

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540030

研究課題名(和文) 弱構造型ピアツーピア・ネットワークの実現に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental Research on Weakly Structured Peer-to-Peer Network Implementation

研究代表者

吉田 紀彦 (YOSHIDA, Norihiko)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：00182775

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ピアツーピア(P2P)ネットワークについて、分散非構造型における「やみくも探索」(検索パケットのフラッディング)のように過大なネットワーク通信を引き起こすことなく、一方で、構造型における分散ハッシュ表のように厳密なネットワーク構造化を課すこともなく、柔軟かつ効率的な検索方式を実現することを目指した。そして、名前空間をBツリーないしB+ツリーに類するデータ構造に写像してP2Pネットワーク上に展開する方式について成果を挙げた。派生的な研究成果も含めて、複数の国際学術誌論文および国際会議論文を公表し、複数の学会表彰も受けるなど、高い評価を得た。

研究成果の概要(英文)：This research aimed at designing and constructing a peer-to-peer (P2P) network with a weak structure. An unstructured P2P, which uses packet flooding, causes severe network congestion, whereas a structured P2P, which uses a distributed hash table, imposes a strict and rigid network structure. Unlike either of them, we investigated a P2P network based on "name space" mapped on to a loose structure like distributed B-tree and B+-tree. The outcomes are fruitful enough including some international journal papers and international conference papers, some of which won best paper awards.

研究分野：計算機ネットワーク

キーワード：分散システム 情報ネットワーク ネットワークアーキテクチャ ピアツーピア ネットワーク構造化

1. 研究開始当初の背景

ピアツーピアネットワーク(以下P2P)は、自律分散的な情報共有・配信機構として、インターネットにおいて最も重大な課題の一つである局所的負荷集中を根底から解決する技術としても、危機分散の徹底化を実現する技術としても、モバイル環境におけるネットワーク基盤技術としても期待されている。

P2Pではコンテンツの所在(インデクス)の特定、すなわち検索が最も重要な処理となっており、現在のところその方式は、少数の例外はあるものの、非構造型と構造型、さらに非構造型は集権型と分散型に大別される。(1) 集中非構造型: ネットワーク内にインデクス情報を集中的に管理するインデクス・サーバ(マネージャやブローカとも呼ばれる)を置く。このサーバに負荷が集中し、脆弱性の中心ともなる。(2) 分散非構造型: ノードが検索パケットを隣接ノード全てに送り、これをネットワーク内で繰り返すことで、コンテンツを保持するノードに到達することを期待する。過大なトラフィックが発生する。現在はBitTorrentなど、この2つのハイブリッド型が最も多用されている。(3) 構造型: ネットワークを分散ハッシュ表(DHT)を用いて構造化し、高速(中継ノード数が少ない)かつ効率的(パケット数が少ない)な検索を実現する。グリッド、リング、ツリー、メッシュなど、厳密な構造化が必要となる。実際のネットワークではこの厳密な構造化は不可能といってよく、真の普及には至っていない。他に、例えばDHTでなくBツリーに準じたデータ構造をそのままネットワークに写像する方式もあるが、後述するような欠点を持つ。

過去、科学研究費補助金 特定領域研究「情報爆発IT基盤」(公募研究)(平成18-22年度)「大規模分散情報共有・配信に向けた適応型ピアツーピアシステムの研究」、同 基盤研究(B)(一般)(平成20-22年度)「高信頼性ピアツーピアネットワークの構築に関する研究」などの助成を受けており、本研究の下地となっている。

2. 研究の目的

上記のような背景を踏まえ、分散非構造型P2Pのように過大なネットワーク通信を引き起こすことなく、一方で、構造型P2Pのように厳密なネットワーク構造化を課すこともなく、柔軟かつ効率的な検索方式を実現することを目指した。そして、名前空間をBツリーないしB+ツリーに類するデータ構造に写像してP2Pネットワーク上に展開する方式について、その基礎の探求を目的にすえた。

(1) BツリーないしB+ツリーに類するデータ構造をP2Pネットワーク上に展開した構成方式として、Skip Graphがある。Skip GraphはSkip Listというデータ構造をP2P化したネットワークであり、ノードは識別のために与えられたキー順に並んでおり、率的な検索が可能であると同時に、レンジ検索なども可能である。しかし、ノードとキーが一對

一の対応付けとなっているため、一つのノードが複数のコンテンツを保持することが考慮されていない。しかし、実ネットワークに適用することを考えれば、一つのノードが複数のコンテンツを保持することが前提とされるべきであり、実際には複数保持した場合の負荷分散を考える必要がある。これを解決する新しいネットワーク構造を考案する。

(2) P2P上のコンテンツについて、その類似度から距離を求め、その距離に基づいてネットワーク構造を構成する手法があり、これを「名前空間の弱構造化」と呼ぶ。検索時にはこの構造の上で、名前と検索キーワードとの類似度に従って、経路制御を行なうことになる。これを具体化するシステム実装を検討する。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、Skip Graphの根本的な改良を図るため、動的負荷分散を主眼とするP2PネットワークであるP-Ringに注目した。P-Ringも分散Bツリーに基づくネットワーク構造を持ち、変化するコンテンツ数に応じて動的に構造を変化させることで適応的に負荷分散を行なっている。

Skip GraphにP-Ringの技術を導入することで、効率的で柔軟なコンテンツ検索と動的な負荷分散を両立した新しいP2Pネットワークを設計・構築した。そして、プロトタイプを作成して実験・評価を行ない、本手法が動的な負荷分散を効率的に実現することを確認した。図1および2が結果の一部であり、Skip Graphに比較して、ネットワーク通信をほとんど増やすことなく(図1)、ノード間の負荷のばらつきを大幅に抑えることに成功している(図2)。

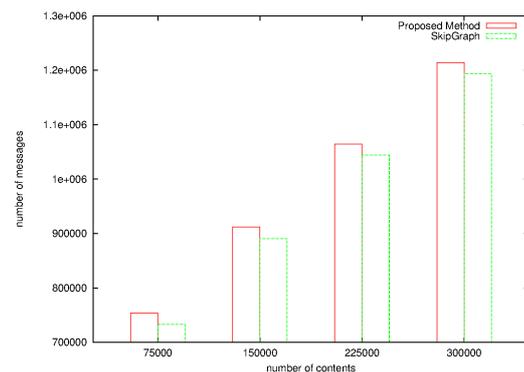


図1: ネットワーク通信量のSkip Graphとの比較

(2) 本研究では、名前空間の弱構造化に関わる類似度の算出に関して、ノードが保持する複数のコンテンツどうしの類似度をノードどうしの類似度に集約する、という着想に至ることができた。この集約した類似度に基づいてノードどうしの接続関係を再構成することで、ネットワーク全体を弱構造化していく。

この手法について、コンテンツの増減への対

応、ノードの参加離脱への対応なども設計した。そして、プロトタイプを作成して実験・評価を行ない、柔軟な検索が効率的に実現できることを確認した。図3および4が結果の一部であり、弱構造化を行なう前(図3)と後(図4)でのネットワーク構造の変化を表示したものである。同色で表す類似度の近い、すなわち距離の近くなるべきノード同士が、弱構造化の後では互いに結ばれていることが見てとれる。

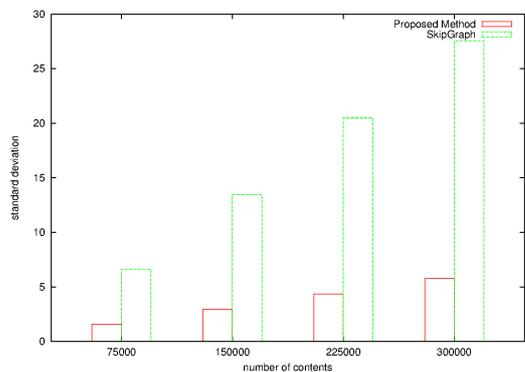


図2: 負荷のばらつきSkip Graphとの比較

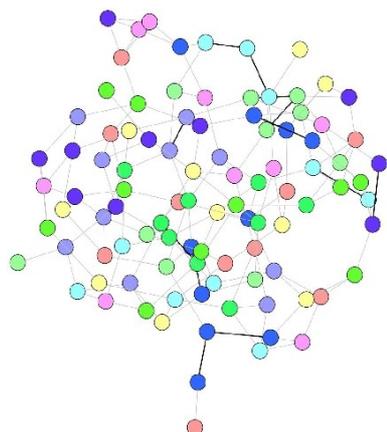


図3: 名前空間の弱構造化の前

4. 研究成果

直接の研究成果としては、分散Bツリーに基づく弱構造型P2Pについて国際会議論文1編、名前空間の弱構造化について国際学術誌論文1編、国際会議論文1編(最優秀論文賞)の成果を挙げた。この成果の一部はさっそく、並行して取り組んでいた科学研究費補助金 基盤研究(B)(一般)(平成24-26年度)「モバイルスレッドによるピアツーピア・サービス基盤に関する研究」においても活用を図った。

また、成果の一部をクラウドに応用するなどして、適応型のプロビジョニング(資源配分予測)や負荷均衡化を実現した研究成果は、国際学術誌論文2編、国内学術論文誌1編、国際会議論文1編となっている。また、Webサービスにおけるサービス発見の効率化に関する研究にも着手して、予備的な成果を国内学会(査読なし)で発表した。

関連する研究成果としても、Delay Tolerant Networksの効率化、P2Pストリーミングの高信頼化、ネットワーク一般に関する設計技術の高度化などに取り組み、それぞれ国際会議論文として発表した。特に、P2Pストリーミングの論文は最優秀論文賞を受賞した。そして、英文専門教科書の共同執筆1編という成果にもつながった。

以上のように、弱構造型P2Pネットワークの実現に向けて様々な観点・角度から研究を進め、全体として然るべき成果を挙げることができたものとする。

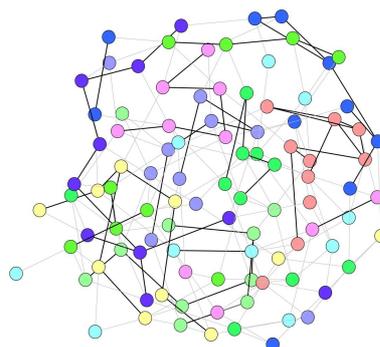


図4: 名前空間の弱構造化の後

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4件)

(全て全文査読)

[1] Takuya Yamaguchi, Andrii Zhygmanovskiy, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Similarity-Based Content Retrieval in Self-Organizing Peer-to-Peer Networks", British Journal of Mathematics & Computer Science, Vol.5, No.2, pp.456-470 (2015)
DOI: 10.9734/BJMCS/2015/14177

[2] Andrii Zhygmanovskiy, Norihiko Yoshida, "Cloud Service Provisioning Based on Peer-to-Peer Network for Flexible Service Sharing and Discovery", Journal of Computer and Communications, Vol.2, No.10, pp.17-31 (2014) DOI: 10.4236/jcc.2014.210003

[3] 神屋 郁子, 川津 祐基, 下川 俊彦, 吉田 紀彦, "複数のクラウドを利用したサーバ広域分散配置システムの構築", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J96-B, No.10, pp.1164-1175 (2013)

[4] Andrii Zhygmanovskiy, Norihiko Yoshida, "Peer-to-peer Network for Flexible Service Sharing and Discovery", Lecture Notes in Artificial Intelligence, No.8076, Springer, pp.152-165 (2013)
DOI: 10.1007/978-3-642-40776-5_15

[学会発表] (計 15 件)

[1] Andrii Zhygmanovskiy, Norihiko Yoshida, "Distributed Cloud Bursting Model Based on Peer-to-Peer Overlay", Proc. International Workshop on Data-Driven Self-Regulating Systems, 採録決定, Rome, Italy (2015.8.24-26)

[2] 柴崎 良, 松本倫子, 吉田 紀彦, "動的再構成可能なP2PストリーミングネットワークのSDNによる実現", 電子情報通信学会 技術研究報告 (情報ネットワーク研究会), 発表決定, 北海道大学, 北海道・札幌市 (2015.7.16)

[3] 小野 和輝, 松本 倫子, 吉田 紀彦, "P2PストリーミングネットワークのNetwork Motifsを用いた動的再構成", 電子情報通信学会 技術研究報告 (情報ネットワーク研究会), 発表決定, 北海道大学, 北海道・札幌市 (2015.7.16)

[4] 銭之光, 松本 倫子, 吉田 紀彦, "アドホックネットワークのクラスタリングにおける負荷分散", 電気学会 平成27年全国大会論文集, 3, 34-35, 東京都市大学, 東京都・世田谷区 (2015.3.26)

[5] 小関 好尚, 松本 倫子, 吉田 紀彦, "Webサービス連携における分散的なサービス発見", 情報処理学会 第77回全国大会論文集, 3, 167-168, 京都大学, 京都府・京都市 (2015.3.19)

[6] Koki Taguchi, Andrii Zhygmanovskiy, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Context Dependent Messages in Delay/Disruption/Disconnection Tolerant Networks", Proc. 6th International Conference on Emerging Network Intelligence, pp.1-5, Rome, Italy (2014.8.25)

[7] Kazuki Ono, Andrii Zhygmanovskiy, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Resilient Live-Streaming with Dynamic Reconfiguration of P2P Networks", Proc. 6th International Conference on Emerging Network Intelligence, pp.6-11, Rome, Italy (2014.8.25) (**Best paper award**)

[8] Shingo Nakano, Tatsuya Shibuta, Masatoshi Arai, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Reusable Modelling of Diagnosis Functions for Embedded Systems", Proc. 8th International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences, pp.12-17, Rome, Italy (2014.8.25)

[9] Shingo Kameyama, Masatoshi Arai, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Aspect-Oriented Implementation of Concurrent Processing Design Patterns", Proc. 9th International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, pp.146-150, Seville, Spain (2014.6.26)

[10] Masatoshi Arai, Toru Eguchi, Norihiko

Yoshida, "A Human Driving Model Using Combined Functions of UML, MATLAB/Simulink, and Code-Library", Proc. FISITA 2014 World Automotive Congress, 8 pages, Maastricht, The Netherlands (2014.6.4)

[11] 松下 和機, 松本 倫子, 吉田 紀彦, "適応型コンテンツ配信ネットワークにおけるOpenFlowを用いたリクエスト誘導", 情報処理学会 第76回全国大会論文集, 3, 469-470, 東京電機大学, 東京都・足立区 (2014.3.11)

[12] Yoshihisa Okano, Andrii Zhygmanovskiy, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Folksonomy-Based Improvement of Extraction-Based Automatic Summarization", Proc. 2nd International Conference on Intelligent Control, Modelling and Systems Engineering, pp.96-102, Boston, U.S.A. (2014.1.29)

[13] Takeshi Moriai, Andrii Zhygmanovskiy, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Dynamic Load Balancing in Skip Graph", Proc. 2nd International Conference on Intelligent Control, Modelling and Systems Engineering, pp.212-217, Boston, U.S.A. (2014.1.29)

[14] 中野 真吾, 渋谷 達也, 新井 正敏, 松本 倫子, 吉田 紀彦, "組込みシステム向け診断機能のモデル段階での組込みと部品化", 組込みシステム・シンポジウム2013論文集, pp.57-65, オリンピック記念青少年センター, 東京都・渋谷区 (2013.10.17)

[15] Takuya Yamaguchi, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Dynamic Reorganization of P2P Networks Based on Content Similarity", Proc. 5th International Conference on Emerging Network Intelligence, pp.77-81, Porto, Portugal (2013.10.3) (**Best paper award**)

[図書] (計 1 件)

[1] Mukaddim Pathan, Ramesh K. Sitaraman, Dom Robinson, et al. (Norihiko Yoshida: 計63名中27番目), "Advanced Content Delivery and Streaming in the Cloud", 504 pages (pp.259-271), Wiley (2014)

[その他]

ホームページ等

<http://www.yolab.jp/pub/adnet.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 紀彦 (YOSHIDA, Norihiko)
埼玉大学・理工学研究科・教授
研究者番号:00182775