

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500089

研究課題名(和文) P2PネットワークとDTNによる分散Twitterサービスの実現

研究課題名(英文) Implementation of Distributed Twitter-like Service over P2P Network and DTN

研究代表者

安倍 広多 (Abe, Kota)

大阪市立大学・大学院創造都市研究科・教授

研究者番号：40291603

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：Pure P2Pネットワーク上にマイクロブログサービスを実現する方法を検討し、次のような要素技術を開発した：(1)Chord#をベースとした高速な構造化P2PネットワークSuzaku、(2)故障ノードを考慮した範囲検索アルゴリズム、(3)Suzaku上での集約クエリと全文検索、(4)検索頻度が高いノードを高速に検索するためのショートカットリンク生成手法、(5)Android上でのDTN機構、(6)WebRTCを用いたウェブブラウザ間P2Pネットワーク、等。これらの一部はP2P基盤ソフトウェアPIAXの一部として実装を公開した。またPIAX上で実際に動作するマイクロブログサービスを試作した。

研究成果の概要(英文)：I have considered the method to implement a Twitter-like micro blog service over pure P2P network and developed the following technologies (to name a few): (1) Suzaku, a fast structured P2P network based on Chord#, (2) a range query algorithm that considers node failure, (3) implementation of aggregation query and full-text search on Suzaku, (4) a short cut link generation algorithm for fast locating frequently searched nodes, (5) implemented a prototype of DTN mechanism on Android devices, (6) implemented a prototype of Browser-based P2P network using WebRTC. Some of implementations are published as a part of PIAX, an open-source P2P middleware. Furthermore, a prototype of P2P-based microblog service is implemented on PIAX.

研究分野：分散ネットワーク

キーワード：P2Pネットワーク マイクロブログ 集約クエリ 全文検索 PubSub Twitter

#### 1. 研究開始当初の背景

Twitterは最大140字までのツイート(つぶやき)を投稿することで情報を共有するソーシャルメディアである。先の東日本大震災では、被災者、自治体などの公的機関、地元メディア、ボランティアなどがTwitterを使って様々な情報をリアルタイムに発信し、その有用性が広く認識された。しかし、Twitterを安定して使えるインフラとするためには以下の課題がある。

- (1) Twitterは集中型システム(サーバクライアントシステム)であり、サーバに負荷がかかる(現に、時折サービスが不安定になったり停止したりすることがある)。また、サーバやサーバに近いネットワークが被災あるいは故障した場合、全サービスが利用できなくなる可能性がある。
- (2) Twitterのサーバは海外にあるため、国際回線の障害(被災)によって影響を受ける。被災した地域では通信インフラの障害によってインターネットとの接続性が失われる場合があり、その場合はTwitterも利用できない。
- (3) TwitterはTwitter Inc.という一民間企業のサービスであり、将来にわたってサービスされる保証はない(他の会社の類似したサービスについても同様)。

#### 2. 研究の目的

上記の問題に対処するため、本研究ではTwitterと類似したサービスをP2PネットワークとDTN(Delay/Disruption Tolerant Network)を用いて構成する。

#### 3. 研究の方法

P2P Twitterを実現するためには以下の課題を解決する必要がある。このためのアルゴリズムを考案する。また、P2P Twitterを実装し、実証実験を行う。

P2Pネットワーク上における複製管理を考慮した信頼性のあるアプリケーションレベルマルチキャスト(ALM)手法

P2P Twitterにおけるツイートの配信はある種のALMと見なすことができる。人気のあるアカウントはフォロアーが数万人に上ることがあるため、スケーラビリティが必要である。また、P2P Twitterでは、あるユーザAのツイート内容は、Aのノードがオフラインの状態でも取得できる必要があるため、ツイートの複製管理も必要である。このため、複製管理を考慮したスケーラブルで信頼性のあるALM手法を考案する。

P2PネットワークとDTNを融合させたオーバーレイルーティング手法

P2P Twitterの各ノードは、インターネットへの接続性がある場合はP2Pネットワークに接続し、そうでない場合はDTNにより通信する。ノードが通信する際、相手ノードがP2Pネットワークに接続しているのかDTNに接続しているのかを予め知る必要はない。図のように離れたDTNノード間

のメッセージはP2Pネットワークによってルーティングされる。この機能は、特に災害時にネットワーク的に孤立した複数の避難所の間で通信する場合を想定したものである。

現実のインターネットに即した構造化P2Pネットワークの実現

現実のインターネットでは、ノードの大部分はNATルータの配下にあるため、実用的なP2Pアプリケーションを構成するためにはNATを考慮することが必要不可欠である。また、高遅延、低帯域なモバイルノードも増加しているが、このようなノードをブロードバンド接続のノードと同じように扱うと非効率的である。これらを考慮した構造化P2Pネットワークを実現する。

#### 4. 研究成果

KiZUNA(本研究で実現するP2P Twitter)に関して以下の成果が得られた。

- (1) Skip Graph上における故障ノードの存在を考慮したレンジクエリアルゴリズムを考案し、P2P基盤ソフトウェアPIAX上に実装した。提案アルゴリズムは、レンジクエリ実行中に参加ノードが突然離脱・故障してもレンジクエリの実行を継続し、また同時にネットワークボロジを修復できる。これによりSkip Graph上でのレンジクエリを安定して実行可能となった。
- (2) Skip Graphに対して、ノードの挿入時間と検索時間の双方を改善する手法を考案した。Skip Graphは複数レベルの双方向連結リストから構成されるが、提案手法では(1)各連結リストにおいて左右のポインタに加え、左方向の複数のノードへのポインタを保持する、(2)各レベルの経路表に上位レベルの連結リストの情報も格納する、といった技法を用いる。提案手法はレンジクエリの高速化にも効果がある。これにより、多数のフォロアーに対するメッセージの配送が高速化できる。
- (3) 構造化P2Pネットワークにおいて、検索頻度が高いノードを高速に検索するために、検索頻度が高いノードに対しショートカットリンクを生成する手法を考案・評価した。提案手法はP2Pネットワーク全体に関する大域的な情報(単位時間あたりの平均クエリ数など)を必要とせず、また既存の手法よりもショートカット生成のコストが低い。これにより、P2P Twitterにおいて人気のあるアカウントのメッセージの取得処理を高速化できる。
- (4) KiZUNAでは、Twitterでよく使われる次の機能を実現する。(1)ユーザの購読、(2)メッセージの配送、(3)ハッシュタグ、(4)全文検索、(5)検索ストリーム。さらに、KiZUNAはP2Pシステムで実現するため、(6)発信されたメッセージを複数のノード上に複製することにより発信者のノードがオフラインの状態でも取得できる機能を備える。これらの機能をPure P2Pシ

- システムで実現する方式を検討しシステムの設計を行った。提案方式ではKiZUNAは4つの構造化P2Pネットワーク(2つのSkip Graphと2つのBloom Filter Skip Graph(以下BFSG))を用いて実現する。既存のP2Pベースのマイクロブログサービスの研究の多くは(1)と(2)のみ実現しているが、(1)から(6)までのすべての機能を実現しているものは知られていない。
- (5) 全文検索機能および検索ストリーム機能で用いるBFSG(分散環境で全文検索を行うための構造化P2Pネットワーク)をP2P基盤ソフトウェアPIAX上に実装した。これは、まず(以前に研究代表者が実装した)Skip Graphを拡張して集約Skip Graphを実装し、さらに集約Skip Graphを拡張してBFSGを実装する形で行っている。集約Skip Graph, BFSGとも、実際のネットワーク環境で動作する実装は世界初である(集約Skip GraphはSkip Graph上で集約値(最大値, 最小値, 平均値など)を効率よく求めるための構造化P2Pネットワークであり様々な応用が考えられる)。
  - (6) 集約Skip Graph及びBFSGは、いずれもSkip Graphをベースとしている。しかし、Skip Graphは複雑で、新しい機能を追加しつつバグの少ない安定な実装を得ることは難しいことが判明した。このため、新たにChord#をベースとした新しい構造化P2PネットワークSuzakuを実装した。Suzakuでは、(1)finger tableを双方向化、(2)対数の底を選択可能、(3)ネットワーク距離を考慮したルーティングが可能、といった特徴を備える。さらに、その上でノード故障を考慮した高速な範囲検索アルゴリズムを考案し、実装した。SuzakuはP2P基盤ソフトウェアPIAXの一部として実装・公開している。
  - (7) Suzakuにおいて、ノード故障を考慮したレンジクエリアルゴリズムを実装した。また、集約Skip GraphおよびBFSGと同等の機能を実装した(どちらも論文投稿予定)。
  - (8) KiZUNAの基礎的な機能(ユーザの購読とメッセージの配送, 簡単なGUI)を実装した。
  - (9) DTN部分を試作した。Bluetoothで通信するために、Javaインタフェースを提供するBluecoveライブラリを使用して実装を試みたが、Bluecoveは開発が停止しており、最近のOSはサポートされていないため、開発対象をAndroidに切り替えて実装した。BluetoothのDevice Discoveryによって相手を探索し、SPP(Serial Port Profile)で通信する。DTNのアルゴリズムとしては、単純なEpidemicルーティングを実装した。
  - (10) NATを考慮したP2Pネットワークを実現するために、ウェブブラウザ同士で直接

コネクションを確立するWebRTCに注目した。WebRTCではシグナリング処理のために通常Webサーバを用いるが、Webサーバが単一障害点及びスケラビリティ上のボトルネックとなるため、Node.js上で動作するノードがシグナリング処理を行う方式を提案し、フレームワークとして実装した。

- (11) さらに、WebRTC上に構造化P2Pネットワークでよく用いられる双方リングトポロジを実現する方式を上述のフレームワーク上に実装した。

#### 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7件)

川井悠司, 李佼柯, 安倍広多, ウェブブラウザ間P2Pネットワークのためのコネクション管理フレームワーク, 2016年電子情報通信学会総合大会 B-7-11, 査読無, 2016, p.144

李佼柯, 川井悠司, 安倍広多, ウェブブラウザ間P2Pネットワークにおける双方向リング構築手法, 電子情報通信学会2016年電子情報通信学会総合大会予稿集 B-7-12, 査読無, 2016, p.145

Kota Abe, Mikio Yoshida: Constructing Distributed Doubly Linked Lists without Distributed Locking, In Proceeding of the IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing 2015 (P2P 2015), 査読有, 2015  
DOI: 10.1109/P2P.2015.7328521

安倍広多, 寺西裕一, 高い耐故障性と検索性能を実現する構造化P2PネットワークSuzaku, 2015年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集(通信講演論文集2), 査読無, 2015, pp. SS-91-92

播磨裕太, 安倍広多, 石橋勇人, 松浦敏雄, KiZUNA: P2Pネットワークを用いた分散型マイクロブログサービスの実現, 情報処理学会研究報告, 査読無, 2014-IOT-24, 2014, pp.1-6

成茂優季, 安倍広多, 石橋勇人, 松浦敏雄, 構造化P2Pネットワークにおけるコンテンツの人気度を考慮したショートカットリンクの生成方法とその評価, 情報処理学会研究報告, 査読無, 2013-DPS-155, 2013, pp.1-6

播磨裕太, 安倍広多, 石橋勇人, 松浦敏雄, Skip Graphをベースとした高速な挿入と検索が可能な構造化オーバレイの提案, 信学技報, 査読無, 112巻, 2013, pp.57-62

[学会発表](計3件)

川井悠司, 李佼柯, 安倍広多, ウェブブラウザ間P2Pネットワークのためのコネクション管理フレームワーク, 第8回広域

センサネットワークとオーバレイネットワークに関するワークショップ，東京工業大学（東京都目黒区），2016/3/23

李俊柯，川井悠司，安倍広多，ウェブブラウザ間P2Pネットワークにおける双方向リング構築手法，第8回広域センサネットワークとオーバレイネットワークに関するワークショップ，東京工業大学（東京都目黒区），2016/3/23

播磨裕太，安倍広多，高速な挿入と検索が可能なSkip Graphの改良，第6回広域センサネットワークとオーバレイネットワークに関するワークショップ，慶應義塾大学三田キャンパス（東京都港区），2013/5/18

〔その他〕

ホームページ等：<http://www.piax.org/>  
(本研究の成果の一部を P2P 基盤ソフトウェア PIAX の一部として公開している)

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

安倍 広多 (ABE, Kota)

大阪市立大学・大学院創造都市研究科・教授

研究者番号：40291603