

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500082

研究課題名(和文)信用度計算の頑健性に着目したP2Pシステムの攻撃耐性の研究

研究課題名(英文)A study on the attack resilience of P2P systems considering the robustness of trustworthy calculations

研究代表者

藤田 聡 (FUJITA, SATOSHI)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40228995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、P2Pシステムに対する悪意のある振る舞いを抑制するための方法について、システム総運用コストの最小化という観点から提案をおこなった。まず非構造型P2P上の信用度計算アルゴリズムに関しては、理論的な解析の結果、提案手法がオリジナルのEigenTrustアルゴリズムと比べて十分低い計算複雑度を持っていることが明らかとなった。いっぽう構造型P2Pに関しては、スターグラフをベースにしたオーバーレイ上に実現された分散ハッシュテーブル上で信頼度計算を頑健におこなう手法をあらたに提案し、その性能を理論的に評価した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we propose several methods to minimize the overall cost to bound malicious behavior of peers participating in a P2P system. More concretely, we propose a method to calculate the reliability of peers in unstructured P2P and verified that the method reduces the complexity of previous methods such as EigenTrust. We further propose a calculation method for structured P2Ps which uses the overlay based on the contracted star graph.

研究分野：情報工学

キーワード：P2P 信用度計算 頑健性 オーバーレイネットワーク インセンティブ方式

1. 研究開始当初の背景

近年、集中的なサーバを用いることなく質の高いサービスを提供することのできるピアツーピア(P2P)型の分散システムが高い注目を集めている。P2Pシステムでは、システムに参加しているノード(ピア)がサービスを受け取るだけでなく提供する側にもまわることによって、システム全体の高い規模拡張性を実現することができる。その一方で、サービスを提供するピアが悪意をもって他の参加者に対して攻撃をした場合などにきわめて脆弱であることも知られている。身元のはっきりしたピアのみに参加を許すようなクローズドなシステム構成をすることでそのような状況を回避することはできるが、そのような方法をとることでP2Pシステムの本来持っているオープン性を失わせてしまうことになる。

2. 研究の目的

本研究では、P2Pシステムに対する悪意のある振る舞いを抑制するための方法について、システム総運用コストの最小化という観点から議論していく。具体的な目的は以下の3点である：

- 1) 悪意のある振る舞いを条件付きのビザンチン故障などとして数理モデル化し、その性質をあきらかにすること
- 2) そのようなピアが存在する系における分散的な合意形成法を提案しその計算量を理論的に解析すること
- 3) 分散計算によって得られた近似的な評判値を様々な処理、たとえば情報検索やコンテンツ配信などに適用し、そのコスト解析をおこなうこと

これらの各ポイントに対しては、計算量理論的なアプローチによる厳密な解析をおこなうとともに、シミュレーションによる実環境上での効果の予測もあわせておこなう。

3. 研究の方法

まずP2P上の信用度計算問題の数理的構造を非構造型P2Pと構造型P2Pの二つのタイプに分けて理論的に解析する(これらのタイプ分けは、オーバーレイネットワークの構成法と情報の蓄積法によるものであり、現在つかわれているP2Pは、いずれもそのどちらかのタイプに属している)。非構造型P2Pに関しては、申請者らが提案している信用度計算アルゴリズムに着目し、その計算量解析をおこなう。このアルゴリズムは広く用いられている信用度計算手法であるEigenTrustアルゴリズムを観測値の確度が低い場合にも精度よく信用度計算がおこなえるように拡張したものであり、メッセージ交換に基づく分散処理によってピアツーピアに信用度計算をおこなうことができる。確度の低さは、

確率的なものとはビザンチン的なものの両方について考える。構造型P2Pに関しては、効果的な信用度計算を可能とするP2Pオーバーレイの設計を以下の方針でおこない、その上で計算量の解析をおこなう：

- 1) 研究代表者が提案しているコントラクトスタググラフの利用。
- 2) 二次元空間に配置されたノードを点集合とみなし、その点集合に対するドロネー三角形分割をおこない、分割における線分をそれぞれノード間のリンクとみなしてつくられるオーバーレイネットワークの利用

また上記で計算される信用度情報を他のアプリケーションに適用し、その効果を理論的・実験的に評価する。

4. 研究成果

まず非構造型P2P上の信用度計算アルゴリズムに関しては、理論的な解析の結果、オリジナルのEigenTrustアルゴリズムと比べて十分低い計算複雑度を持っていることが明らかとなった。そのいっぽうで、計算される信用度の精度が、確度の低下にともなって低下することも確認された。いっぽう構造型P2Pに関しては、スタググラフをベースにしたオーバーレイ上に実現された分散ハッシュテーブル上で信頼度計算を頑健におこなう手法をあらたに提案し、その性能を理論的に評価した。

信用度計算をベースにした具体的なアプリケーションとしては、資源を拠出するインセンティブを適切に与えるメカニズム(インセンティブ方式)とライブストリーミングの離脱耐性に関する検討をおこなった。まずインセンティブ方式に関しては、ノードの離脱が発生する状況においても信用度計算を継続しておこなうことのできる新しいアルゴリズムの提案をおこなった。このアルゴリズムを用いることで、各ノードのインセンティブを低下させることなく高い精度で信用度計算をおこなうことが可能となる。ライブストリーミングにおける品質保証と貢献に対する報酬とをバランスよく実現するために信用度計算の精度向上が重要な役割を果たすことが確認された。

また本研究課題においては、計画時に想定していた上記の各点に加え、次のような成果もあげている：

- 1) 信用度計算方式と電子透かし技術とを組み合わせた共謀者検出プロトコルの提案と評価
- 2) 計算された信用度計算に基づいたアドミッションコントロールを分散的におこなうためのテストベッドの開発
- 3) 信用度計算を分散的に実現するための効果的な情報伝搬手法の検討

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 16 件)

1. S. Kanda and S. Fujita, "Incentive Scheme for P2P Streaming Systems with a Balanced Resource Redistribution," J. of Networks, 査読有, 採録決定, DOI 未定.

2. S. Fujita, "On the Power of Lookahead in Greedy Scheme for Finding a Minimum CDS for Unit Disk Graphs," Int'l J. of Foundations of Computer Science, 査読有, 採録決定, DOI 未定.

3. B. A. Alghazawy and S. Fujita, "Low Cost Cloud-Assisted Peer to Peer Live Streaming," KSII Trans. on Internet and Information Systems, 査読有, 採録決定, DOI 未定.

4. T. Kouchi and S. Fujita, "Maintaining Tree-Structured P2P Overlay Being Resilient to Simultaneous Leave of Several Peers," IEICE Trans. Inform. & Systems, 査読有, E98-D(9): 1667-1674, 2015, DOI: 10.1587/transinf.2015EDP7021.

5. B. A. Alghazawy and S. Fujita, "A Scheme for Maximal Resource Utilization in Peer-To-Peer Live Streaming," Int'l J. of Computer Networks & Communications, 査読有, 7(5): 13-28, 2015, DOI: 10.5121/ijnc.2015.7502.

6. S. Fujita, "Load Balancing of P2P MMORPG Systems with Hierarchical Area-of-Interest Management," Int'l J. of Networked and Distributed Computing, 査読有, 3(3): 177-184, 2015, DOI: 10.2991/ijndc.2015.3.3.5.

7. S. Fujita, "Optimal Serial Broadcast of Successive Chunks," Theoretical Computer Science, 査読有, 575: 3-9, 2015, DOI: 10.1016/j.tcs.2014.11.033.

8. Q. Cao and S. Fujita, "Cost-Effective Replication Schemes for Query Load Balancing in DHT Based P2P Searches," J. of Information Processing Systems, 査読有, 10(4): 628-645, 2014, DOI: 10.3745/JIPS.03.0020.

9. T. Nakashima and S. Fujita, "Tree-Based Consistency Maintenance Schemes for Peer-To-Peer File Sharing of Editable Contents," IEICE Trans. on Inform. & Systems, 査読有, E97-D(12): 3033-3040, 2014, DOI: 10.1587/transinf.2014PAP0007

10. Y. Yuji and S. Fujita, "Hierarchical Architecture for Peer-to-Peer Video on Demand Systems with the Notion of Dynamic Swarms," IEICE Trans. on Inform. & Systems, 査読有, E97-D(12):

3025-3032, 2014, DOI: 10.1587/transinf.2014PAP0006.

11. 伊木 惇, 亀井 清華, 藤田 聡, "レビューを対象とした信頼性判断支援システムの提案," 情報処理学会論文誌, 査読有, 55(11): 2461-2475, 2014, URL: <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009843055>.

12. S. Fujita, "Approximation Scheme for Burst Scheduling with Minimum Overhead in Time Slicing Mobile TV," J. of Supercomputing, 査読有, 69(2): 561-575, 2014, DOI: 10.1007/s11227-014-1093-1.

13. S. Fujita, "Worst Case Analysis of Approximation Algorithm of Abrams Et Al. for the Set K-Cover Problem," IEICE Trans. on Inform. & Systems, 査読有, E97-D(3): 399-405, 2014, DOI: 10.1587/transinf.E97.D.399.

14. R. Uedera and S. Fujita, "A Cost-Effective Buffer Map Notification Scheme for P2P VoDs Supporting VCR Operations," IEICE Trans. on Inform. & Systems, 査読有, E96-D(12): 2713-2719, 2013, DOI: 10.1587/transinf.E96.D.2713.

15. E. Abdullah and S. Fujita, "Reputation-Based Colluder Detection Schemes for Peer-To-Peer Content Delivery Networks," IEICE Trans. Inform. & Systems, 査読有, E96-D(12): 2696-2703, 2013, DOI: 10.1587/transinf.E96.D.2696.

16. S. Fujita, "A Cooperative Peer Clustering Scheme for Unstructured Peer-to-Peer Systems," Int'l J. of Peer to Peer Networks (IJP2P), 査読有, 4(2): 1-8, 2013, DOI: 10.5121/ijp2p.2013.4201.

〔学会発表〕(計 27 件)

1. K. Srinivasan and S. Fujita, "Truthful Virtual Machine Allocation in Clouds Based on LP-Relaxation," 3rd Int'l Symp. on Computing and Networking, 8-11, Dec., 2015, Sapporo, Japan.

2. T. Nakashima and S. Fujita, "Scalable Tree-Based Consistency Maintenance in Heterogeneous P2P File Sharing Systems," Int'l Workshop on Scheduling and Resource Management for Parallel and Distributed Systems, 1-4, Sep. 2015, Beijing, China.

3. S. Fujita, "Load Balancing of P2P MMORPG Systems with Hierarchical Area-of-Interest Management," 16th IEEE/ACIS Int'l Conf. on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, 1-3, June 2015, Takamatsu, Japan.

4. S. Fujita, "On Vertex Cover with Fractional Fan-Out Bound," 2nd Int'l Symp. on Computing and Networking, pp. 68-75,

10-12, Dec. 2014, Shizuoka, Japan.

5. S. Fujita, "On Guha and Khuller's Greedy Algorithm for Finding a Minimum CDS for Unit Disk Graphs," 2nd Int'l Symp. on Computing and Networking, 10-12, Dec. 2014, Shizuoka, Japan.

6. K. Srinivasan and S. Fujita, "Truthful Allocation of Virtual Machine Instances with the Notion of Combinatorial Auction," 5th Int'l Workshop on Advances in Networking and Computing, 10-12, Dec. 2014, Shizuoka, Japan.

7. S. Okada and S. Fujita, "P2P Overlay for CDN-P2P Being Aware of the Upload Capacity of Participants," Int'l Symp. on Ubiquitous and Cloud Computing Frontiers, 16-19, Dec. 2014, Hsinchu, Taiwan.

8. G. Fang, S. Kamei, and S. Fujita, "How to Extract Seasonal Features of Sightseeing Spots from Twitter and Wikipedia," Int'l Workshop on Networking, Computing, Systems, and Software, 10-12, Dec. 2014, Shizuoka, Japan.

9. Y. Ookita and S. Fujita, "Index Poisoning Scheme for P2P File Sharing Systems with Low Spatial and Network Costs," Int'l Workshop on Networking, Computing, Systems, and Software, 10-12, Dec. 2014, Shizuoka, Japan.

10. S. Kanda and S. Fujita, "Incentive Scheme for P2P Live Streaming Systems Being Aware of the Upload Capability of the Participants," Int'l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 21-24, July 2014, Las Vegas, USA.

11. T. Kouchi and S. Fujita, "How to Tolerate Simultaneous Leave of Peers in Tree-Structured P2P Live Streaming Systems," Int'l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 21-24, July 2014, Las Vegas, USA.

12. H. Iizuka and S. Fujita, "Efficient Anonymization of the Socionet with the Aid of Rumor Riding," Int'l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 21-24, July 2014, Las Vegas, USA.

13. S. Fujita, "Minimum Set Cover of Sparsely Distributed Sensor Nodes by a Collection of Unit Disks," 16th Workshop on Advances on Parallel and Distributed Processing, 19-23, May 2014, Phoenix, USA.

14. S. Fujita, "Optimal Serial Broadcast of Successive Chunks," 8th Int'l Workshop on Algorithms and Computation, 13-15, Feb. 2014, Chennai, India.

15. S. Fujita, "On Oriented Diameter of Star-Graphs," 1st Int'l Symp. on Com-

puting and Networking, 4-6, Dec. 2013, Matsuyama, Japan.

16. T. Nakashima and S. Fujita, "Tree-Based Consistency Maintenance Scheme for Peer-To-Peer File Sharing Systems," 1st Int'l Symp. on Computing and Networking, 4-6, Dec. 2013, Matsuyama, Japan.

17. Y. Tamura and S. Fujita, "Peer-To-Peer AOI Management Scheme with Load Balancing of Master Peers," 1st Int'l Symp. on Computing and Networking, 4-6, Dec. 2013, Matsuyama, Japan.

18. R. Kanzaki and S. Fujita, "Peer-To-Peer Content Delivery System with Bounded Traffic between Autonomous Systems," 4th Int'l Workshop on Advances in Networking and Computing, 4-6, Dec. 2013, Matsuyama, Japan.

19. Y. Yuji and S. Fujita, "Swarm Architecture Toward P2P VoD Without Playback Suspension," Int'l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 22-25, July 2013, Las Vegas, USA.

20. T. Nishikawa and S. Fujita, "A Point-Based Incentive Scheme for P2P Reputation Management Systems," Int'l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 22-25, July 2013, Las Vegas, USA.

21. S. Fujita, "An Approximation Scheme for Burst Scheduling in Time Slicing Mobile TVs," 13th Int'l Conf. on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 14-16, Dec. 2012, Beijing, China.

22. S. Fujita, "Distributed Algorithm for Set K-Cover Problem and Its Worst Case Analysis," 3rd Int'l Conf. on Networking and Computing, 5-7, Dec. 2012, Okinawa, Japan.

23. K. Tsunamoto, S. Kamei and S. Fujita, "Empirical Analysis of Periodically Bookmarked Web Pages in Social Bookmarking Systems," 3rd Int'l Conf. on Networking and Computing, 5-7, Dec. 2012, Okinawa, Japan.

24. R. Uedera and S. Fujita, "Complementary Piece-Based Buffer Map for P2P VoDs Supporting VCR Operations," 7th Int'l Conf. on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, 12-14, Nov. 2012, Victoria, Canada.

25. E. Abdullah and S. Fujita, "Colluder Detection in Commercial P2P CDNs Using Reputation Information," 7th Int'l Conf. on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, 12-14, Nov. 2012, Victoria, Canada.

26. X. Xie and S. Fujita, “Resource Assignment in Computational Grid Based on Grid Market Equilibrium,” 18th Int’l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 16-19, July 2012, Las Vegas, USA.

27. X. Yu and S. Fujita, “White-wash-Aware Reputation Management in Peer-To-Peer File Sharing Systems,” 18th Int’l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 16-19, July 2012, Las Vegas, USA.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

藤田 聡 (FUJITA SATOSHI)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：4 0 2 2 8 9 9 5