

P2P モデルに基づくIoT デバイス利用基盤の構築

著者	今田 七海
発行年	2018-03
その他のタイトル	Construction of infrastructure used for IoT devices based on P2P model
URL	http://hdl.handle.net/10173/1905

平成 29 年度
修士学位論文

P2P モデルに基づく IoT デバイス利用基 盤の構築

Construction of infrastructure used for IoT devices
based on P2P model

1205076 今田 七海

指導教員 植田 和憲

平成 30 年 2 月 28 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻
情報システム工学コース

要 旨

P2P モデルに基づく IoT デバイス利用基盤の構築

今田 七海

近年 IoT の様々なシーンでの活用が注目されている。IoT とは、Internet of Things の略称で、従来のパソコンなどの IT 機器以外のインターネットに接続されていなかったモノが接続できるようになったことである。例えば、カメラや家電、時計といったものがある。また、IoT デバイスを利用したサービスとして高齢者やペットの見守りサービス、電子タグによる忘れ物防止サービスなどがある。このように私たちの生活に浸透してきているため、2020 年までには IoT デバイスは 500 億台以上になるという予測がある。

このように急増する IoT デバイスやそれを利用したサービスによって問題が発生している。それは、IoT デバイスの検索である。デバイスが急増したことで、特定のデバイスを検索したりすることが困難になっている。

そこで、本研究では、この問題を解決するための IoT デバイス利用基盤構築の手法を提案する。本手法では、P2P モデルに基づいた IoT デバイスを利活用するためのシステム基盤を構築する。本提案手法では、任意の条件に基づき IoT デバイスを複数のグループに分割することで、検索効率を向上させる。具体的には、IoT デバイスやそれを管理するサーバ群をそれぞれ任意の条件でグループに分ける。検索時には、サーバ群のグループから検索したいデバイスが属するグループを推測し、IoT デバイスから構成されるグループのレイヤで検索したいデバイスを特定する。

キーワード P2P モデル, IoT

Abstract

Construction of infrastructure used for IoT devices based on P2P model

IMADA, Nanami

In recent years the use of IoT in various scenes has been drawing attention. IoT is an abbreviation of Internet of Things, which means that things that were not connected to the Internet other than IT devices such as traditional personal computers can be connected. For example, there are cameras, home appliances, clocks and the like. There are also services using IoT devices such as elderly people and watching services for pets and services to prevent forgets by electronic tags. As we are penetrating our lives like this, we expect that IoT devices will be over 50 billion by 2020.

Problems arise due to the sudden increase of IoT devices and services using them. That is a search for IoT devices. Due to the rapid increase in devices, it has become difficult to search for specific devices.

Therefore, in this research, we propose a method of building the infrastructure for using IoT devices to solve this problem. In this method, we build a system infrastructure to utilize the IoT device based on the P2P model. In the proposed method, IoT devices are divided into multiple groups based on arbitrary conditions, thereby improving search efficiency. Specifically, IoT devices and servers that manage them are grouped under arbitrary conditions. When searching, it guesses the group to which the device to be searched belongs from the group of the server group, and specifies the device to be searched in the layer of the group composed of the IoT device.

key words P2P, IoT

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	関連技術・研究	3
2.1	IoT	3
2.2	オーバーレイネットワーク	3
2.3	クラスタリング	5
第 3 章	P2P モデルに基づく IoT デバイス利用基盤について	7
3.1	想定環境・前提条件	8
3.2	基盤となる技術・手法	9
3.3	システム概要	9
3.4	システムとして提供する機能の詳細	11
第 4 章	提案手法の評価	13
4.1	評価指標	13
4.2	評価方法	14
4.3	結果と考察	14
第 5 章	まとめ	16
	謝辞	18
	参考文献	19

目次

2.1	オーバーレイネットワーク概念図	5
2.2	クラスタリング概念図	6
3.1	P2P モデルに基づく IoT デバイス利用基盤概要図	10
3.2	提案システムにおけるオーバーレイネットワーク階層	11
4.1	検索回数と総パケット量との関係	14

表目次

第 1 章

はじめに

IoT とは、Internet of Things の略で、モノのインターネットを意味する。パソコンやスマートフォンなどの IT 機器以外の家電など従来インターネットに接続されていなかったモノもインターネットに接続できることである。これにより、インターネットに接続されたモノを遠隔操作をすることができたり、IoT デバイスから得たデータを活用したりすることができる。IoT デバイスには様々なものがある。例えば、冷蔵庫やエアコンなどの家電、カメラや電子タグも IoT デバイスに含まれる。また、これらを活用したサービスも登場している。住宅の家電を屋外から遠隔操作することができるスマートハウスや高齢者やペットの様子を利用者に通知するサービスなどがある。

このように急速に IoT デバイスやそれを利用したサービスの普及により、2020 年までには世界中で 500 億台の IoT デバイスが利用されると予測されている。この膨大なデバイスすべてをコントロールすることは非常に困難である。また、IoT デバイスは小型で軽量であるため、その処理能力では、できることが限られる。そして、IoT デバイスはカメラやセンサなど形態が多種多様である。加えて、先ほど例にあげたように様々なサービスがあるため、データ形式が多様である。

以上の問題から本研究では、IoT デバイスやサービスの急速拡大による管理困難性について取り上げる。この問題を解決するには IoT デバイス利用基盤構築が考えられる。我々は、P2P をモデルとした IoT デバイス利用基盤構築を提案する。本提案手法により、IoT デバイスの検索を可能となる。本提案手法では、任意の条件に基づき IoT デバイスを階層的に複数のグループに分割することで、検索にかかるパケットを削減する。本手法の有用性を検証するため、piaxtestbed によるシミュレーションを行い、検索時に発生するパケット数を計

測する。

本論文の構成は，2章で本研究に関連する既存技術について説明し，3章で提案手法について解説をし，4章で提案手法の評価をシミュレーションした条件や環境，結果について述べ，5章で本論文の総括をする。

第 2 章

関連技術・研究

本提案手法は、P2P モデルに基づく IoT デバイス利用基盤の構築をすることで IoT デバイスの検索を可能にする。

本手法の構築には、オーバーレイネットワークで仮想的なネットワークを作り、クラスタリングでデバイスの検索効率を向上させる。

本章では、本提案手法に関連する既存技術の解説をする。

2.1 IoT

IoT デバイスには、多くの種類がある。例えば、冷蔵庫やエアコンなどの家電、カメラや電子タグも IoT デバイスに含まれる。また、人感センサや温度センサなどのセンサもそれに含まれる。

近年 IoT デバイスを使ったサービスが急速に普及している。家電の遠隔操作や電子タグによる落とし物の防止、老人やペットの見守りサービスなどである。また住宅にある家電の遠隔操作や、ソーラパネル等の管理ができるスマートハウスなどがある。住宅以外の場所でも IoT は活用されている。その代表が農業である。作物やビニールハウスの様子を観測、蓄積、分析することでより高品質のものを提供するために利用されている [1, 2]。

2.2 オーバーレイネットワーク

オーバーレイ (overlay) ネットワークとは、図 2.1 オーバーレイネットワーク概念図のように既存の下位層の通信回線のネットワーク構成を利用し、その上位にあたる層において

2.2 オーバーレイネットワーク

仮想的に形成されたネットワークのことである。これにより、下層ネットワークにはなかった様々な機能を追加することができる。例えば、オーバーレイネットワークがリング型の場合、このオーバーレイネットワークのなかではリングの隣接ノードを認識して通信をすることができる。また、柔軟で耐障害性のあるネットワークを必要に応じて構築できるようになる。P2P ネットワークでは、IP 層を隠し端末同士の相互接続を可能にする。

オーバーレイネットワークには、構造化オーバーレイネットワークと非構造化オーバーレイネットワークの2種類に大まかに分類される。この2種類について説明をする。

構造化オーバーレイネットワークの「構造化」とは、オーバーレイネットワークの構成時のルールが数学的なルールに基づくことを指す。構造化オーバーレイネットワークは、数学的ルールに基づくことを仮定したアルゴリズムを活用する。それにより網羅的にノードやコンテンツの探索が可能になり、原則的にすべての情報の探索ができる。代表的なアルゴリズムとしては、Chord や Kademlia がある。

Chord とは、DHT を代表するアルゴリズムである。DHT とは、Distributed Hash Table の略で分散ハッシュテーブルのことである。Chord は、コンテンツの名前やコンテンツデータからハッシュ関数を用いて生成される2進数の数値で表現される。

Kademlia は、Chord と同等の機能を提供するが、構成は Chord とは異なり、二分木のような構造でノードを配置している。

非構造化オーバーレイネットワークとは、構造化オーバーレイネットワークと対比したアルゴリズムによりネットワークが構築されたものをいう。構造化オーバーレイネットワークのように一定の数学的ルールが存在せず、ノードがオーバーレイネットワークへの参加するときの順番がほぼランダムに構成される。情報探索にはフラッディングが用いられる。フラッディングとは、洪水 (Flooding) のようにネットワーク上で送信可能な端末にパケットを流す技術である [3]。

2.3 クラスタリング

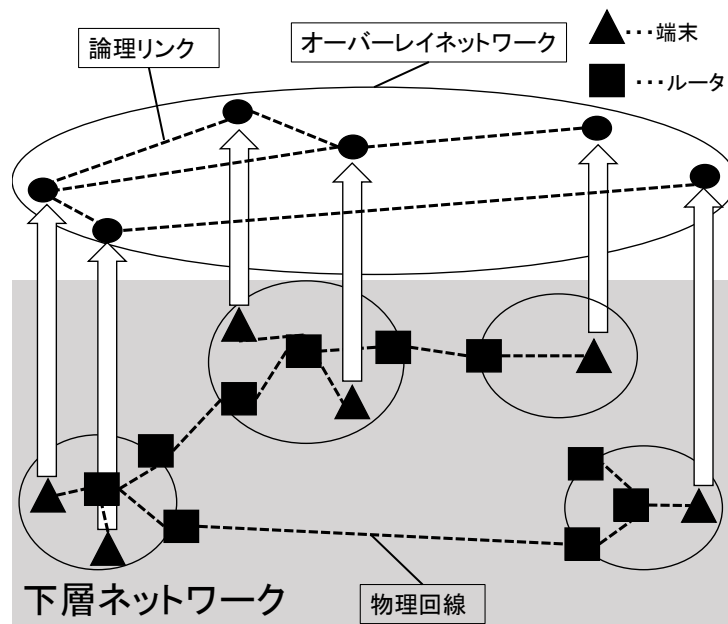


図 2.1 オーバーレイネットワーク概念図

2.3 クラスタリング

P2P システムにおいてクラスタリング (clustering) とは、図 2.2 クラスタリング概念図のように任意の基準で複数のノードをクラスタと呼ばれる集合にすることである。これにより、検索範囲が限られるフラッディング型の検索方式における検索漏れを減らすことができる。

k-means 法とは、クラスタリング手法の一種で、クラスタの重心となる位置座標を繰り返し計算して求めることにより、クラスタリングを最適化する手法である。以下のような手順でクラスタリングを行う [4, 5].

1. 任意のクラスタの中心 c_i をランダムに選択する。
2. 全てのデータを、各データ点 $x_j, j \in \{1, \dots, n\}$ から最も近いクラスタ i に割り当てる。
3. 各クラスタごとに次の式 (2.1) でクラスタの中心を求める。

$$c_i = \frac{1}{C_i} \sum_{x_j \in C_i} x_j \quad (2.1)$$

2.3 クラスタリング

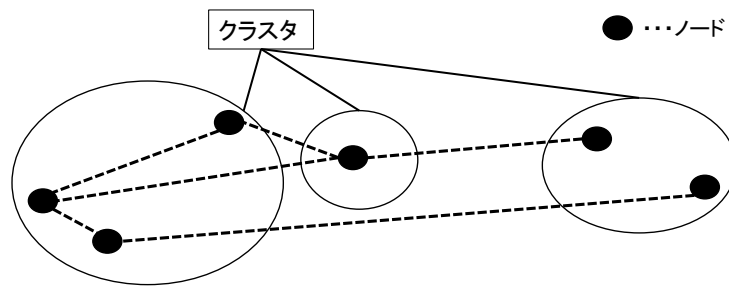


図 2.2 クラスタリング概念図

C_i は各クラスタ i に含まれるデータの集合であり、 $|C_i|$ はクラスタ C_i に含まれるデータ数である。

4. クラスタに変化がなくなるまで、ステップ 2 と 3 を繰り返す。

第 3 章

P2P モデルに基づく IoT デバイス 利用基盤について

1 章でも述べたように、IoT サービスの普及と IoT デバイスが急増したことに伴い、そのデバイスを探索するための時間やパケット数などのコストがネットワークの負荷に影響を与えている。また、IoT デバイスはその種類や利用規模という点から鑑みてもそのものの処理能力は多様であり、かつ、高速な処理や大容量のストレージは必ずしも期待できない。

広域で分散している環境におけるネットワークやコンテンツの管理方法にはさまざまなものがあるが、ここでは P2P ネットワークモデルを適用することを考える。P2P ネットワークモデルでは、ネットワークを構成する各ノードに対して固定の役割を持たせず、状況に応じてサーバやクライアントとしての役割をいずれも果たす。集中的に管理を行うサーバを配置しない P2P ネットワークモデルを Pure P2P 型といい、負荷分散という点でメリットが、ネットワーク管理の複雑さやノードやデータの検索に工夫が必要となるなどデメリットもある。

そこで本提案手法では、IoT デバイス群そのものが P2P ネットワークを構築するのではなく、一群の IoT デバイスを管理するサーバを配置し、そのサーバ群からなる P2P ネットワークを考える。具体的には、オーバーレイネットワークで下位レイヤとして IoT デバイス群からなるレイヤと、上位レイヤとして IoT デバイスを管理するサーバ群からなるレイヤとの 2 つのレイヤを構築する。さらに、一般的に P2P ネットワークで構築される論理ネットワークを異なる基準により複数構築することにより、それらを階層的な オーバーレイネッ

3.1 想定環境・前提条件

トワークとして活用することを考える。各 オーバーレイネットワークである論理ネットワークはそれぞれの基準によって クラスタリング結果に基づいて構築される。ネットワークアプリケーションは求める情報に対応した論理ネットワーク，すなわち オーバーレイネットワーク上の情報を活用することにより効率的な検索あるいはデータの転送を行う。

3.1 想定環境・前提条件

本システムは，ネットワークあるいはインターネット上に利用可能な IoT デバイスが遍在している状況を想定している。IoT デバイスとしては多様なものが考えられ，各種センサーやカメラなどが具体的には利用可能であるとする。具体的な IoT デバイスは，近年普及してきた高齢者などを対象とした IoT サービスなどを提供するネットワークを想定している。

それらの IoT デバイスおよびそのデータは，基本的に外部から利用可能なものとし，インターネット等を介して遠隔から利用できるとする。実際の運用には認証等が必要になると考えられるが，ここでは考慮しない。現状のインターネットでは IPv6 の普及度合いはさまざまであるが，基本的には各 IoT デバイスが IP アドレスを持ち，point-to-point の接続が可能であるとする。また，提案手法では IoT デバイス群を管理するサーバを配置するが，それら同士も前述したのと同様に相互の通信が可能であるとする。

このシステムのユーザは提案システムを介して要求するサービスやリソースを検索し，該当 IoT デバイスへのアクセスによって各種のサービスあるいはリソースを使用・利用する。ただし，IoT デバイスはサーバによって管理および隠蔽されているため，実際には IoT デバイスを管理するサーバを介してサービスを利用，リソースを使用することになる。これはユーザ側で意識する必要はなく，ネットワークアプリケーションによる対応も基本的には不要である。

3.2 基盤となる技術・手法

提案システムの基本的なアーキテクチャは、IoT デバイス群を管理するサーバが P2P ネットワークを構築するというものである。P2P ネットワークでは物理的なネットワークとは別に論理的なネットワークを構築し、ノードやコンテンツの検索、およびデータの転送を効率化する。この論理ネットワークの構築方法にはさまざまなものが考えられるが、保持するコンテンツによって各ノードを特徴づけ、その特徴の類似性からノード同士を論理的に隣接されることによってネットワークを構築する方法や、ホップ数や RTT (Round Trip Time) などのネットワークで用いられる指標によって近隣のネットワークに存在するノード同士を結びつける方法などがある。

提案システムでは、各論理ネットワークごとにクラスタリングを行い各ノードをグループ化する。クラスタリングには前述した各種基準が用いられ、基準ごとに異なったグループ分けが行われる。そのため、着目する論理ネットワークが異なれば、特定のノード間の論理的な距離や接続関係・経路等も変化する。クラスタリングを行う基準には前述した保持コンテンツの傾向などがある。今回は、IoT デバイス群を管理するサーバが構築する P2P ネットワークにおいて IoT デバイス群は基本的に隠蔽されているため、配下の IoT デバイスの種類や特徴、それらのデバイスが保持するデータによってサーバの特徴づけを行う。

3.3 システム概要

前述したように、本提案手法では一群の IoT デバイスを管理するサーバを配置し、そのサーバ群が P2P ネットワークを構築する。具体的には、オーバーレイネットワークで下位レイヤとして IoT デバイス群からなるレイヤと、上位レイヤとして IoT デバイスを管理するサーバ群からなるレイヤとの 2 つのレイヤを構築する。さらに、一般的に P2P ネットワークで構築される論理ネットワークを異なる基準により複数構築することにより、それらを階層的なオーバーレイネットワークとして活用することを考える。IoT デバイスと管理サーバとの関係についての概要図を図 3.1 に示す。構築されるオーバーレイネットワークの

3.3 システム概要

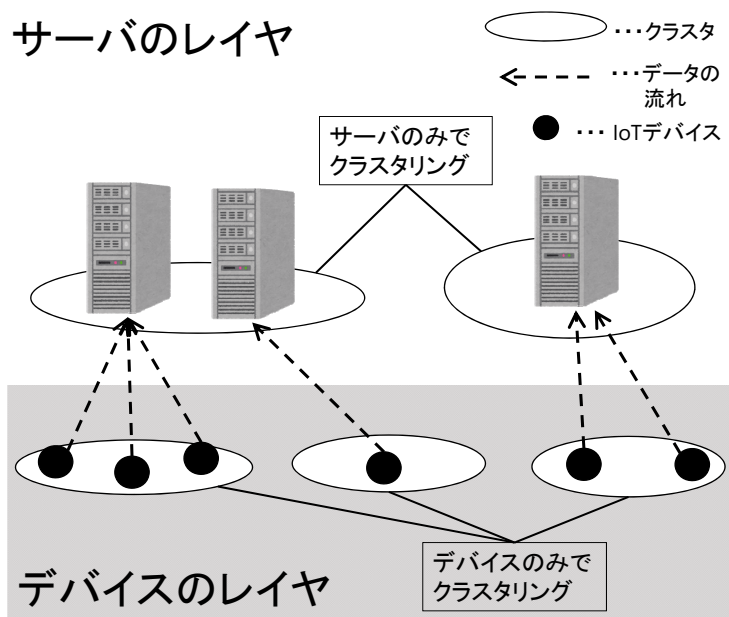


図 3.1 P2P モデルに基づく IoT デバイス利用基盤概要図

うち、検索等に実際に用いられるのは クラスタリングによって意味付けがなされた論理ネットワークである。物理レイヤや IoT デバイス群からなるレイヤは実際には隠蔽され、それらを対象に具体的な検索等を行うことはない。

各 オーバーレイネットワークである論理ネットワークはそれぞれの基準によって クラスタリング結果に基づいて構築される。ネットワークアプリケーションはユーザの求める情報に対応した論理ネットワーク、すなわち オーバーレイネットワーク上の情報を活用することにより効率的な検索あるいはデータの転送を行う。ネットワークアプリケーションは、提案システムに対して検索・利用要求を行い、返答として結果やノードへのアクセス情報を受け取る。図 3.2 に概念図を示す。オーバーレイネットワークはユーザからの要求の内容に応じて切り替えて使用する。例えば、一般性の高いリソース等に対する要求にはネットワーク距離に基づいて構築されたオーバーレイネットワークの情報を使用し、逆に、一般性の低いリソース等に対する要求にはノードの特徴に基づいて構築されたオーバーレイネットワークの情報を使用する、などである。

3.4 システムとして提供する機能の詳細

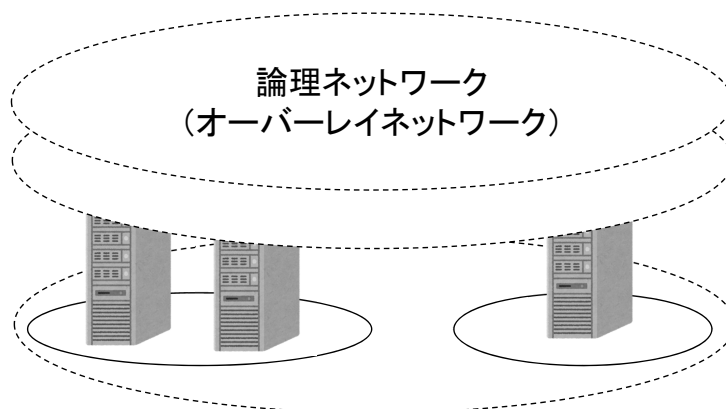


図 3.2 提案システムにおけるオーバーレイネットワーク階層

3.4 システムとして提供する機能の詳細

提案システムは、利用するネットワークアプリケーションによる検索・利用要求に対して、より適したオーバーレイネットワークを選択し、その上で得られる情報を提供する機能を持つ。たとえば、一般性が高く、場所等をあまり選ばずに取得・利用が可能なものであれば、ネットワーク距離に基づいて構築されたオーバーレイネットワークから得られるネットワークに関する情報を提供する。これは、一般性の高いリソースはそれを提供できるノードが近隣のネットワークにも存在する可能性が高く、なるべく近隣に位置するノードから取得する、あるいは、そのノードのリソースを利用する、のが望ましいからである。一方で、より一般的でないデータあるいはコンテンツ等の場合は、保持しているノードの数が限られると考えられるため、近隣のネットワークをやみくもに検索するよりは、配下の IoT デバイスが保持するデータやコンテンツ等によって特徴づけられたサーバをその特徴をキーとして検索するのが効率的である。

クラスタリングには、IoT デバイスやそれらが扱うメディア、それらメディアに関するテキスト情報、各種パラメータの数値データなどのメタデータなどに対しそれらを属性とし、そこに一意の属性値を付加する。それらを基準としてクラスタリングし、各属性を階層状に配置する。これにより、例えばサービスごとにクラスタリングすることもできる。他にも、デバイスの位置情報を基準にしたり、複数の条件でクラスタリングすることも可能である。

3.4 システムとして提供する機能の詳細

また、下位レイヤと上位レイヤとでクラスタリングの条件をかえ、下位レイヤより上位レイヤの条件を緩和する。例えば、下位レイヤのクラスタリングの条件としてサービスを指定した場合、上位レイヤではサービスという条件より寛容なものにしてクラスタリングを行う。これにより、検索処理の一部をサーバ側に担当させ、サーバ側である程度検索したりデバイスの所属するクラスタを絞り込むことにより、検索コストの削減を図る。

第 4 章

提案手法の評価

本提案手法では、オーバーレイネットワークで IoT デバイス群からなる下位レイヤと、IoT デバイスを管理するサーバ群からなる上位レイヤとの 2 つのレイヤを構築する。さらに、サーバ群によるレイヤの上位に複数のレイヤを想定し、それぞれのレイヤにおいて異なる基準にてクラスタリングを行う。その結果をレイヤに関連付けることにより、要求に応じたレイヤを選択することで効率的な IoT デバイスの検索を可能とする。ここでの効率とは、検索にかかるパケット数やアクセス対象ノードとのネットワーク距離が近く（ホップ数が少ない、RTT 値が低い）ネットワーク上の資源消費が少なく抑えられる、ことを指す。以下、提案手法の評価方法について述べる。

4.1 評価指標

前述したように、クラスタリングに使用した基準とその結果をレイヤに関連付けることにより、要求に応じたレイヤ選択によって、検索パケット数の抑制や近隣のノードとの通信を可能とすることでネットワーク上の資源消費が少なく抑えられる、ことが期待できる。ただし、提案手法に沿うシステムでは P2P ネットワークを構築するため、そのためのコストが発生する。提案手法を用いることで得られる検索等のパケット削減効果および検索速度等向上とネットワーク構築、管理、維持のためのパケット増加との間にトレードオフがある。そのため、パケット数の比較を行う際にはそれぞれを計上する必要がある。

4.2 評価方法

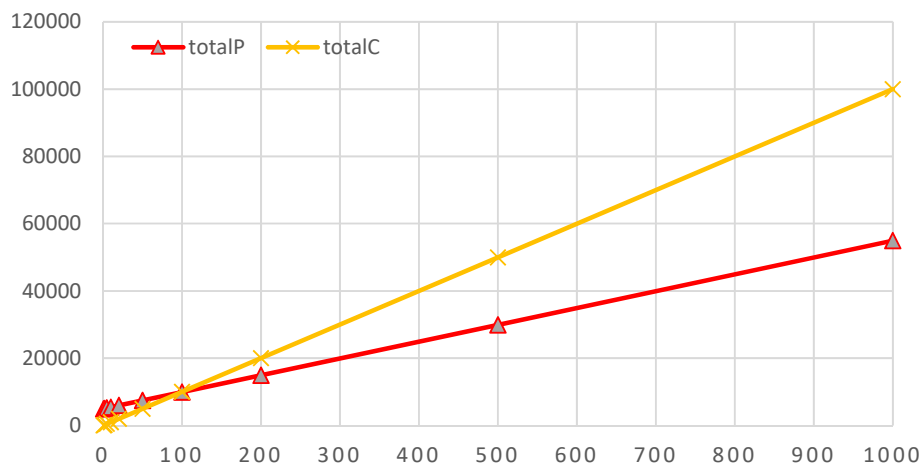


図 4.1 検索回数と総パケット量との関係

4.2 評価方法

評価のためのパケット数計測にあたり，検証環境を実装した．P2P ネットワークの各種機能の実現には P2P エージェントプラットフォームである PIAX[6, 7, 8] の API を用いた．PIAX は，P2P ネットワークにおけるノードであるピアおよびその上で動作するエージェントの機能を提供している．検索はピアで動作するエージェントに機能を持たせ，そこで検索のために転送されたパケット数を計測する．

ピアである IoT デバイスを管理するサーバ群は 100 台に設定した．各ピアには，特徴づけのための属性値をランダムで与え，その属性値に基づいて クラスタリングを実行する．今回は クラスタリング手法として k-means 法を用い，クラスタ数は 2 とした．

4.3 結果と考察

前述の条件にて検索を行った場合のパケット数の比較によって評価した．提案システムにおいては事前にクラスタリングを行い，その構築コストもさらに加算した．結果を図 4.1 に示す．

事前にクラスタリングを行わない場合は，検索を行うために多くのピアへの問い合わせが必要となる．事前にクラスタリングを行う場合は，検索のためのパケットの転送先が限定さ

4.3 結果と考察

れる。検索回数が少ない場合はクラスタリングのコストの比率が高く、むしろ事前にクラスタリングを行わないほうが総パケット量は抑えられることが結果からも確認できる。検索回数は基本的に多いものと考えれば提案手法を用いる場合に優位性があると考えられる。

ただし、P2P ネットワークモデルの特徴の一つである参加と離脱が頻繁に発生するという状況は、想定環境を考えると頻繁には起こらないと思われるが、配下の IoT デバイスの追加や削除などで管理サーバの特徴量に変化するということは考えられるため、定期的にクラスタリングを行ってクラスタをメンテナンスするためのコストも考慮する必要があると思われる。

また、P2P ネットワークモデルを使用するネットワークアプリケーションは検索等の効率のために独自のインデックス化手法、グループ化手法を採用することがある。これらによって検索パケット数を削減することも可能であるため、その点についても考慮する必要がある。

これらより、事前にクラスタリングによりクラスタ化、マルチレイヤ化を行う提案手法は、検索コストとネットワーク、あるいはクラスタ管理コストとがトレードオフの関係にあるが、一般に検索回数が多いネットワークアプリケーションであればコストの削減が見込めるといえる。

第 5 章

まとめ

本稿では、IoT サービスあるいは IoT デバイスが広く用いられるようになってきていることを背景に、ネットワーク上に膨大に設置され、かつそれぞれが通信可能であるという環境において利用可能なネットワークアプリケーションを前提とした問題について取り上げた。この問題とは、IoT デバイスの数、IoT デバイスの種類の多さ、個々のデバイスの能力のばらつき、などに起因するものである。具体的な問題として、IoT デバイスが存在するネットワークの構築および管理に関するコストが大きいことが挙げられる。これは、IoT デバイスの数が多いことと IoT デバイスの処理能力に起因するものである。

このように IoT デバイス群を前提としたネットワークアプリケーションの利用には、前述した問題に対する解決策が必要となる。そこで本稿では、特定の IoT デバイス群を管理するサーバを配置し、それらのサーバ同士がネットワークを構築する IoT サービス利用基盤を提案した。具体的には、IoT デバイス群を統括するサーバの特徴づけを配下の IoT デバイスが提供するリソースやデータによって行い、その上でサーバ間で P2P ネットワークを構築し、効率的な検索を可能とした。

提案する IoT サービス利用基盤では、管理サーバ群によって構成される P2P ネットワークを異なる基準によって構築し、それらを階層化して利用する。各階層上のネットワークは異なる基準によるクラスタリングを行った結果のクラスタが反映され、検索対象となるリソースやデータに応じて切り替えて利用する。例えば、一般性の高いリソースやデータは多くのノードが保持しており、近隣のネットワークから検索を実行しても発見することが容易であると考えられる、といったことである。

提案した IoT サービス利用基盤の評価として、各階層を構成する論理ネットワークの構築

のコストと検索を行う際のコストとを合わせてのコスト比較を行った。論理ネットワークの構築のコストはすなわちクラスタリングのコストである。クラスタリングおよび検索を行う場合の packets 転送量を比較し、基本的には、事前の論理ネットワーク構築にコストを要するが、検索の際に転送 packets 量を抑制できる提案手法あるいは提案システムは、検索回数が多くなる一般的なネットワークアプリケーションに対して優位性がある、と結論付けた。

謝辞

本研究を行うにあたりご指導をいただきました植田和憲講師に深く感謝いたします。また，副査を引き受けていただいた福本昌弘教授，横山和俊教授にも感謝の意を表します。

参考文献

- [1] A Al-Fuqaha, M Guizani, M Mohammadi, M Aledhari, and M Ayyash. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 17, No. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [2] L Atzori, A Iera, and G Morabito. The internet of things: A survey. *Computer networks*, Vol. 54, No. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [3] A B.Johnston and D C.Burnett. WebRTC ブラウザベースの P2P 技術. 株式会社リックテレコム, 2014.
- [4] 江崎浩. P2P 教科書. 株式会社インプレス R&D, 2008.
- [5] 小野田崇, 坂井美帆, 山田誠二. k-means 法の様々な初期値設定によるクラスタリング結果の実験的比較. 人工知能学会, 1J1-OS9-1, Vol. 33, , 2011.
- [6] PIAX. <http://www.piax.org/>.
- [7] 吉田幹, 奥田剛, 寺西裕一, 春本要, 下條真司. マルチオーバーレイと分散エージェントの機構を統合した p2p プラットフォーム piax. 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 1, pp. 402–413, jan 2008.
- [8] Y Teranishi. Piax: Toward a framework for sensor overlay network. In *Consumer Communications and Networking Conference, 2009. CCNC 2009. 6th IEEE*, pp. 1–5. IEEE, 2009.