芳正² 義久 智樹² 寺西 裕一^{3,2}

概要: 本研究では, Skip Graph を用いた周期的なセンサデータ収集システムについて検討する. 一般的にセンサデータは一定の周期で定期的に生成され, 発信者 (publisher) によって発信される. 一方, 収集者 (subscriber) は自身の処理性能やセンサデータの用途などによって, 要求するセンサデータの周期が異なる. 検討システムでは, 構造化オーバーレイネットワークの Skip Graph をセンサデータの種類 (topic) と周期の組合せに基づいて構築し, 複数の publisher からのセンサデータを topic や周期に基づいて集約しつつ収集する. センサデータを集約しながら転送することで, 多くの publisher が存在する環境でも各ノードの瞬間的な送受信数を減らし, 通信負荷の最大値を低く抑えられる.

1. はじめに

スマートフォン, センサー, ウェアラブルデバイスなど, さまざまな「モノ」がインターネットへ接続する Internet of Things (IoT) の実現に対する期待が高まっている [1]. IoT 環境における ICT サービスでは, 実世界で起きる事象 (イベント) にリアルタイムに対応するイベントドリブンなサービスとなることが期待されている. そうしたサービスを構成するためのメッセージ交換機構として, 非同期かつオンデマンドでの情報配信が可能な pub/sub メッセージングが広く用いられるようになってきた. IoT におけるイベント配信機能としては, MQTT [2] や AMQP [3] などの topic-base pub/sub (TBPS) が広く用いられつつある.

IoT においては, しばしばセンサーデータの広域的な収集が行われる. TBPS では, メッセージは「トピック」を通じてデータ交換がなされるが, センサーデータ収集を行う IoT のアプリケーションでは, センサーが, センサーデータの種別をトピックとして指定してデータを発行 (publish) し, センサーデータ収集を行うアプリケーションが, 必要なセンサーデータの種別に対応するトピックを購読 (subscribe) する.

一方, センサーから発信されるデータは, センサーの性

能・設定や, 観測する対象に応じて異なる周期を持つことになると考えられる. 例えば, 「東京都の温度」というトピックで収集がなされたとき, 温度センサーの性能や設定によっては, 1分に1回, 10分に1回といった異なる周期で観測・発信されるデータが対象となる. また, 「東京都の気象センサーデータ」というトピックで異なるセンサーを統合した収集を行う場合, 温度センサーは10分に1回, 風力センサーは10秒に1回などのように, 観測対象によって異なる周期のデータが対象となる.

広域にある大量のセンサーを対象とするセンサーデータ収集では, subscriber は大量のセンサーデータを受信することになる. したがって, データ受信のためのネットワークプロセスの負荷や, ネットワークトラフィック量をできる限り削減する必要がある. ネットワークプロセスの負荷は, ネットワークセッション (例えば, TCP コネクション) の数, すなわち, データを送信する経路の数に応じて決まる. ネットワークトラフィック量は, ネットワークを流れるパケット数を指す. 例えば, 同じネットワークセッション上を2つの異なるメッセージを送信する必要があるとき, 2つを1つのメッセージにまとめて送信できれば, パケット数は削減される. したがって, データ収集にかかる経路数, メッセージ数を削減する必要がある.

TBPS の一つである ROS Pub/Sub [4] は, あるトピックへの subscriber と publisher が存在するとき, publisher の間で, 直接ネットワークセッションを確立する. この方法では, ある topic に対する publisher が大量に存在するとき, ひとつの subscriber に対するデータ転送が同時に行われると, ネットワークセッションの数が publisher の数

¹ 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

² 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University

³ 国立研究開発法人情報通信研究開発機構
National Institute of Information and Communications Technology

だけ必要となってしまふ。

ひとつのノードに対するデータ転送のネットワークセッションの数を削減し、TBPSを構成する方法として、オーバーレイネットワークによる方法が多数提案されている [5], [6], [7]。それらのうち、Skip Graph [8] を用いた pub/sub の実現方法である [7] は、subscriber が不在の場合に不要なネットワークトラフィックを削減でき、IoT に適した方法として提案されている。しかし、[7] の方法では、それぞれの publisher が自律的に配信を実行するため、publisher が多数存在し、独自の周期でデータを配信する場合、同じ周期のデータであっても、異なるメッセージとして送信せざるを得ず、メッセージ数は増大する。

そこで本研究では、[7] と同様の Skip Graph を用いた TBPS のためのオーバーレイをベースとし、大量の publisher が存在する状況のもと、周期的に発信されるデータをできる限り集約し、メッセージ数を削減したデータ収集を可能とするスケーラブルなセンサーデータ収集法を検討する。

2. Skip Graph を用いた周期的なセンサーデータ収集システム

2.1 Skip Graph

本研究では、[7] と同様に Skip Graph を用いた TBPS のためのオーバーレイを用いることを検討するため、以下ではまず、ベースとなる Skip Graph について概要を述べる。Skip Graph [8] は、skip list を P2P モデルに適用したオーバーレイネットワークである。Skip Graph の構造を図1に示す。図1において、正方形はピア（ノード）のルーティングテーブルのエントリを表し、中の数字はエントリのキー値を表す。ピアはキー値順に並んでおり、各ピア間は双方向にリンクしている。エントリの下にある数字は membership vector と呼ばれるエントリ生成時に割り当てられる整数値である。ピアは各エントリに対応しており、membership vector が一つのピアに対応している。各エントリは、複数のレベルでエントリ間をつなぐリストに属する。エントリが各レベルで属するリストは membership vector によって決まる。Skip Graph では、単一キーを検索する場合、上位レベルから下位レベルへとクエリの転送先に適したピアを探索することで行われていく。これは、上位レベルでのルーティングの方が下位レベルのそれと比べて検索キーに近づく距離が大きく、より効率的に検索が行えるためである。範囲検索を行う場合には、各ピアはクエリの届いたレベルから隣接ピアのうち検索キーを超えないピアを探す。該当するピアが見つかった場合はそのピアにクエリを転送する。該当するピアが見つからない場合は、1 つレベルを下げ、再び隣接ピアで該当するピアを探す。N をピア数とすると、キーの検索におけるホップ数は $O(\log N)$ であり、各ノードが持つリンク数は平均 $\log N$ となる。

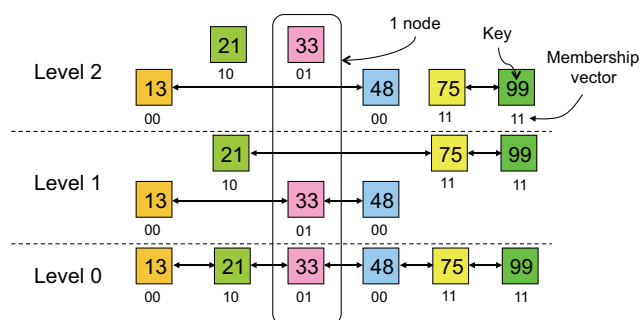


図1 Skip Graph
Fig. 1 Skipt Graph

2.2 PUSH による収集方法

文献 [7] は、Skip Graph をベースとした分散 TBPS 方式である。この方法は、同一トピックに対する publisher と subscriber にあたるノード群が隣接して配置される Skip Graph 構造がオーバーレイとして構築される。各ノードは、トピックおよびノード識別子を、Skip Graph のキーとしてオーバーレイを構築する。Skip Graph がベースであるため、publisher と subscriber の数の合計を M としたとき、各ノードが持つオーバーレイのリンク数は、平均 $\log M$ となる。したがって、データ転送のネットワークセッションの数を、トピックに関するノード数に対し、対数オーダーに抑えて TBPS を構成することができる。

この方法では、各センサーが自律的に配信を実行する publisher となる。すなわち、データの発信側が契機となってデータが subscriber へ送信される。いわば、PUSH 型の収集方法である。

この方法では、publisher が多数存在し、それぞれが独自の周期でデータを配信する場合、同じ周期のデータであっても、異なるメッセージとして送信せざるを得ず、メッセージ数が増大してしまう。

2.3 PULL による収集方法

文献 [7] は、の分散 TBPS 方式において、データの収集側が契機となって、データを収集する方法 (PULL と呼ぶ) も考えられる。たとえば、subscriber の一つが一定周期で Skip Graph 上の範囲検索を用いて同じトピックを持つ publisher を検索し、観測データを収集したのち、他の publisher に送信すれば良い。Skip Graph 上で範囲検索をスケーラブルに行う方法として SFB [9] がある。SFB では、検索条件に合致する範囲にあるノードが持つデータを、木構造で集約しながら収集する。PULL では、ノードあたりのメッセージ数は 2 に抑えることができ、検索と収集に必要なトラフィックの総量の平均は、 $2M$ となる。

しかし、この方法では、subscriber が収集周期を決定しなければならない。すなわち、細かい周期で発信しているセンサーによるセンサーデータが存在するにもかかわらず収集されない状況や、収集周期が長いにもかかわらず、短

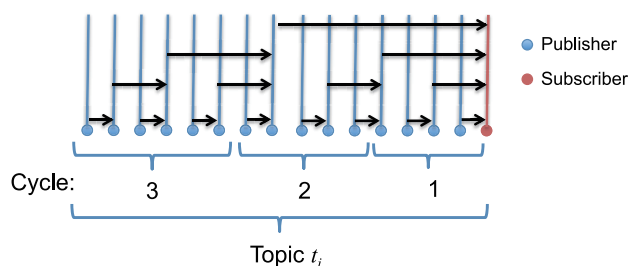


図 2 時刻 6 における topic t_i に関する転送経路
Fig. 2 Forwarding paths about topic t_i at time 6

い周期で収集してしまい、同一の冗長な結果が収集されてしまう状況が生じ得る。

2.4 集約しながら PUSH する方法

上記の課題を解決するセンサーデータ収集手法として、各 publisher がセンサーデータを PUSH で、かつ、周期ごとに集約しながら、subscriber へ転送する方法を提案する。具体的には、Skip Graph において、同じトピックで publish するノード群が、発信頻度が高いほど subscriber に近い位置に並ぶよう、キーをトピック、発信頻度 (周期)、ノード識別子の組とする。publisher から subscriber に対してセンサーデータを送信する際、 k ホップ目に、レベル $k-1$ 以下、かつ、subscriber のキーを超えない最大値のキーを持つノードへのリンクを用いる。また、他のノードから受信したデータと、自ノードが発信するデータを集約し、一つのメッセージとして送信する。図 2 は、提案手法によるセンサーデータ収集の例を示している。

提案手法は、センサーデータを集約しながら PUSH により転送するため、メッセージ数を削減しつつ、センサーが持つ観測・配信周期でデータを集約することが可能となると考えられる。

3. まとめ

本研究では、Skip Graph を用いたスケーラブルなセンサーデータ収集システムについて検討し、提案手法として、トピックと発信頻度に基づいてオーバーレイネットワークを構築し、複数の publisher からのセンサーデータを期に基づいて集約しつつ収集する手法を検討した。今後、シミュレーションおよび実装による提案手法の評価を行っていく予定である。

謝辞

本研究の一部は、NICT・大阪大学共同研究「大規模分散コンピューティングのための高機能ネットワークプラットフォーム技術の研究開発」および、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE)「放送通信融合環境による次世代モバイルビデオオンデマンド配信の研究開発」による成果である。

参考文献

- [1] S. Hodges, et al., Prototyping Connected Devices for the Internet of Things, *IEEE Computer*, pp. 26–34, 2013.
- [2] MQTT Version 3.1.1, <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.pdf> (accessed Jul. 31, 2015).
- [3] Advanced Message Queuing Protocol, <http://www.amqp.org> (accessed Jul. 31, 2015).
- [4] ROS, <http://www.ros.org/> (accessed Jul. 31, 2015).
- [5] M. Castro, et al., SCRIBE: A Large-scale and Decentralized Application-Level Multicast Infrastructure, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 8, 2002.
- [6] S.Q. Zhuang, et al., Bayeux : An Architecture for Scalable and Fault-tolerant Wide-area Data Dissemination, in *Proc. International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video*, 2001.
- [7] R. Banno, et al., Designing Overlay Networks for Handling Exhaust Data in a Distributed Topic-based Pub/Sub Architecture, *Journal of Information Processing*, Vol.23, No.2, 2015.
- [8] J. Aspnes, G. Shah, Skip Graphs, *ACM Transactions on Algorithms (TALG)*, vol. 3, no. 4, 2007.
- [9] R. Banno, et al., SFB: A Scalable Method for Handling Range Queries on Skip Graphs, *IEICE Communications Express*, Vol. 4, No. 1, 2015.