

# IFoTの考えに基づいた温度計測アプリケーションの Raspberry Piへの実装と評価

坂口 僚<sup>1,a)</sup> 藤田 茂<sup>1,b)</sup>

**概要:** サーバやクラウドにデータを集約せずに, IoT デバイスをつなぎデータストリームの即時的な利用を行う IFoT の概念が提唱されている. 本稿では, IFoT の概念に基づいた温度計測アプリケーションを構築した. IoT デバイスには Raspberry Pi を用いて, 温度センサを接続したデバイスを作成し, デバイス同士は OLSR(Optimized Linked State Routing) で相互に接続した. 利用者から見ると, 本稿で構築した IFoT の考えに基づく温度計測アプリケーションとデータ集約したアプリケーションとの間で, 得られるサービスには差の無いことを示した.

**キーワード:** IoT, IoT デバイス, クラウドレス

## Implementation and evaluation of temperature measurement application based on IFoT's idea on Raspberry Pi

RYO SAKAGUCHI<sup>1,a)</sup> SHIGERU FUJITA<sup>1,b)</sup>

**Abstract:** The idea of IFoT that connects IoT devices and instantaneously uses data streams without aggregating data in servers and clouds has been proposed. In this paper, we built a temperature measurement application based on the concept of IFoT. For the IoT device, Raspberry Pi was used to create a device connected with a temperature sensor, and the devices were mutually connected by OLSR (Optimized Linked State Routing). From the viewpoint of the user, it showed that there is no difference in the service obtained between the temperature measurement application based on the IFoT idea constructed in this paper and the data aggregated application.

**Keywords:** IoT, IoT Device, Cloudless

### 1. はじめに

IoT(Internet of Things) の考え方から, センサと接続された IoT デバイスによるセンシング技術が進歩し, あらゆる環境において多種多様なセンサデータが集められるようになっていく. センサデータの情報は実世界の状況が示されており, 収集されるセンサデータから特定のサービ

ス向けに活用されている. しかし, センサ自身は多様化して複雑になり, 実時間のデータストリームとして取り入れられる中では, データ量が膨大になる.

センサデータの収集の際には, サーバやクラウドにデータをまとめて分析する IoT プラットフォーム [1][2] が存在する. 既存の IoT プラットフォームでは, 図 1 のように遠隔地のクラウドサーバにデータが集中するような構成で示される. 収集されるデータは分析の為に, IoT デバイスを介してクラウド側に蓄積される. システム形態としては, クラウド側に蓄積されたデータを, クラウド側の持つ計算資源で分析, 処理をかけるようになっている. このような構成に対して, IoT デバイスとクラウドの間のトラフィッ

<sup>1</sup> 千葉工業大学情報科学部情報工学科, 〒 275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1  
Graduate School of Computer Science, Chiba Institute of Technology, 2-17-1, Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba-ken, 275-0016 Japan

a) s1331064uq@s.chibakoudai.jp

b) fujita@cs.it-chiba.ac.jp

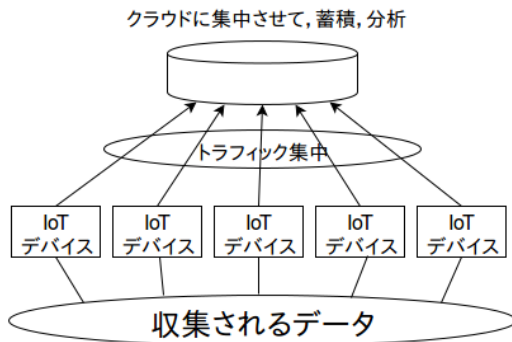


図 1 クラウドにデータが集中する構成の IoT システム (文献 [3] を基に作成)

は、IoT デバイスの台数に比例して一極集中する。したがって、取り扱われる IoT デバイスの台数が増加するとトラフィックが集中し増加する。更には、センサからは実時間情報として時々刻々と連続的に生成される為、データ量も膨大になる。IoT デバイスの台数増加や、実時間情報のデータ量の増加が生じれば、クラウドサーバ側では膨大なデータを集めきれず取りこぼし、処理しきれない恐れがある。

このような状況を考慮して、データ自身は蓄積せず、流通をさせ、即時的な利用をすべきであるという情報流技術の考え方がある [4]。情報流準備検討委員会 [5] では、実時間情報の利活用について検討が進められている。情報流の利活用にあたっては、IFoT (Information Flow of Things) という IoT プラットフォームが提言されている [6]。IFoT で示されるシステム構成の一例としては、図 2 のように示される。図 2 のような構成で、IoT デバイス間で収集され

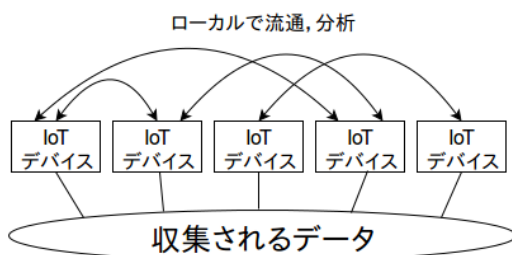


図 2 ローカルでデータが流通する構成の IoT システム (文献 [3] を基に作成)

るデータが流通され、分析が行われその場で処理結果が還元される。このように一連の処理が IoT デバイスの上位でアプリケーションとして動作する IFoT ミドルウェアの開発が進められている [3]。IFoT ミドルウェアは、図 3 の示す動作環境を想定して開発されている。IFoT ミドルウェアとしての IoT デバイスは、階層構造になっている内の、アプリケーション層とセンサ/アクチュエータ層の中間層である IFoT ニューロン層上で動作している。各階層での動作のイメージを示す。まずセンサ/アクチュエータ層上の、実環境に置かれたセンサ群から、データの収集を行う。

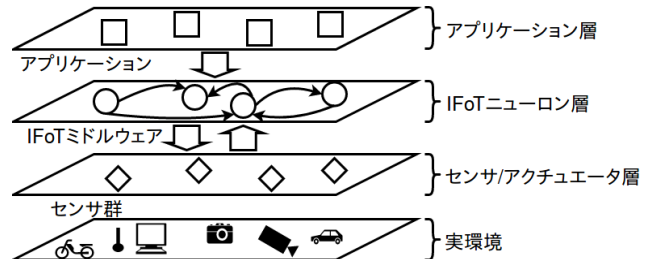


図 3 IFoT ミドルウェアの動作環境 (文献 [3] を基に作成)

収集されるデータは、アプリケーション層上の、利用者によるアプリケーションの動作に準じて機能が割り当てられた IFoT ニューロン層上のデバイス間で流通させ分析する。最後に処理結果をアクチュエータにより実環境上に還元する。このような環境上で動作される IFoT ミドルウェアの実装が進められている。IFoT ミドルウェアの機能として 4 種類が掲げられている。

- タスクの分散実行
- オンデマンドな情報流通
- オンラインな情報分析
- 異種センサ/アクチュエータの統合

開発が進められたシステムでは、IFoT ミドルウェアの実現可能性の検証を目的としており、実環境上のセンサデータを扱っていない段階である。

本研究では IFoT での考え方に基づき、実環境上に置かれるセンサデータを用いて、各デバイス間のセンサデータの流通機能と逐次的に処理を行う温度計測アプリケーションの実装を行った。この実装により、IFoT ニューロン層上の、IFoT ミドルウェア間で行われているような、IoT デバイス間のデータ流通を実現した。

提案するシステムでは、8 台のセンサ接続のデバイスと、サーバの役割を担うデバイスを設置して構築した。構築したシステムが、実際にデータを蓄積して処理をする場合と比較して、データを蓄積せずとも同様な傾向を持った結果が得られることを評価した。以下、2 章で関連研究について述べ、3 章では提案する温度計測アプリケーションの仕様を示す。4 章では評価実験によるシステムの評価を示し、5 章ではまとめを述べる。

## 2. 関連研究

本章では、既存の IoT プラットフォームでの、クラウドに集約するタイプのシステムについて述べると共に、IFoT の実現に関連した情報流の考え方や、実装を目指した IFoT

ミドルウェア, また IFoT の研究自身からの関連研究としての技術について示す.

## 2.1 クラウド集約型のシステム

クラウドにデータを集約させることによって成り立つシステム構築の一例 [7][8] がある. 挙げられているシステムでは, IoT 機器に関して専用ゲートウェイを設けるコストと組込開発へのコストについての問題を解決するものである. 提案されているシステムでは, クラウドにデータを集約するシステムに関して掲げている問題を解決している研究である. 本研究では, このような, クラウドにデータを集約させることで成り立つ研究とは異なり, クラウドを必要としないシステムの構築を行う.

また, M2M ゲートウェイの方で最適な役割分担を行う, 分散強調 M2M システムアーキテクチャの提案 [8] がされている. しかし, この研究で構成されている評価システムではゲートウェイ側の機器に IoT デバイスの 1 つである Raspberry Pi を使用しているが, IoT デバイス側によるアプリケーション動作で, 即時的なセンサ情報の活用によって成り立つシステム構成ではない点で, IFoT とは異なる. 本研究では, IFoT に基づいて, IoT デバイス間でのデータ流通を目的として, システムの構築, 開発を行う.

## 2.2 「情報流」技術

文献 [4] では実時間情報への対応に際し, 「情報流」技術を掲げている. 実世界の状況を示すセンサデータを収集できるようにセンサ技術は発展を遂げているが, 人や車, モノ, 環境の時々刻々とした変化によって生成されれば, 複雑で雑多になる. このような状況を考慮すれば, データは静的解析の為にクラウドに蓄積するべきでない. より高次の利用の為に積極的にリアルタイム流通させるべきである. データを蓄積せずに流通させる技術としてはストリームプロセッシングが挙げられる.

高次の利用の為にセンサデータを実時間で選別する仕組みや, 組み合わせた情報から新しい“知”を創出するということが示されている. そこでキュレーションという概念によりサービスの実現に必要な仕組みを整理できると考えられている. 様々なセンサデータが収集あるいは整理されることでユーザは価値の高い情報を受け取ることができる. こうした“情報流”と呼ばれている多数の実時間データストリームをリアルタイムに融合・編纂・配信する実時間キュレーションを実現するプラットフォームのことを指して, “情報流キュレーション基盤”の実現を目指している. こうしたキュレーション基盤での考え方は, IFoT の考え方に関連しており, IFoT ミドルウェアという形でシステムの開発が行われている.

## 2.3 IFoT ミドルウェア

IFoT に基づいて, IoT デバイスの上位で動作する IFoT ミドルウェアの開発が進められている. IFoT ミドルウェアでは, 図 3 のような階層構造で, IoT デバイスの上位で動作する複数のアプリケーションが動作し, 主に以下の 4 機能を提供することが挙げられている [3].

- タスクの分散実行: 各アプリケーションの要求に従って各ノードにタスクが割り当てられ分散で実行する
- オンデマンドな情報流通: 各デバイス間でデータが相互に流通する
- オンラインな情報分析: 即時的な情報の利活用として蓄積せずに逐次分析する
- 異種センサ/アクチュエータの統合: 多種多様なセンサの仕様の差異を IFoT ミドルウェアが吸収し, データを中継する

上記の 4 機能を踏まえて, IoT デバイス自身をアプリケーション動作の為に計算資源として用いている. IoT デバイスは手近なデータの発生源に関して処理を行い, 各デバイスは各データをリアルタイムに分散処理する.

実際の開発では, クラウドレスに, ローカルの IoT デバイスを用いて分散処理し, 収集したデータの分析を行う研究が進められている [3]. この研究では, 小規模な IFoT ミドルウェアのプロトタイプとして 6 台の IoT デバイスと管理マネージャ上に実装している. しかし, 評価に用いていたセンサデータ自体はダミーのセンサデータであった. 本研究では, ダミーのセンサデータではなく, 実際のセンサデータを収集してシステムを構築した.

また, 動画データに注目し, 予め IoT デバイス間で動画を解析しておくことで, クラウドに送信するデータ量を減らし, クラウドへの依存を減らすことを目的としたシステムの実装を行っている [9]. この研究では, 実際に動画データに着目して, 実装が進められている. 本研究では, 動画データではなく, 温度センサデータに関して取り扱う.

他にも, 地域情報流の高次利用に着目した上で GAIFoT (Geographically distributed Ambient interface utilizing local Information Flow of Things) の提案 [10] がされている. この研究では, 実際に, 扱う情報流の高次利用を想定して, 実現に向けた研究課題と今後の展開方針が示されている. 本研究でも, IFoT の概念を踏まえた上で実装された分散情報システムを評価することで, この研究の GAIFoT のように, IFoT の概念を踏まえた一実装, 一例となるような状況で検証を進める. GAIFoT の活用例には回遊型屋内施設が挙げられているが, 本研究ではまた別の環境として, 室内の環境で温度センサ情報の流通を IoT デバイス間で行うようにする.

## 2.4 PIAX(P2P Interactive Agent eXtensions)

P2P 構造のオーバーレイに基づいたトランスポートフレームワークとモバイルエージェントを備えた分散コンピューティングフレームワークの2つの特徴を備えたプラットフォームとして、PIAX[11]が提案されている。PIAXでは、ネットワーク上に処理機能を持ち、P2P 構造のオーバーレイネットワークで、ネットワークの拡張性や保守性や持続可能性を持つ。このような構造でユビキタスコンピューティングでの開発が進められてきたプラットフォームで、IoT の分野でも効率的な情報の利活用がされうる。本研究では、情報流、IFoT の考え方に沿って、センサデータの収集に際して、収集されるデータに対して、デバイス間でセンサデータを流通させる仕組み、機構について研究を進めていく。

## 3. 温度計測アプリケーションの実装

### 3.1 温度計測アプリケーションが動作するシステムについて

実装する温度計測アプリケーションが置かれる、複数 IoT デバイスが動作するシステムの全体図を図4に示す。本シ

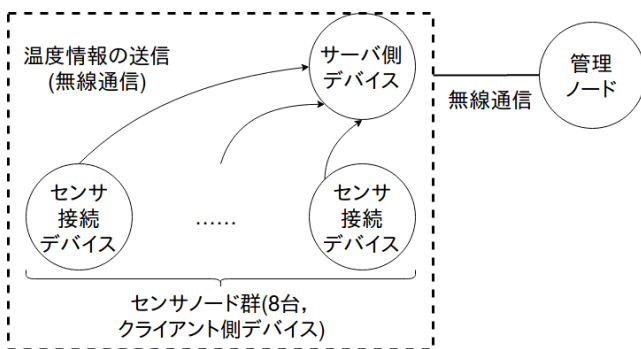


図4 動作するシステムの全体図

ステムでは、8台のセンサ接続のデバイスと、サーバの役割を担うデバイスを図5の通りに、室内環境において設置し、管理ノードによりシステムを管理する。デバイスには

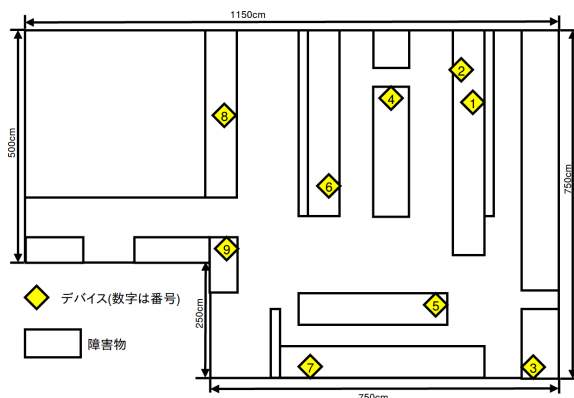


図5 デバイス, センサの配置図

Raspberry Pi を用いてシステムを実装した。各デバイスと管理ノードの仕様は表1に示す。各デバイス間と管理機器

表1 各デバイスと管理機器の仕様

デバイス 1 から 8	
使用機器	Raspberry Pi
OS	Raspbian
CPU	ARM1176JZF-S 700MHz
メモリ	512MB
デバイス 9	
使用機器	Raspberry Pi2
OS	Raspbian
CPU	ARM Cortex-A7 900MHz
メモリ	1GB
管理ノード	
使用機器	Think pad x100e
OS	Ubuntu 12.04
CPU	AMD Athlon(tm) Neo Processor MV-40 1.6GHz
メモリ	2GB

間ではアドホックネットワークによる無線通信によって相互に接続される。プロトコルとしては、OLSR(Optimized Link State Routing)[12]を用いる。9台のデバイスでは温度センサデータを送受信する点で、IFoT ニューロン層上のIFoT ミドルウェア間で行われているような、IoT デバイス間のデータの流通を実現する。本研究では、以上のシステム上で動作する温度計測アプリケーションについて評価実験を行う。

### 3.2 温度計測アプリケーションの動作の内容

温度計測アプリケーションの動作としては、本研究では各センサノードから得られる温度センサデータに関して、 $\pm 1.0$ 以上の温度変化を抽出する処理を行うよう設計した。以下の処理手順により、機能を実装する。

- (1) 得られた温度センサデータの1つ以前の値と比較
- (2)  $\pm 1.0$ 以上の温度変化の抽出
- (3) 抽出結果を保存

上記の処理動作を、サーバの役割を持たせたデバイスで行う。サーバ側のデバイスは、センサ接続デバイスからの各温度センサデータを受信することで処理を実行し、温度変化を逐次的に出力する。

## 4. 評価実験

### 4.1 評価実験のねらい

本実験では、実装されたシステム上で、デバイスを介してセンサ情報が収集可能であることを確認する。収集可能である上で、既存のIoTプラットフォームのシステム構成での処理結果と、IFoTを基にしたシステム構成で処理結果を比較する。既存のIoTプラットフォームのシステム構成ではサーバやクラウドに蓄積してから処理をかける構

成であり、本システムで得られるような温度センサデータを大量に蓄積した、データセットを用いて利用者の求める処理結果に応じて分析がされることが想定される。一方、IFoTを基にしたシステム構成では、得られる温度センサデータに対して逐次的に処理をかけて分析結果を出力することが想定される。本実験では、一括に処理をかけた場合と、データを流通させながら逐次的に処理をかけた場合とで、得られる結果が同様であることを示す。

#### 4.2 実験内容と結果

用意された温度計測アプリケーションの動作について、サーバ側のデバイスにセンサデータを蓄積し、その後処理動作を行った場合と、センサデータを流通させながら処理動作を行った場合を比較して同様な結果が得られるかを評価した。グラフによる出力結果の相違の一例を図6, 7に示す。図6と図7では、抽出結果としての値を確認する

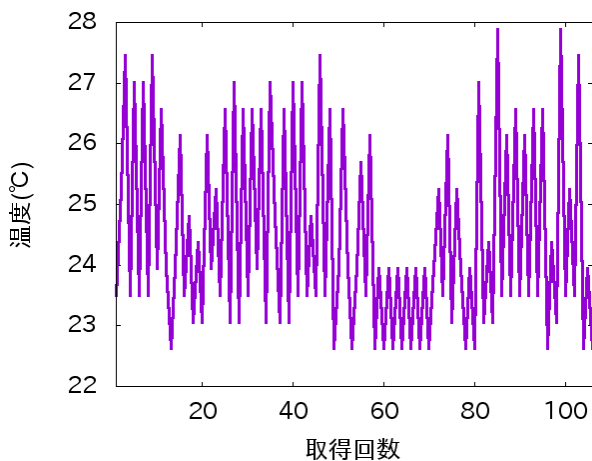


図6 蓄積してから温度変化を抽出した場合の温度変化グラフ (デバイス7 センサデータの場合)

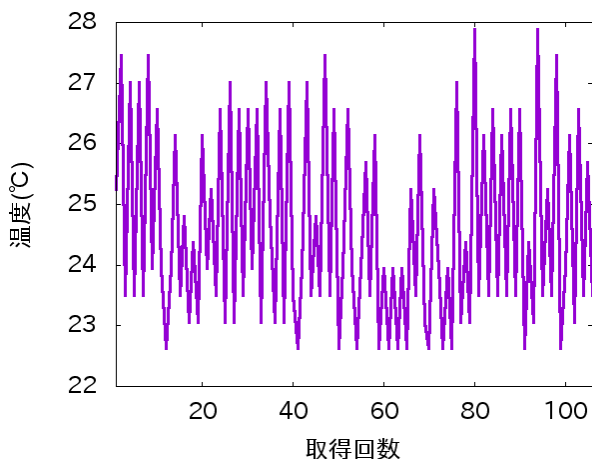


図7 収集しながら温度変化を抽出した場合の温度変化グラフ (デバイス7 センサデータの場合)

と、全く同じ値結果が抽出されてはいなかったが、求める処理結果としては似た傾向が見受けられた。表2に各デバイスでの処理結果データの比較として、107回の実験の抽出結果データに対する平均値と分散値を示す。他のデバイ

表2 処理結果データの比較

デバイス番号	方式	平均	分散
1	収集しながら温度変化を抽出	13.04	2.08
	蓄積してから温度変化を抽出	13.03	1.98
2	収集しながら温度変化を抽出	24.05	1.45
	蓄積してから温度変化を抽出	24.00	1.45
3	収集しながら温度変化を抽出	19.24	2.56
	蓄積してから温度変化を抽出	19.23	2.54
4	収集しながら温度変化を抽出	26.01	1.41
	蓄積してから温度変化を抽出	26.00	1.39
5	収集しながら温度変化を抽出	23.55	1.47
	蓄積してから温度変化を抽出	23.57	1.48
6	収集しながら温度変化を抽出	19.92	1.09
	蓄積してから温度変化を抽出	19.92	1.08
7	収集しながら温度変化を抽出	24.57	2.59
	蓄積してから温度変化を抽出	24.43	2.49
8	収集しながら温度変化を抽出	14.78	0.61
	蓄積してから温度変化を抽出	14.82	0.59

スでも、取りうるデータが一致することはなかったが同様な傾向が得られたことを確認した。

#### 4.3 温度変化抽出実験の考察

処理結果において、全く同じ結果は得られなかった。しかし、利用者の想定される処理結果としては似た傾向を持った出力結果が得られたと考える。同じ結果が得られなかった原因としては、温度計測アプリケーションの処理動作上で、通信遅延が生じたことが考えられる。通信遅延が生じたことで、逐次に流通させた場合に、受信処理の動作するタイミングがずれてしまい、サーバに蓄積した場合のセンサデータ値を取り込みきれず、同様な結果が得られなかったと考えられる。デバイス間で実際の温度センサデータを流通させることを可能とした。

### 5. おわりに

本研究では、IFoTに基づいて複数台のIoTデバイスで構成した分散情報システムを実装し、実際に温度センサにより温度を計測した。計測した温度値は、OLSRにより相互に接続されたデバイス間で流通がなされた。

実験では実時間データとしての温度センサデータを収集することができた。また、実装に際して、9個のIoTデバイスを用いて分散情報システムを実装できた。本研究内では、室内環境の範囲で実際のセンサデータの収集が可能であることを確認でき、本研究では、実環境上のセンサデータを用いてクラウドレス分散情報システムを構築した。ま

た、構築したシステムが、実際にデータを蓄積して処理をする場合と比較して、利用者の想定される処理結果としては似た傾向を持った出力結果が得られた。今後は、大規模化する環境中で、実環境上での実装に際して文献 [3] や文献 [6] で示される他の機能を充実させる必要がある。

## 参考文献

- [1] AWS IoT, <https://aws.amazon.com/jp/iot/>.
- [2] さくらの IoT Platform, <https://iot.sakura.ad.jp/>.
- [3] 中村優吾, 諏訪博彦, 荒川豊, 山口弘純, 安本慶一, 他: 多様な IoT データストリームをクラウドレスで分散処理するミドルウェアの設計, 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS), Vol. 2015, No. 22, pp. 1-8 (2015).
- [4] 安本慶一, 山口弘純: モバイル時代のサービスを支える技術: 5. 多数のデータストリームを実時間で融合・編纂し活用するための次世代「情報流」技術-情報流キュレーション基盤実現に向けた課題抽出と取り組み-, 情報処理, Vol. 55, No. 11, pp. 1281-1287 (2014).
- [5] InfoFlow 情報流プロジェクト, <http://www.infoflow.org>.
- [6] Yasumoto, K., Yamaguchi, H. and Shigeno, H. Survey of Real-time Processing Technologies of IoT Data Streams, *Journal of Information Processing*, Vol. 24, No. 2, pp. 195-202 (online), DOI: 10.2197/ipsjip.24.195 (2016).
- [7] 田添宏治, 南圭祐, 川添博史, 安次富大介, 会津宏幸: IoT 機器開発を単純化するクラウド集約型遠隔制御システムの提案, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム (CDS), Vol. 6, No. 1, pp. 1-10 (2016).
- [8] 北上真二, 岡崎正一, 宮西洋太郎, 浦野義頼, 白鳥則郎: 分散協調 M2M システムアーキテクチャの提案, 第 76 回全国大会講演論文集, Vol. 2014, No. 1, pp. 7-8 (2014).
- [9] 中村優吾, 諏訪博彦, 荒川豊, 山口弘純, 安本慶一, 他: ローカル環境での効果的な動画画像解析を実現する分散処理システムの提案, 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ (ITS), Vol. 2016, No. 32, pp. 1-7 (2016).
- [10] 中村優吾, 松田裕貴, 荒川周造, 金平卓也, 安本慶一: 地域情報流の高次利用を促す地域分散アンビエントインタフェース (GAIFoT) の提案, 技術報告 5, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良先端科学技術大学院大学 (2015).
- [11] Teranishi, Y. PIAX: Toward a Framework for Sensor Overlay Network, *2009 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 1-5 (online), DOI: 10.1109/CCNC.2009.4784954 (2009).
- [12] Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), <https://tools.ietf.org/html/rfc3626>.