

機関番号: 12401
 研究種目: 基盤研究(B)
 研究期間: 2008 ~ 2010
 課題番号: 20300024
 研究課題名(和文) 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
 研究課題名(英文) Research on Highly Dependable Peer-to-Peer Networks
 研究代表者
 吉田 紀彦 (YOSHIDA NORIHIKO)
 埼玉大学・総合情報基盤機構・教授
 研究者番号: 00182775

研究成果の概要(和文): 本研究では、ピアツーピア・ネットワークの今後の実用化に向けて必須と成る、高信頼性の確立を目指した。そして、異常ノードの分散的な特定、異常ノードを排除したネットワークの再構築、コンテンツやサービスの多重化による保全という要素技術、およびそれらの統合化に取り組み、招待論文や学会受賞など学術的に高い成果を挙げただけでなく、緊急地震速報ネットワークへの応用という実地展開も行なった。

研究成果の概要(英文): This research aimed at designing and constructing a highly dependable peer-to-peer network (P2P). It is mandatory for P2P to be practical. We investigated decentralized identification of anomaly nodes, dynamic reorganization of networks, multiplication of contents and services, and their integration. The outcomes are fruitful including not only an invited paper and some academic awards, but also practical application to P2P for earthquake early warnings.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	7,500,000	2,250,000	9,750,000

研究分野: 総合領域
 科研費の分科・細目: 計算機システム・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、信頼性

1. 研究開始当初の背景

ピアツーピア・ネットワーク(P2P)は中央集権的存在のない自律分散的な情報共有・配信機構であり、負荷分散に向けた技術として大きな潜在的可能性を持っている。一方で、その「草の根」的性格から制御や管理が難しく、ウィルスやネットワーク攻撃に悪用されるなど、社会的な問題も引き起こしている。P2Pについて、これまで構築法、効率化、そしてセキュリティについて重点的に研究がなされてきているが、社会的インフラストラクチャとしてのネットワークという観点からは、真の実用化と技術的貢献に向けて、信頼

性の確立がもう一つの最重要課題となる。

複数ノード(計算機や端末など)から構成されるネットワーク一般の信頼性については、(1) 異常ノードの分散的な特定、(2) 異常ノードを排除したネットワークの再構築、(3) 再構成に伴う損失を防ぐためのコンテンツやサービスの多重化による保全、が主要な要素技術となる。P2Pの分野では、(2) については、まだ研究事例は多くないが、EigenTrust、P2PRep、STEPなどがある。(3) に関する多重化については、高信頼性とは別にアクセス効率化と負荷分散の目的で、近年様々な研究がなされており、我々自身も成果を

あげて、受賞や競争的研究費獲得などにも繋げている。一方で (1) については、P2Pの登場以前から分散故障診断理論の分野で研究が進んでおり、PMCモデルが代表的である。我々は科学研究費補助金平成17~18年度萌芽研究において、この理論のP2Pへの適用を検討し、より効率的な方式を考案して成果をあげた。

2. 研究の目的

本研究では、上で言及した萌芽研究の成果を発展させ、上記の (1)、(2)、(3) を統合した高信頼性P2Pの実現を目指す。すなわち、単にネットワークを構成する個々のノードの信頼性を高めるのではなく、ネットワーク全体としての信頼性の向上を追求する。それに向けて、中央集権的ノードを仮定しない完全に自律分散的な方式を確立する。具体的には：

- (1) 異常ノードの分散的な特定について、萌芽研究も含めたこれまでの成果である効率的な方式をさらに改良するとともに、精度を高める。すなわち、基本的には投票と多数決の原理によって異常ノードを絞り込んでいくので、それに必要なメッセージ数を抑制する方式を実装する。
- (2) ネットワークの再構築について、上記のような既存の研究事例を踏まえるとともに、関連するアドホックネットワーク、無線センサネットワーク、無線メッシュネットワークなどにおける動的再構成や自己再構成の関連研究ならびに我々自身の研究成果を高信頼性確保という観点から捉え直し、方式を確立する。
- (3) コンテンツとサービスの多重化について、従来のアクセス効率化と負荷分散に向けての関連研究ならびに我々自身の研究成果を高信頼性確保という観点から捉え直し、方式を確立する。
- (4) 以上 (1)、(2)、(3) のシステム統合化を行い、それぞれの要素技術を互いに有機的に連携させて統合的に機能させるシステムを構築する。

従来のP2Pの研究開発は、構築法、効率化、そしてセキュリティの問題に焦点が当てられており、信頼性に関する事例は、将来的には必須であるにもかかわらず、世界的にも数少ない。ここに本研究の意義がある。Napster系を除くP2Pは中央集権的ノードを持たず、自律分散的に動作するので、ノードが応答しなくなる停止障害に対しては頑健である。従来はこの停止障害しか想定していなかったことから、信頼性の議論はあまりみられなかった。しかし、ノードが異常な応答をするコミッション障害の場合、最悪ではネットワーク全体が機能しなくなり、これは我々自身も過去の研究で実証している。特に、分散故障診断理論のP2Pへの応用と改良は他に類をみず、我々の全くの独創である。

以上から得られる成果は、自然発生的な故障にとどまらず、近年重大な問題になりつつある悪意ある妨害や攻撃への対抗手段ともなるものであり、技術的貢献・社会的貢献とも期待できる。

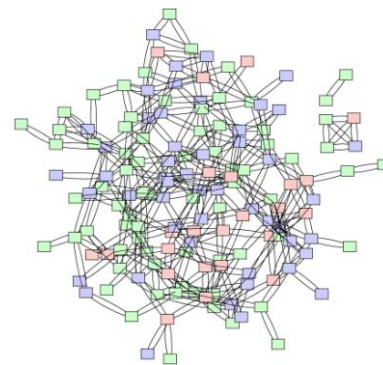
3. 研究の方法

(1) 異常ノードの分散的な特定とネットワークの再構築

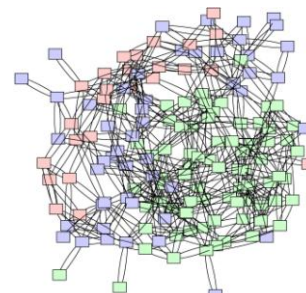
何らかの方法で異常ノードを特定できたならば、異常ノードを排除した形にネットワークポロジを再構成し、異常ノードの影響を自律分散的に回避する。異常ノードはネットワークから次第に切り離され、ネットワークには正常ノードだけが残っていく。

このような目的に向けたP2Pシステムとして、EigenTrust、P2PRep、NWAY、およびそれらを昇華したSTEP (Simple Trust Exchange Protocol) が提案されている。それらは、他ノードの「良し悪しの評判」をノード間で交換して共有し、リンクの重み付けを調整することで、ネットワークを最適化していく。あるノードの「評判」は、それに係わる複数ノードの判断を数値化し、各ノードで総計することで精緻化していく。そして、各ノードは「良い」隣接ノードへのリンクを強化し、逆に「悪い」隣接ノードへのリンクを抑制する。

これを活用すると、例えば「良い」ノードどうしが集結し、その外側に「良くも悪くもない」ノード、さらに「悪い」ノードが位置するような形に、ネットワークを再構成して変化させることが可能になる。そこで、実際にこのアイデアをシミュレータで具体化し、特に評判の交換をフラッディング (隣接ピアへのマルチキャストの連鎖) というネットワーク帯域を圧迫する非効率なプロトコルから改良する方式も実装して、効果を検証した。図1(a)が再構成前、図1(b)が再構成後 (いずれも、緑:良、青:中間、赤:悪) の一例である。



(a) 再構成前



(b) 再構成後

図1 異常ノードを含むネットワークの再構成

(2) 多重化P2Pに基づく緊急地震速報ネットワーク

高信頼性P2Pの実地展開として、緊急地震速報ネットワークへの応用を、ベンチャー企業と共同で進めた。

緊急地震速報は速報性と確実性が本質的に重要であり、そのプラットフォームには極めて高い信頼性が要求される。そこで、動的メッシュ構造という考えかたをP2Pに導入し、「P2Pの多重化」および「動的再構成による接続性確保」によって信頼性を確保するネットワークを設計・構築した。同時に、緊急地震速報に特有の地理的特性にも対応するため、地理的状况を反映したP2Pという新しい考えかたも導入している。そして、効果を検証した。図2は、結果として構成されるネットワークの一例である。

4. 研究成果

以上、本研究では、他の派生的なものも含め、全体として下記のような成果を挙げた。

- (1) 異常ノードの分散的特定とネットワークの動的再構築。
- (2) 動的メッシュによる多重化P2P。
- (3) 自律分散的なクラスタの自己組織化、さらに多段クラスタへの拡張。
- (4) 障害時の自動的な迂回路発見。
- (5) 緊急地震速報ネットワークへの応用。
- (6) 自律的ネットワーキング (Autonomic Networking) への展開。

これらの成果は、著名国際会議での招待論文、国内シンポジウムでの受賞につながり、さらに英文専門教科書にも分担執筆で採用されるなど、国内でも海外でも高い評価を得ている。

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12件)

(全て全文査読)

- [1] Yuko Kamiya, Toshihiko Shimokawa, Fuminori Tanizaki, Norihiko Yoshida, "Scalable Contents Delivery System with Dynamic Server Deployment", International Journal of Computer Science Issues, Vol.7, No.6, pp.81-85 (2010)
- [2] Yuko Kamiya, Toshihiko Shimokawa, Fuminori Tanizaki, Norihiko Yoshida, "Dynamic Wide Area Server Deployment System with Server Deployment Policies", International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.10, No.10, pp.92-96 (2010)
- [3] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Utilizing Multilayer Hierarchical Structure in Context Aware Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", International Journal of Computational Science, Vol.4, No.1, pp.23-37 (2010)
- [4] Koichi Shimizu, Takahiro Sawamura, Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Dynamic Load-Aware Multicast Routing in Ad-hoc Networks", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.5, No.1, pp.123-125 (2010)
- [5] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Context-Aware Cluster-Based Hierarchical Protocol for Wireless Sensor Networks", International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, Vol.4, No.6, pp.379-386 (2009)
- [6] Masahito Sugai, Akira Teruya, Eiichiro Iwata, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Design and Implementation of Executable UML Platform for Assertion-Based Dynamic Verification", International Journal of Computational Science, Vol.3, No.5, pp.554-567 (2009)
- [7] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, "Exploiting Context-

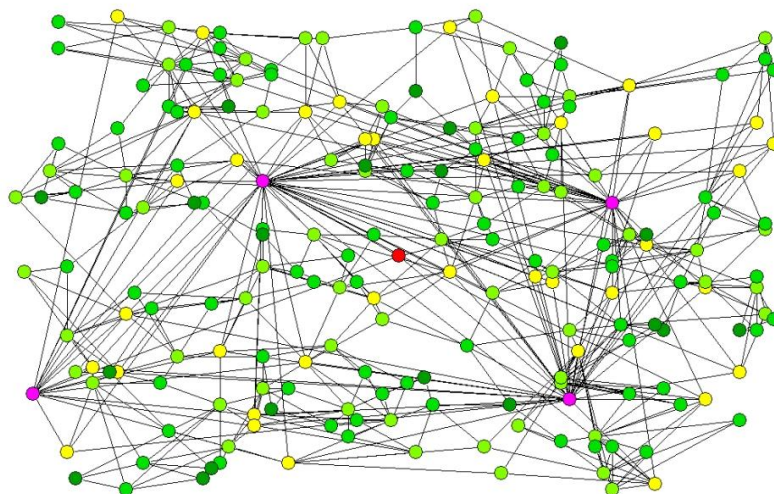


図2 多重化P2Pによる緊急地震速報ネットワークの姿

Awareness in Cluster-Based Wireless Sensor Networks”, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.4, No.5, pp.677-679 (2009)

[8] Nurul Azma Zakaria, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Refactoring-based Executable UML Transformation for Embedded System Design”, International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.9, No.6, pp.173-181 (2009)

[9] Hiroyuki Mukasa, Takashi Shiraishi, Nurul Azma Zakaria, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, Toshihiro Nakayama, “Model-Driven Architecture Applied to Distributed Embedded System Design”, International Journal of Computational Science, Vol.3, No.1, pp.42-52 (2009)

[10] Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, Shuji Narazaki, “Layered Cooperation of Macro Agents and Micro Agents in Cooperative Active Contour Model”, Lecture Notes in Artificial Intelligence, No.5044, Springer, pp.86-97 (2009)

[11] Takahiro Sawamura, Kensuke Tanaka, Merdan Atajanov, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Adaptive Router Promotion and Group Forming in Ad-hoc Networks”, International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, Vol.3, No.4, pp.217-223 (2008)

[学会発表] (計28件)
(特記したものを除き全文査読)

[1] Yuta Miyachi, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, Toshihiko Shimokawa, “Preliminary Study on World-Wide Implementation of Adaptive Content Distribution Network”, Proc. Workshop on Self-Organising, Adaptive, Context-Sensitive Distributed Systems, 11 pages, Kiel, Germany (2011.3.11)

[2] Masaya Miyashita, Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Dynamic Load Distribution in Grid Using Mobile Threads”, Proc. IEEE 3rd International Workshop on Internet and Distributed Computing Systems, pp.629-634, Melbourne, Australia (2010.9.3)

[3] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Obstacle Handling in Context-Aware Multilayer Hierarchical Protocol for Wireless Sensor Networks”, Proc. 5th International Conference on Systems and Networks Communications, pp.76-82, Nice, France (2010.8.23)

[4] Yuko Kamiya, Fuminori Tanizaki, Toshihiko Shimokawa, Yuta Miyachi, Norihiko Yoshida, “Some Observations on DNS Cache Influences on Request Redirection in Dynamic CDN”, Proc. International Conference on Telecommunications, Networks and Systems

2010, pp.256-258, Freiburg, Germany (2010.7.27)

[5] 宮内 雄太, 松本 倫子, 吉田 紀彦, “適応型コンテンツ配信ネットワークの広域環境での実験評価”, マルチメディア分散協調とモバイル・シンポジウム2010論文集, pp.659-665, 下呂 (2010.7.7) (ヤングリサーチ賞受賞)

[6] 宮下 雅哉, 松本 倫子, 吉田 紀彦, “モバイルスレッドを用いたGRIDの動的負荷分散”, マルチメディア分散協調とモバイル・シンポジウム2010論文集, pp.722-727, 下呂 (2010.7.7) (優秀プレゼンテーション賞受賞)

[7] Yuko Kamiya, Toshihiko Shimokawa, Norihiko Yoshida, “Study of Flexible Contents Delivery System with Dynamic Server Deployment”, Proc. 3rd International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation, Vol.2, pp.219-223, Orlando, U.S.A. (2010.7.1)

[8] Tatsuya Hoshino, Akira Teruya, Eiichiro Iwata, Masahito Sugai, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Communication Model Exploration in Aspect-Oriented Executable UML”, Proc. International Conference on Applied Computing 2009, Vol.2, pp.129-134, Rome, Italy (2009.11.20)

[9] Shinya Kosuge, Akira Teruya, Eiichiro Iwata, Masahito Sugai, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Design Pattern Specifications in Aspect-Oriented Executable UML”, Proc. International Conference on Applied Computing 2009, Vol.2, pp.139-144, Rome, Italy (2009.11.20)

[10] Risa Suzuki, Koichi Shimizu, Ken'ichiro Kimura, Chuzo Tsumura, Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Reliable and Geography-Aware Peer-to-Peer Multicast for Earthquake Early Warnings”, Proc. International Conference on Applied Computing 2009, Vol.2, pp.165-170, Rome, Italy (2009.11.20)

[11] Nurul Azma Zakaria, Masahiro Kimura, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Stepwise Refinement in Executable-UML for Embedded System Design: A Preliminary Study”, Proc. International Conference on Computer Engineering and Technology 2009, pp.151-153, Oslo, Norway (2009.7.31)

[12] Yusuke Yoshida, Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Efficient Decentralized Evaluation of Node Trustworthiness in Peer-to-Peer Networks”, Proc. International Conference on Computer Engineering and Technology 2009, pp.177-179, Oslo, Norway (2009.7.31)

[13] Md. Enamul Haque, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Context-Aware Multilayer

Hierarchical Protocol for Wireless Sensor Network”, Proc. 3rd International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp.277-283, Athens, Greece (2009.6.22)

[14] Kazutaka Kobayashi, Norihiko Yoshida, Shuji Narazaki, “GAP/D: VLSI Hardware for Parallel and Adaptive Distributed Genetic Algorithms”, Proc. IEEE 2nd International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, pp.95-98, Hainan, China (2009.4.24)

[15] Yuko Kamiya, Toshihiko Shimokawa, Norihiko Yoshida, “Scalable Server System Based on Virtual Machine Duplication in Wide Area”, Proc. ACM 3rd International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, pp.432-436, Suwon, Korea (2009.1.16) (招待論文, 査読なし)

[16] Akira Teruya, Eiichiro Iwata, Masahito Sugai, Masahiro Kimura, Nurul Azma Zakaria, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Embedded System Design Based on Aspect-Oriented Executable UML”, Proc. 8th International Conference on Applied Computer Science, pp.247-252, Venice, Italy (2008.11.23)

[17] Masahito Sugai, Akira Teruya, Eiichiro Iwata, Nurul Azma Zakaria, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, “Assertion-Based Dynamic Verification for Executable UML Specifications”, Proc. 8th International Conference on Applied Computer Science, pp.181-186, Venice, Italy (2008.11.23)

[18] Takashi Shiraishi, Nurul Azma Zakaria, Noriko Matsumoto, Norihiko Yoshida, Toshihiro Nakayama, “Executable UML Specification of Automatic Train Control Systems and Its Stepwise Transformation”, Proc. 2008 International Symposium on Applied Computing and Computational Sciences, pp.128-131, Hong Kong, China (2008.8.3)

[19] Yuko Kamiya, Toshihiko Shimokawa,

“Scalable Server Construction Method Based On Virtual Machine Transfer and Duplication,” Proc. International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation IMETI 2008, Vol.2, pp.273-278 (2008.7.1)

[図書] (計2件)

[1] Md. Enamul Haque, Norihiko Yoshida, “Clustering in Wireless Sensor Networks: Context-Aware Approaches”, Internet and Distributed Computing Advancements: Theoretical Frameworks and Practical Applications (Jemal Abawajy, et al., eds.), IGI Global, in print (2011)

[2] Norihiko Yoshida, “Dynamic CDN against Flash Crowds”, Content Delivery Networks (Rajkumar Buyya, et al., eds.), Springer, pp.277-298 (2008)

[産業財産権]

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

[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・総合情報基盤機構・教授
研究者番号:00182775

(2) 研究分担者

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

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

(3) 連携研究者

なし。