

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：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300023

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Research on Peer-to-Peer Service Platforms Based on Mobile Threads

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) 6,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ピアツーピア(P2P)ネットワークを、サービス提供基盤として位置づける「P2Pサービス基盤」について、その確立を目指した。そして、P2Pにおける規模追従性、負荷分散と均衡化、そして信頼性や障害耐性のためのレジリエンスを、従来のコンテンツではなくサービスを単位として実現する要素技術、特にモバイルスレッドの活用、それらの統合化について成果を挙げた。複数の国際学術誌論文や国際会議論文を発表し、それらには複数の最優秀論文表彰も含まれる。さらに英文専門教科書の分担執筆にもつながった。

研究成果の概要(英文)：This research aimed at designing and constructing a peer-to-peer (P2P) service platform. We investigated its base technologies of scalability, load distribution and balancing, resilience, their mobile-thread implementation, and their integration. The outcomes are fruitful enough including some international journal papers and international conference papers, some of which won best paper awards. Collaborative composing of an international academic textbook should also be noted.

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 ピアツーピア サービス基盤 モバイルスレッド

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。そして、現在のWebがコンテンツ共有・配信にとどまらずWebサービスとしてサービス提供基盤となっているのと全く同様に、P2Pも現在のコンテンツ基盤から将来はサービス基盤になっていくであろうことは間違いない。このようなP2Pサービス基盤を構築するには、従来のP2PにもWebサービスにも見られない新たな課題を解決しなければならない。

ここでサービスは、データ変換やストリーム処理のような単純なパーツから、単体でもアプリケーションと呼べるような地図サービスなどまで、様々なものを含むが、コンテンツとの違いとしてそれらに共通するのは、実行主体(プロセスないしスレッド)を持つことである。それらは任意のノード上で実行され、負荷分散や信頼性向上の目的で動的に複製や移送、再構成がなされる。

一方で、P2Pサービス基盤が従来のWebサービスやいわゆるクラウドと根本的に異なるのは、中央集権機構のない自律分散的なシステムということである。例えばクラウドでは、システム全体を把握して制御する機構が存在し、その統制下で各ノードが他律的に動作する。一方、P2Pサービス基盤では、どのノードも自らの近傍のみの状況に従って、様々なサービス要求に対して自律的に動作し、ネットワーク全体では複数のサービスが互いに独立に、または連携して動作する。したがって、大局的な最適化は原理的に不可能で、局所的な最適化の総体として準最適化ないしパレート最適化を目指すことになる。

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、P2Pサービス基盤の確立に向けて、本研究では以下の項目を目的にすえた。

(1) モバイルスレッドによる負荷分散と均衡化

ネットワークの負荷分散と均衡化に向けては、各ノードの負荷状況に応じたサービスの動的移送や複製が必要となる。例えばグリッドでは、各種プロビジョニングに基づいて負荷予測を行い、それによって仮想マシン(VM)イメージの複製を配置することで、対応している。しかし、VMイメージが巨大になること、実行時の負荷変動への対応が難しいなどの問題がある。本研究では、

サービスの実行やサービス間の連携関係を保ったままでの移送・複製を、VMイメージよりも軽量のモバイルスレッドで行う技術を構築する。

(2) 「弱構造型」P2Pの適用

ネットワークの負荷軽減と最適化に向けてはP2Pそのものの構成方法も重要である。従来の「やみくも探索」(検索パケットのフラッディング)に基づく非構造型P2P、分散ハッシュ表に基づく構造型P2Pに加えて、Bツリーに似たインデクス構造をネットワーク上に展開する弱構造型の構成が提案されている。一方で、コンテンツやサービスの属性にまで踏み込んで名前空間を弱構造化する手法も、「コンテンツ・セントリック」として研究が進んでいるので、それらの応用性や可能性を探る。

(3) レジリエンスの観点からの信頼性確保

P2Pに特有の問題として、障害に対する耐性という意味での信頼性および「信用できる」という意味での信頼性を、ノード単位でなくネットワーク全体で考える必要、すなわちレジリエンスが重要となる。レジリエンスとは、個々のノードの信頼性を高めるのではなく、一部のノードが信頼性を失ってもネットワーク全体で信頼性を保つていくための技術であり、本研究でもP2P上での構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) モバイルスレッドによる負荷分散と均衡化

本研究では、まず前段階として、モバイルVMによるネットワーク資源の動的配置の課題に取り組み、そこでの成果を発展される形で、モバイルスレッドによる負荷分散と均衡化の実現を目指した。これは、従来型の技術の発展形として、目的達成の確度を高めるためである。

前者は、広域ネットワーク上にサーバを分散配置しておき、VMを必要に応じて配置することで負荷分散と均衡化を図るものである。VMの配置は事前に設定されているポリシーに従ってなされ、ポリシーは、ノード資源利用率・ネットワーク利用帯域などを尺度として、コスト優先・性能優先・遅延低減優先など、様々なものを設定できる。この方式について、プロトタイプを、米国東部・米国西部(2拠点)・アイルランド・シンガポール・オーストラリア・ブラジル・日本、以上の8拠点からなる実際の地球規模ネットワークとして構築し、実験および評価を行なった。そして、インターネットで実測された負荷パターンを与え、変動に応じて動的VM配置が実現でき、リクエスト負荷の動的配分がなされることを確認した。

後者は、サービスの一例としてデータ解析を取り上げ、複数のデータ解析が協調して動作する状況で、負荷の不均衡を検出するとともに過去の履歴から負荷変動を予測し、それによって負荷の低いノードへ、実行状態を保持したまま移送し、その新ノード上で実行を継続することで動的に均衡化を行なう方式を設計した。そして、複数プロセッサの小規模ネットワークにプロトタイプ

ブ実装して実験・評価を行なった。図1が結果の一部であり、移送なしの場合、高負荷ノードからランダムに選んだ別ノードに移送する場合、予測も含めて最も低負荷のノードに移送する場合を比較している。このように、適切な負荷均衡化が達成できたとと言える。

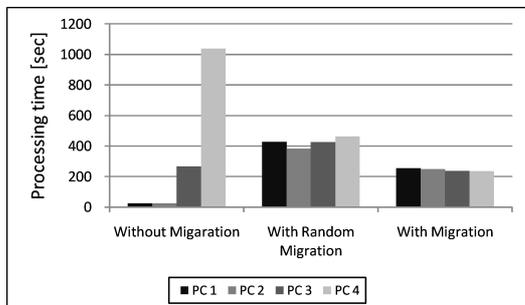


図1: 動的な負荷均衡化の効果

(2) 「弱構造型」P2Pの適用

「弱構造型」P2Pに向けた研究の中で最も大きな成果を挙げた「名前空間の弱構造化」についてまとめる。これはコンテンツやサービスについて、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成する手法である。そして検索時には、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。類似度の算出にはブルーム・フィルタを用い、対象ノードの近傍ノードに配置する。

ブルーム・フィルタとは複数のハッシュ関数の値をビット列にマッピングしたものであり、データの存在性や類似度を高速に判定できる。経路上のブルーム・フィルタを順次参照していくことで、検索の経路を決定していく。この手法について、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2が結果の一部であり、本手法に基づくネットワーク再構成を行なった場合のほうが、行なわない場合よりも、同一条件で検索成功率が向上していることを示している。

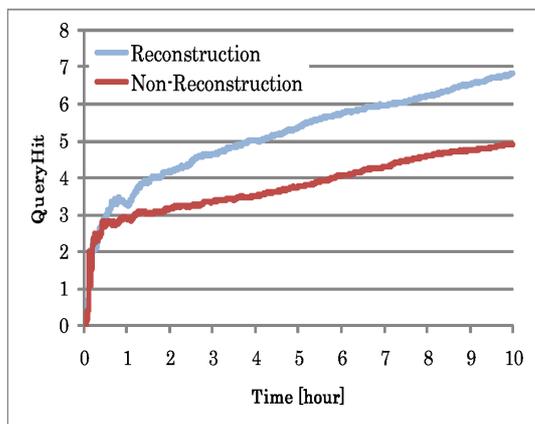


図2: 弱構造化に基づく再構成の効果

(3) レジリエンスの観点からの信頼性確保

本研究では、サービスの一例としてストリーミング処理を取り上げ、動作中に一部のノードやネットワークの一部が障害を起こしても、ネットワークを再構成して、全体としては動作を継続していくレジリエンスの方式を考案・設計した。レジリエンスとは「変化の存在下において頻繁に生じる障害や重度の障害を回避する粘り強さ」を意味し、従来はノードやネットワークの強化に焦点が当てられ、特にP2Pで不可欠となる、ネットワーク再構成によってこれを確保する方式については研究が進んでいない。本研究では、ネットワーク信頼性へのネットワーク・モチーフの応用についての関連研究を参考に、この関連研究が静的なネットワーク構築にしか取り組んでいないのに対して、動作中の実行時におけるレジリエンス確保を実現した。

ネットワーク・モチーフとはネットワークにおける部分グラフのパターンのことであり、元来は複雑ネットワークについて、従来型のマクロな特徴量でなく、ミクロな特徴量として提案された。特にシステム生物学などで活用されつつある。本研究では、障害発生後のネットワーク再構成時において、ネットワークの近傍構造を決定するために、このネットワーク・モチーフを用いる。そして、プロトタイプを作成して実験・評価を行ない、効果を確認した。図3が結果の一部であり、時間ごとにネットワークの安定度をグラフ化した。途中、2回の障害を意図的に発生させ、いったんは不安定化するものの、短時間の内に自律的な再構成がなされて、再び安定することを示している。このように、適切なレジリエンスが達成できたとと言える。

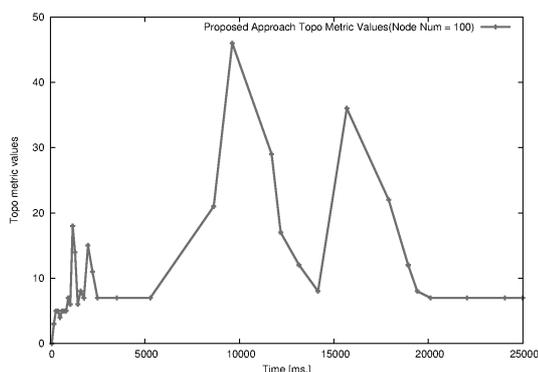


図3: 動的レジリエンス確保の効果

4. 研究成果

(1) モバイルスレッドによる負荷分散と均衡化

モバイルスレッドの動的移送に先立って行なったモバイルVMによるネットワーク資源の動的配置について、国内学術誌論文1編などの成果を挙げた。そして、モバイルスレッドによる負荷分散と均衡化について、国際学術誌に論文投稿した。

(2) 「弱構造型」P2Pの適用

P2Pの新たな構成方法に向けて、名前空間の弱構造化について、分散データベースの極細粒度化も含め、国際学術誌論文2編、国際会議論文1編(最優秀論文賞受賞)、Bツリーの構造のネットワーク展開について、国際会議論文1編の成果がある。前者は、コンテンツやサービスの属性にまで踏み込んでネットワークを構成する着想が評価された。

(3) レジリエンスの観点からの信頼性確保

P2Pサービスの代表例として特にP2Pストリーミングを取り上げ、その動的最適化とともにレジリエンスを確保する方式について、国際会議論文1編(最優秀論文賞受賞)の成果を挙げた。複雑ネットワークの解析に用いられ始めているネットワーク・モチーフを応用したアプローチが評価されたものである。

加えて、以上の研究成果の一部を具体的にクラウド構築技術に応用し、適応型のプロビジョニングを動的P2Pによって可能にした成果を、国際学術誌論文1編として発表した。

以上の他にも、派生的なものとして、下記のような成果を挙げている。

(4) レジリエンスに関連する技術であるDelay Tolerant Networksの効率化、および、ネットワーク一般および分散システムに関する設計技術の高度化

これらについても、複数の国際会議で論文発表を行なった。さらに、以上の評価が、

(5) 適応型ストリーミングに関する英文専門教科書の分担執筆

につながった。このように、本研究の一連の成果は世界的にも高い評価を得ることができ、全体として然るべき成果を挙げることができたものと考ええる。

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17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] 樋崎 修二, "SAT問題における決定レベルに基づく動的リスタート", 第13回情報科学技術フォーラム論文集, No.2, pp.321-322, 筑波大学, 茨城県・つくば市 (2014.9.4)

[5] 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)

[6] 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**)

[7] 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)

[8] 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)

[9] 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)

[10] 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)

[11] 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)

[12] 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)

[13] Yuko Kamiya, Toshihiko Shimokawa, "A Study about Dynamic VM Image Deployment for Autoscaling across Multiple Cloud Systems", 電子情報通信学会 技術研究報告 (インターネットアーキテクチャ研究会), No.IA2013-33, pp.41-44, Seoul, Korea (2013.10.10)

[14] 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)**

[15] 川津 祐基, 神屋 郁子, 下川 俊彦, "動的広域分散配置型サーバシステムにおけるサーバ配置位置選択システムの開発", 電子情報通信学会 技術研究報告 (インターネットアーキテクチャ研究会), No.IA2012-76 pp.31-35, 機械振興会館, 東京都・港区 (2013.2.14)

[16] 古川 千尋, 神屋 郁子, 下川 俊彦, "ユー

ザの複数端末利用に対応したネットワークアクセス制御システムの開発", 電子情報通信学会 技術研究報告 (インターネットアーキテクチャ研究会), No.IA2012-77 pp.37-42, 機械振興会館, 東京都・港区 (2013.2.14)

[17] 神屋 郁子, 川津 祐基, 下川 俊彦, "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提案", 電子情報通信学会 技術研究報告 (インターネットアーキテクチャ研究会), No.IA2012-67 pp.49-53, 広島市立大学, 広島県・広島市 (2012.12.6)

[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

(2) 研究分担者

下川 俊彦 (SHIMOKAWA, Toshihiko)
九州産業大学・情報科学部・教授
研究者番号:60301347

榑崎 修二 (NARAZAKI, Shuji)
長崎大学・工学研究科・准教授
研究者番号:80253475

松本 倫子 (MATSUMOTO, Noriko)
埼玉大学・理工学研究科・助教
研究者番号:90447277