

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：34304

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00143

研究課題名（和文）複数ドメインにまたがる下位層を考慮したPub/Sub基盤の研究

研究課題名（英文）A research on multi-domain Pub/Sub Infrastructure considering under-layer structure

研究代表者

秋山 豊和（AKIYAMA, Toyokazu）

京都産業大学・情報理工学部・教授

研究者番号：80324862

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：IoTアプリケーションのトラフィック量増加に対応する上で、スケーラブルなメッセージ通信基盤の構築が求められている。CDN同様、Pub/Sub基盤を広域に実現するためには、多数のBroker間通信のオーバーレイネットワークによる負荷分散に加えて、双方向性を考慮したネットワークの最適化が必要となる。本研究では、下位層の情報を考慮した効率的な経路制御方式を、複数の管理ドメインにまたがって展開する方式と、該当技術の標準プロトコルへの対応を実現した。さらに、IoTアプリケーションのデータ処理基盤であるDataflow platformに適用するためのオーバーレイネットワーク上の配送手法を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した複数の管理ドメイン間をまたがって効率的な通信が実現可能なPub/Sub基盤は、センサやアクチュエータが配備されるネットワーク、通信事業者が管理する局舎ネットワーク、クラウド事業者が管理するデータセンタネットワークなど、広域なネットワーク階層にまたがって展開されるIoTアプリケーションのデータ処理において、下位層のネットワーク構成を考慮して適切なノードにデータを転送し、効率的なデータ処理を実現するための通信基盤として活用できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In order to cope with the increase in the traffic of IoT applications, it is required to build a scalable message communication infrastructure. As with the CDN, in order to realize the Pub / Sub infrastructure over a wide area, it is necessary to optimize the network in consideration of the bidirectionality in addition to the load distribution by the overlay network for communication between many brokers. In this research, we realized an efficient route control method considering the information of the lower layer across multiple management domains, and implemented the proposed mechanism in the product supporting the standardized protocol. Furthermore, we have realized a delivery method on an overlay network to be applied to the Dataflow platform, which is the data processing platform for IoT applications.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：Pub/Sub基盤 複数管理ドメイン オーバレイネットワーク SDN IoT Dataflow platform

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

家庭内での家電機器、屋内や屋外に設置された様々な環境センサをはじめとし、様々な機器がネットワークにつながるようになってきており、これらのデバイスを活用した **Internet of Things (IoT)** アプリケーションによりトラフィックの発生量は **2013-2018** でおよそ **10 倍** になると推定されている。IoT アプリケーションで交換されるメッセージをデバイス間で配信する際には、**Publish/Subscribe** 型のメッセージング形態が利用される。**Publisher** デバイスは中間に位置する **broker** にメッセージを送信し、さらに **broker** が **Subscriber** デバイスにメッセージを配信する。トラフィック量の急激な増加に対応するため、複数の **broker** による負荷分散を可能とし、さらに広域に分散配置された **broker** 間の最適な通信を実現する必要がある。

アプリケーション層オーバーレイネットワークでは、下位層のネットワークを考慮していないため、これまでに下位層 (**IP 層**) を考慮したオーバーレイネットワーク上での配信最適化機能ならびに下位層と連携した配送最適化機能を備えた **SDN Aware Pub/Sub (SAPS)** の研究開発について **PIAX** を用いて取り組んできた。一方、現状の **SAPS** では、単一のネットワーク管理ドメインにしか対応できず、広域ネットワークに適用することができない。**SDN** アプリケーションを複数の管理ドメインにまたがって動作させる際のアーキテクチャについて検討が必要となっている。また、クライアント向けプロトコルが標準化されたプロトコルに対応できていない。

2. 研究の目的

IoT アプリケーションのトラフィック量増加に対応する上で、スケーラブルなメッセージ通信基盤の構築が求められている。**CDN** 同様、**Pub/Sub** 基盤を広域に実現するためには、多数の **Broker** 間通信のオーバーレイネットワークによる負荷分散に加えて、双方向性を考慮したネットワークの最適化が必要となる。これまでに下位層の情報を考慮した経路制御方式として **SDN Aware Pub/Sub (SAPS)** 通信基盤を構築しているが、1つの **Controller** で管理できる範囲である管理ドメインを超える制御において、**Pub/Sub** 基盤に **SDN** 管理ドメインを認識させ、従来の **IP** 網に **SDN** で最適化された網をオーバーレイする **Hybrid** な通信最適化に必要なアーキテクチャを提案する。

3. 研究の方法

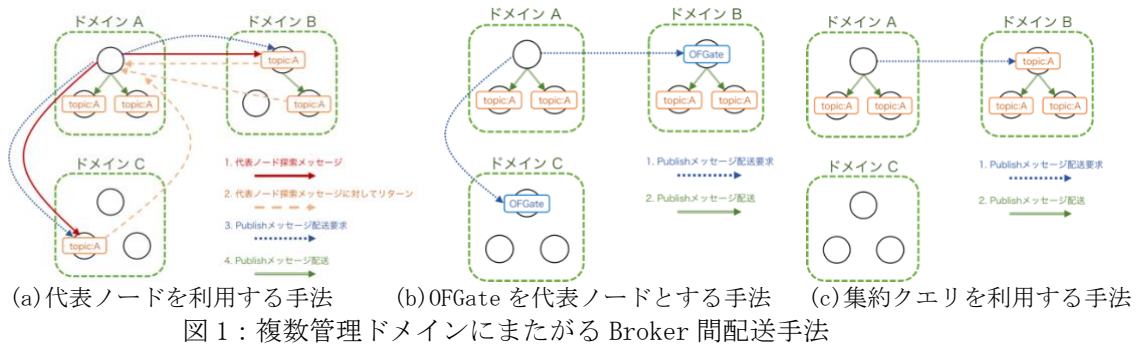
本研究では異なる管理ドメインにまたがって **SDN** を活用した **Pub/Sub** 通信の最適化を可能とする **Pub/Sub** 基盤の構築を目指す。**SAPS** では、オーバーレイネットワークを用いたアプリケーション層による **broker** 間通信機能 (**Application Layer Multicast: ALM**) を持ち、**ALM** は **IP** 網の通信機能を用いて通信する。一方で、通信の最適化が可能な **OpenFlow** を活用した **broker** 間通信 (**OpenFlow Multicast: OFM**) は、1つの **OpenFlow Controller (OFC)** に管理されたネットワーク内でしか機能しない。**SAPS** では **OFC** と連携するために **OFGate** というエージェントをもつが、複数の管理ドメインに対応させるためには、複数の **OFC** に対応した複数の **OFGate** を用意し、複数の **OpenFlow** 網を **SAPS** 側で識別する必要がある。また、直接接続されていない **OpenFlow** 網間で **OFM** による配送を実現するためには、一旦 **ALM** で配信したメッセージを **OFM** 側に転送するといった機能も必要となる。図1に本研究が対象とする課題の概要図を示す。動的に変化するトピックごとの **publisher** (発信者)、**subscriber** (購読者) を考慮した **ALM** と **OFM** の最適化を同時に考慮した連携方式としては様々なアプローチがあり、最適な方式の検討ならびに評価が必要となる。本研究開発では、複数ドメインにまたがる **SAPS** の拡張に関する検討、プロトタイプの実装、広域ネットワークで利用した場合の性能評価プロトタイプシステムの実装ならびにその性能評価を行う。さらに、提案する方式の普及のため、**MQTT** を始めとする標準化された **IoT** プロトコルとの相互接続と、そこでの **QoS** 機能実現のためのオーバーレイネットワーク上でのメッセージング処理方式の検討を進める。その中で必要に応じて既存のプロトコルに必要な拡張の提案ならびに **Pub/Sub** 網の制御に必要な **OpenFlow** の **Northbound API** について提案する。

4. 研究成果

(1) **SDN** を活用した **Pub/Sub** 基盤の標準化プロトコル対応と複数管理ドメインにまたがる **Broker** 間配送手法の提案

SDN を活用した **Pub/Sub** 基盤 (**SAPS**) は、これまで **Pub/Sub** 通信のクライアントと **Broker** 間の通信は **REST API** を用いていたが、**IoT** アプリケーションにおいて活用するためには標準プロトコルへの対応が必要となる。そこで、本研究では **P2P** プラットフォームである **PIAX** を活用して実装されている分散 **MQTT Broker** である **PIQT** に、これまでに実装した機能を移植した。具体的には、**SAPS** では **P2P** エージェントの機能で実装していたノード間連携機能を、**PIQT** に実装された新しいオーバーレイネットワーク (**Suzaku**) のレイヤで再実装した。これにより、標準的なプロトコルへの対応を実現した。

従来の実装では、単一の管理ドメインの **SDN Controller** としか連携することができず、複数の **SDN** 管理ドメインにまたがる通信は実現できていなかったが、複数のドメインにまたがる通信方式を3方式検討し、これらの通信コストの比較評価を行った。その結果、オーバーレイネットワークの経路情報を交換する際に、必要な情報を収集して集約しておき、以降の経路選択に活用



する集約クエリを利用する方法が最も低コストでドメイン間にまたがる通信を実現できることを示した。一方で集約クエリを利用する方式では、オーバーレイネットワークの経路情報を交換するメッセージにおいて、付加的にドメインに関する管理情報も交換する必要があり、管理メッセージコストが上昇する課題がある。集約クエリにおける管理メッセージの効率化においては更に研究開発が必要であると考えている。

(2) SDN を活用する Pub/Sub 基盤における オーバーレイネットワーク管理方式の改善手法

(1) で複数ドメインに対応した SAPS は、複数の Broker 間で下位層を考慮した効率的な SDN での配送が行えるが、SDN 上での配送ではハードウェア上に経路を追加する必要があるため、ハードウェアの経路数上限により、配送できるトピック数に制限がある。そのため、オーバーレイネットワークでの配送 (Application Layer Multicast: ALM) と SDN による配送 (OpenFlow Multicast: OFM) とを切り替えて利用する。このとき、オーバーレイ上に登録された各 Broker 上の Publisher/Subscriber のトピックを、配送方式ごとにグループ化して管理し、オーバーレイネットワーク上での配信ならびにそれぞれのトピックに対する配送方式の管理に利用する。これまでの管理方式では、メンバが存在しないトピックにメッセージを配送してしまう問題や、配送方式を切り替える際に遅延が大きくなるという課題があった。そこで、本研究ではメッセージ数や切り替え遅延を改善するオーバーレイネットワーク管理手法を提案した。メッセージ数については、構造化オーバーレイ上の強リレーフリー性を活用し、異なる配送方式のトピック間でのメンバ不在トピックへの転送を防ぐ手法を提案した (図 2)。また、切り替え遅延については、ノードの join/leave をともなわず、ノードの内部情報を書き換えることで実質的な移行が完了するキー名書換え移行を提案した (図 3)。実機を用いた検証により、これら提案手法によりメンバ不在トピックへのメッセージ転送がなくなり、かつ、OFM 切り替え遅延を大幅に短縮できることを確認した (図 4)。

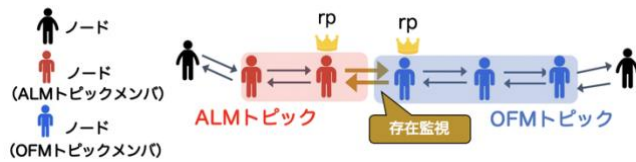


図 2：強リレーフリー性を活用した Subscriber 不在時のメッセージ転送防止手法

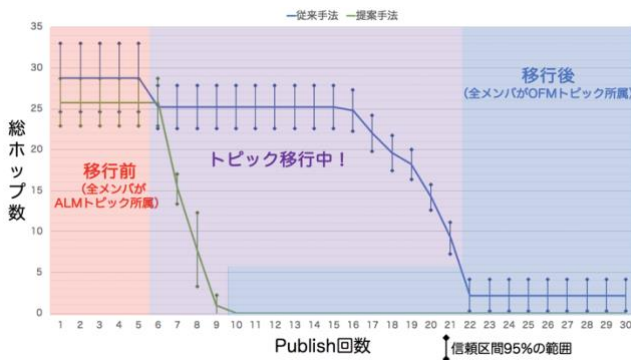


図 4：総ホップ数推移の比較結果

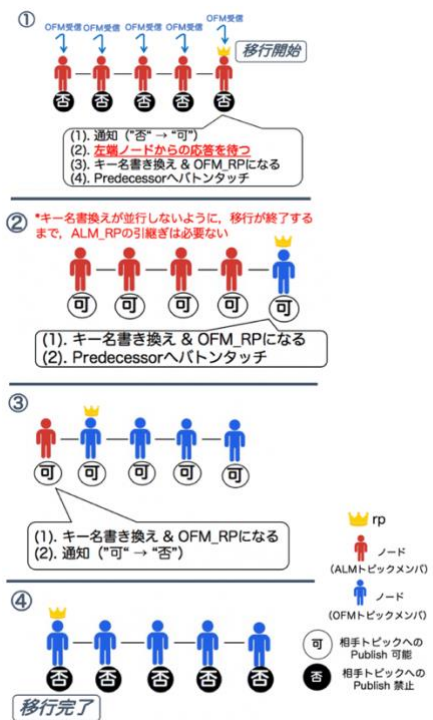


図 3：キー名書換え移行の流れ

(3) Dataflow platformにおける複数ドメインにまたがる Pub/Sub 基盤の活用

本研究では開発している Pub/Sub 基盤を実際の IoT アプリケーションで活用するための研究開発にも取り組んだ。複数の管理ドメインにまたがる Pub/Sub 基盤を実現することで、例えばフィールドに展開したセンサから収集されるデータを、ネットワーク事業者の局舎やクラウド事業者のデータセンタなどに展開されたリソースにまたがって、横断的に処理を行うことも可能となる(図5)。本研究では、図6に示したようなセンサが配置される Device ネットワーク、ネットワーク事業者が管理する局舎などの Edge ネットワーク、クラウド事業者が管理するデータセンタなどの Cloud ネットワークという3階層のネットワークを対象として、データ処理コンポーネントを配置するアルゴリズムを検討し、求めたコンポーネント配置に従ってデータストリームを処理する際のメッセージルーティング方式について検討を行った。図7に示すように、コンポーネントの処理方式をトピックとし、コンポーネントが配置された位置情報(ネットワーク階層)とコンポーネントの処理状況を考慮してルーティング可能な方式を提案し、適切なコンポーネント発見に必要なメッセージ数を削減できることを確認した。また、図8に示したようなバスを対象としたIoTアプリケーションをターゲットにして、プロトタイプシステムを実装し、ネットワーク帯域や処理遅延を考慮したコンポーネント配置が可能なことを確認した。

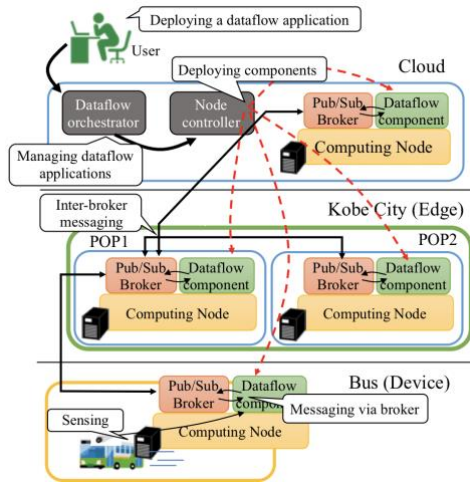


図5: Dataflow platform のアーキテクチャ

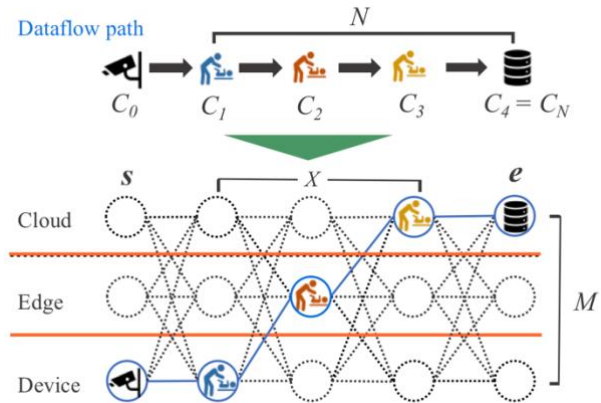


図6: コンポーネント配置アルゴリズム

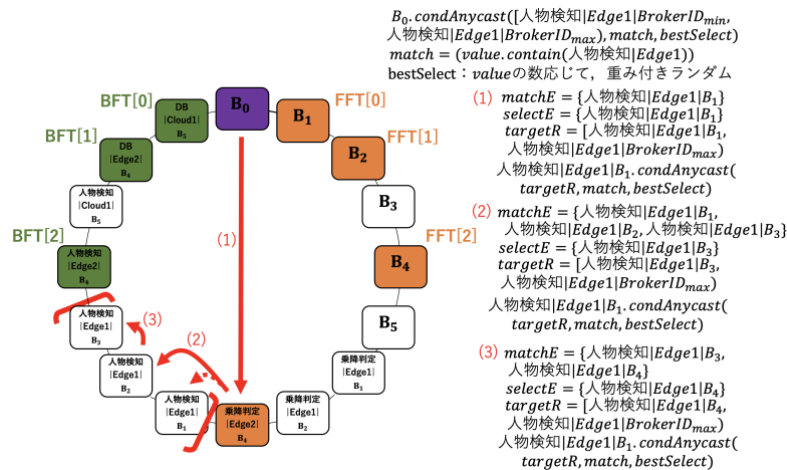


図7: ネットワーク階層とコンポーネントの処理状況を考慮したオーバレイルーティング手法

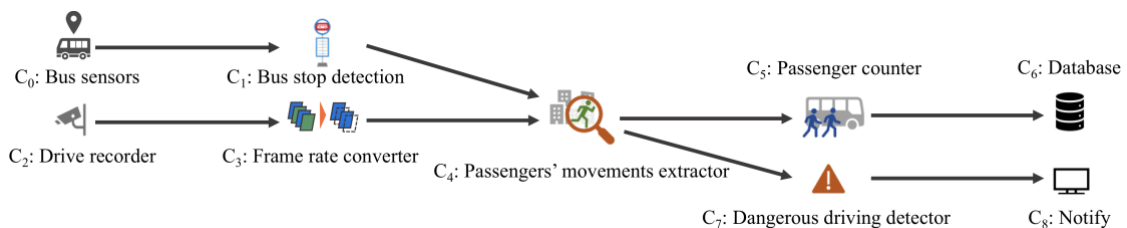


図8: バスを対象としたIoTアプリケーションの例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 盛房 亮輔, 坂野 遼平, 安倍 広多, 寺西 裕一, 石原 真太郎, 秋山 豊和	4. 巻 61
2. 論文標題 SDN を活用する Pub/Sub 基盤におけるオーバーレイネットワーク管理方式の改善手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 326-338
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 秋山豊和
2. 発表標題 データ収集・分析・活用プラットフォームの研究開発 ~ IoT・DevOps・セキュリティのためのデータフロー処理基盤 ~
3. 学会等名 信学技報, vol. 119, no. 402, PN2019-47, pp. 79-85 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田和磨, 石原真太郎, 秋山豊和
2. 発表標題 分散型MQTT Brokerを活用したコンポーネント選択手法の比較評価
3. 学会等名 情報処理学会 第12回インターネットと運用技術シンポジウム (IOTS 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石原 真太郎, 安田 和磨, 秋山 豊和
2. 発表標題 分散MQTT Brokerを活用したDataflowコンポーネント間通信手法の提案
3. 学会等名 マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOM02019)シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shintaro Ishihara, Satoshi Tanita and Toyokazu Akiyama
2. 発表標題 A Dataflow Application Deployment Strategy for Hierarchical Networks
3. 学会等名 The 43th Annual International Computers, Software & Applications Conference (COMPSAC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石原 真太郎, 秋山 豊和
2. 発表標題 クラウド/エッジを考慮した転送を可能とするメッセージング基盤の設計と実装
3. 学会等名 インターネット技術第163委員会第43回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井 浩貴, 秋山 豊和
2. 発表標題 分散型MQTT Brokerの実装調査と性能向上に関する一考察
3. 学会等名 インターネット技術第163委員会第43回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷田 智志, 秋山 豊和
2. 発表標題 クラウドネットワーク上でのBUMトラフィック配送におけるUnder layとOver layの動的連携手法の調査
3. 学会等名 インターネット技術第163委員会第43回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋山 豊和, 石原 真太郎
2. 発表標題 複数ドメインにまたがる下位層を考慮したPub/Sub基盤の研究-IoTアプリケーション向けデータフロープラットフォームの研究開発-
3. 学会等名 インターネット第163委員会第44回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋山 豊和
2. 発表標題 IoT実証実験におけるメッセージ収集・分析基盤の構築
3. 学会等名 第11回インターネットと運用技術シンポジウム (IOTS 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋山 豊和
2. 発表標題 IoTによる人流計測/まちづくり等への応用
3. 学会等名 大阪国際サイエンスクラブ第3回若手学識者との異分野交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新納和樹, 秋山豊和, 寺西裕一, 安倍広多
2. 発表標題 下位層での配送を考慮した分散Pub/Sub基盤における複数管理ドメインにまたがるメッセージ配送手法の検討と評価
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 B-16-3
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shintaro Ishihara, Masahiro Fujita and Toyokazu Akiyama
2. 発表標題 DNetSpec: A Distributed Network Testing Toolset for Middleware Developers
3. 学会等名 ADMNET: The 4th IEEE International Workshop on Architecture, Design, Deployment and Management of Networks and Applications (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷田智志, 秋山豊和
2. 発表標題 データセンタネットワークにおけるSDNを用いたスケーラブルマルチキャストの実装方式の検討
3. 学会等名 信学技報, vol. 117, no. 187, IA2017-13, pp. 7-12
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福井浩貴, 秋山豊和, 寺西 裕一
2. 発表標題 分散型MQTT brokerの基礎評価とプロファイリングに基づく性能改善の検討
3. 学会等名 信学技報, vol. 117, no. 187, IA2017-17, pp. 31-35
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新納和樹, 秋山豊和, 寺西裕一
2. 発表標題 SDNを活用したPub/Sub基盤における複数管理ドメインを考慮したBroker間配送方式の検討
3. 学会等名 信学技報, vol. 117, no. 294, IA2017-28, pp. 31-35
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 盛房亮輔, 秋山豊和
2. 発表標題 SDNを活用するPub/Sub基盤における配送方式切替手法の配信性能への影響調査
3. 学会等名 信学技報, vol. 117, no. 418, IA2017-65, pp. 1-6
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>本研究に関連して実施した国際共同研究 FESTIVAL Project http://www.festival-project.eu/en/</p>
--

6. 研究組織		
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)
		備考