

機関番号： 32629  
 研究種目： 基盤研究（C）  
 研究期間： 2008 ～ 2010  
 課題番号： 20500078  
 研究課題名（和文）完全分散型 P2P ネットワークのピアの自信度に基づいた信用可能性の研究  
 研究課題名（英文）Confidence-based Trustworthiness of Peers in Fully Distributed P2P Overlay Networks  
 研究代表者  
 滝沢 誠（タキザワ マコト）  
 成蹊大学・理工学部・教授  
 研究者番号： 80188119

## 研究成果の概要（和文）：

P2Pシステムは、構成要素のプロセスが対等(peer)な完全分散型システムである。ここでは、各ピアが自律的に意思決定を行うために知人ピアから情報を取得せねばならない。本研究では、ピアは「個人」のモデルを考え、「人間関係」の考察をもとに議論し定式化を行った。本研究では、信用可能な知人ピアの評価のみを取り入れることにより、誤ったまたは古い評価を除外する方式を考案し評価を行った。この結果、Flooding方式に対して、信用可能性の高いピアにのみメッセージを伝播していく方式が有効であることを示した。

## 研究成果の概要（英文）：

A peer-peer (P2P) system is composed of peer processes, which is in nature fully distributed. Here, it is critical to discuss if each peer can trust an acquaintance. Since there is no centralized coordinator on member peers in the networks, each peer has to decide on the trustworthiness of each acquaintance by communicating with the acquaintances. In the traditional reputation concept, every trustworthiness opinion on the target peer is collected. Here, some malicious, obsolete opinions might be included. In this research, we discussed a novel way where each peer only takes a subjective trustworthiness on a target peer from acquaintances which the peer can trust. Through the simulation, we showed the objective trustworthiness obtained by the algorithm we discussed is more accurate than the flooding ones. In addition, a peer might obtain the subjective trustworthiness on a target peer different from the objective one.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：計算機システム・ネットワーク

科研費の分科・細目：ネットワーク・アーキテクチャ

キーワード：P2P オーバレイ・ネットワーク、信用可能性、自信度、アクセス制御

## 1. 研究開始当初の背景

情報システムはこれまでクライアント・サーバ(CS)モデルに基づいて構成されてきたが、対等なプロセス(ピア(peer))から構成される peer-to-peer (P2P)型モデルへと変化してきている。P2P システムでは、どのコンピュータも自律的に相互接続できる開放性と、数百万台規模にもなるピアから構成される大規模性を特徴とする分散システムである。これまでの情報システムで議論されてきたシステムの信頼性、可用性、安全性等の議論を、P2P システムに適用することは大規模性と開放性の点から困難となってきた。本研究では、こうした大規模分散型システムとしての P2P システムのモデルとピア間の協調動作方式について考察を行なうものである。これまでに、申請者は、複数の自律的プロセスを分散制御のもとで相互動作させるためのグループ通信プロトコルの研究を 1980 年代から先駆的に行い、分散システム分野の最高峰の国際会議 IEEE ICDCS (International Conference on Distributed Computing Systems) [1991, 1992, 1994, 1998, 2004] に成果を発表するとともに、グループ通信の国際ワークショップを 2000 年に開催する等、国際的な評価を得てきている。この結果、ICDCS の 1998 年(Amsterdam)には Program co-chair、2002 年(Vienna)では General co-chair を務めている。グループ通信プロトコルの研究成果を用いて、申請者は膨大な数のピア間の協調動作についての研究を行ってきた。特に、完全分散型の P2P オーバーレイ・ネットワークでは、インデックス、スーパーピア等の中央コントローラが存在しない。これを対象として、ピアが自ら知人ピアと通信を行ないながら必要なオブジェクトを操作できるピアを見つけるための協調動作モデルを研究してきている。ここでは、各ピアがどのように知人ピアを信用するかという信用可能性(trustworthiness)と、信用可能性に基づいて検索空間を限定する Charge-based Flooding 探索アルゴリズムを考案し開発を行った。完全分散型 P2P システムでは、各ピアは自分で他のピアと通信しながら全体の状況を把握せねばならない。これらの研究を通じて、分散システム、特に完全分散型の P2P システムは、人間社会の個人間の人間関係であるとの考えにいった。本研究課題では、完全分散型の大規模 P2P システムで、各ピアが、他のピアをどのように信用するかについて、人間関係の考察をもとに議論し定式化することを目的としている。例えば、自分に自信のあるピアは、他人の意見をきかない。自信のないピアは、他人の意見に従おうとする。こうした振る舞いをいかに定式化し、コンピュータに取り組んでいくかが主要なテーマ

となる。P2P オーバーレイ・ネットワークの分野では、Gnutella 等の拡散(flooding)アルゴリズム、DHT 等の研究が盛んに行われているが、これらは必要とするファイル等の目標オブジェクトを発見するだけのものである。本研究では、見つけることに加えて、見つけられた目標オブジェクトを操作するためにアクセス権(permission)のあるピアを発見しアクセス権を獲得するかについて議論している。知人ピアの信用可能性の評価方法として評判(reputation)もあるが、Yahoo 等の Web のランク付けの中で議論されている。しかしながら、誤った評判も取り入れられてしまう危険性がある。これに対して、本研究では、信用可能なピアの評価のみを取り入れることにより、誤ったまたは古い評価を除外することを試みるものである。また、大規模分散システム研究の一環として、センサーネットワークの研究も行なってきた。センサノードはバッテリーの強弱、ノイズ、センサの精度等により種々の振る舞いを行なう。どのセンサノードの値を信用するかという問題に本研究成果を利用し、センサノード故障の発見方法を研究する。

## 2. 研究の目的

本研究では、完全分散型 P2P オーバーレイ・ネットワークでのピアの信用可能性について、以下の点を明らかにしようとしている。

1) **アーキテクチャの研究:** 世界中のコンピュータが相互接続された P2P オーバーレイ・ネットワークとして、大規模性、開放性、柔軟性の観点から完全分散型を、本研究では考察する。こうしたネットワークで、各ピア  $p_i$  が、他のピア  $p_j$  がどのようなサービスを提供するか、例えば、どのようなオブジェクトを所有しているか、どのオブジェクトのアクセス権を持っているかについて認識しているとき、ピア  $p_j$  を  $p_i$  の知人(acquaintance)ピアとする。各ピアは、自律的に知人ピアと通信を行いながら、他のピアのサービス情報を入手することにより知人ピアを増やしていく。このことにより、各ピアは、必要な QoS 等のサービス要求を満足するオブジェクトを発見し、アクセス権を獲得し操作する。こうした自律的なピアをどのように構成するかアーキテクチャについて研究する。

2) **ピアの自信度と信用可能性の研究:** 各ピア  $p_i$  の他のピア  $p_j$  に対する信用可能性を、 $p_i$  自身が自分で  $p_j$  と相互作用しながら求める主観的(subjective)信用可能性  $st_{ij}$  と、 $p_j$  に対する他のピアの評価による客観的(objective)信用可能性  $ot_{ij}$  に分けて定式化を行う。これまでの研究では、目標オブジェクトの検索結果とアクセス権に着目していたが、これに加えて、マルチメディア・オブ

ジェクトを対象としてQoSも考える。さらに、見つかったか(1)どうか(0)だけではなく、ファジー論理を用いて、 $p_j$ のアクセス要求に対する $p_j$ の応答の満足度を求める。また、他のピア $p_j$ に対する自分の見方(主観的信用可能性 $st_{ij}$ )と他のピアの見方(客観的信用可能性 $ot_{ij}$ )が異なっているときに、自分の見方にどの程度自信を持っているかが重要な判断基準となる。このために、ピアが自分の主観的信用可能性 $st_{ij}$ についての自信度(confidence) $cf_{ij}$ をどのように定義できるかを研究する。現在のところ、他のピア $p_j$ との通信時間、通信頻度、満足できる応答の割合等により定義しようと考えている。

**3) 応用:** 2P オーバーレイ・ネットワークでは、SNS のようにある目的を共有する複数のピア間でグループを構成することが重要な応用となっている。こうしたグループでは、構成要員のピア間で種々の合意を行う必要がある。他のピアをどのように信用していくかは重要な問題となり、ピア間で協調動作を行うためには、信用可能なピア間で同意をとることが重要となる。1)と2)の研究で得られた信用可能性の概念、理論を基に、ピアのグループ内で合意を取るためのプロトコルを研究する。また、無線センサ・アクタ・ネットワーク(WSAN)でのセンサの故障検出に適用する。センサは無線の弱さ、動作環境により種々の振る舞いをする。これを、信用可能性の観点からとらえ、各センサが信用できるセンサを把握する方式を研究する。

本研究は、世界中のコンピュータのみならずセンサ、家電等のあらゆる情報機器が相互接続されたP2Pネットワークでは、システム全体を把握する集中コントローラを設けることは困難である。こうした完全分散型システムでは、各ピアが、他のピアとの通信を通じてネットワーク全体の情報を把握していかなければならない。ちょうど、人間社会の各個人をピアとした関係に類似している。クライアント・サーバ・モデルが企業等の組織のモデルとすると、P2Pモデルは、社会での個々の人間間のネットワークを考えることができる。本研究で検討する知人ピアに対する二種の信用可能性、主観的なものと客観的なものと、これを適用するときのピアの自信度の概念は、P2Pモデルの新しい構成モデルとなるものである。また、P2Pシステムの基本技術となるものである。

### 3. 研究の方法

完全分散型 peer-to-peer (P2P) オーバーレイ・ネットワークを用いて、ピアの自信度、信用可能性について以下の研究を行なった。

#### 1) アーキテクチャ

マルチメディア・オブジェクトが完全複製、部分複製、QoS 劣化等の種々の形態で分散し

た完全分散型の P2P ネットワークを考える。各ピアは知人ピアとの通信をベースに、ネットワーク内のオブジェクトの所在を見つけ、これに対する操作を行なう。一定期間交信が行なわれない知人ピアは知人でなくなる等、知人関係は動的に変化していく。このための、完全分散型の知人ベースのアーキテクチャについてまず研究する。

#### 2) 信用可能性(trustworthiness)

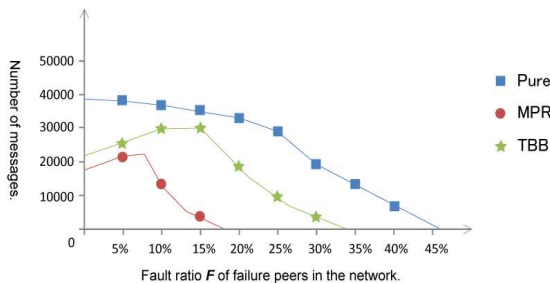
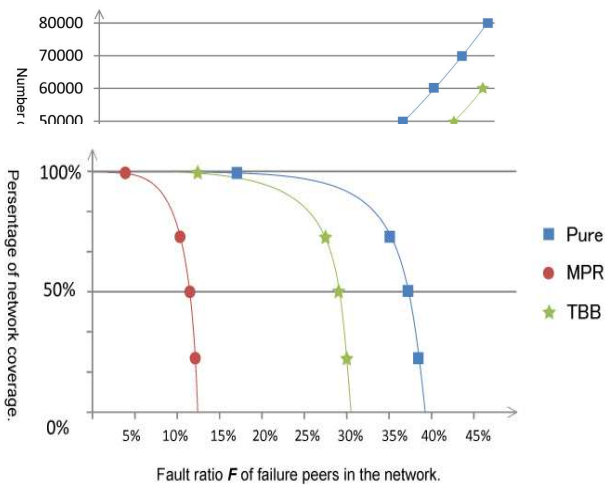
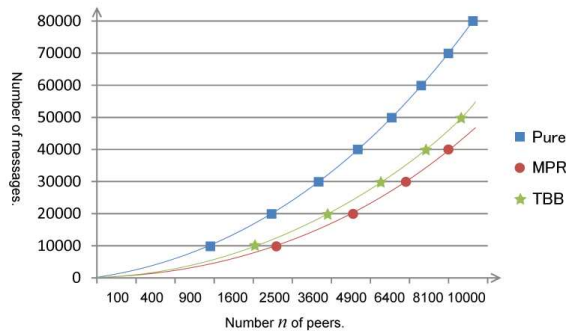
完全分散型 P2P ネットワークでは、各ピアが他のピアをどの程度信用するかが重要な問題となる。このため、本研究では、ピア間の信用可能性(trustworthiness)について議論を行い、その定式化を行った。ピアの信用可能性を、主観的(subjective)と客観的(objective)なものとの二種について検討する。主観的信用可能性では、ピア $p_i$ は、知人ピア $p_j$ にサービス要求を出し、これに対して $p_j$ は応答を返す。この応答が要求を満足していれば主観的信用可能性 $st_{ij}$ は高くなる。対象とするオブジェクトは、映像、音楽等のマルチメディア・オブジェクトを対象とする。オブジェクトは、P2P ネットワーク内で、ダウンロード、コピー等により複数のピアに分散される。さらに、知人ピア $p_j$ は要求されたサービスを提供できなくても、サービスを提供できるピア $p_k$ を知っている場合も考える。ここで、紹介されたピア $p_k$ が満足度の高いサービスを提供する、例えば目標オブジェクトを持っているときには、 $p_k$ のみならず紹介ピア $p_j$ の信用可能性も高まる。以上の直接的通信と紹介による間接的通信により得られたサービスの満足度をもとに主観的信用可能性の定式化を試みる。

次に、知人ピア $p_j$ がどの様に他のピアから信用されているかを示す客観的信用可能性 $ot_{ij}$ の研究を行う。ここでは、古い情報を持ったピア、障害したピア $p_k$ による知人 $p_j$ についての信用可能性についての評判を除かねばならない。このために、ピア $p_i$ の知人のみの評判、さらに信用できる知人のみの評判、自分の同様な評価の知人の評判等を考える。

#### 3) 自信度(Confidence)

本研究で、申請者の主張は、他のピア $p_j$ の主観的信用可能性 $st_{ij}$ と客観的信用可能性 $ot_{ij}$ が得られたときに、これらをどのように利用するかは、各ピア $p_j$ の自信度に依存している点である。あるピア $p_j$ が、他のピア $p_j$ の信用可能性について自信を持っている場合は、主観的信用可能性を採用する。逆に自信がない場合は、客観的信用可能性を用いる。自信をどのように得ていくかについて、人間関係を基に考察し研究を行なう。本研究では、付き合いの長さ(通信時間)、深さ(通信頻度)、成果の確かさ等を考える。これに加えてどのような要因を考えるかについて、人間関係を

考察しながら検討を行う。



#### 4) 設計

本研究で議論されるピアの実装に向けた設計を行なう。このために、ピア間で情報交換を行なうためのプロトコルの設計を行い、プロトタイプの実装を行なう。ピアを自分の自信度の度合いにより、積極的 (aggressive)、中庸的 (moderate)、消極的 (passive) の3つの型に分類する。これらの型毎にピアの動作アルゴリズムの設計を行う。積極的なピアは、他のピアの評判よりも自分の判断を優先する。消極的なピアは、逆に、他のピアの評判を用いる。中庸的なピアは、この中間に位置するものである。これらの型のピアの分散の度合いにより、ピア間の信用可能性がどのように

変化するかを考察する。

#### 4. 研究成果

本研究により、まず、完全分散型 P2P システムで、各ピアが自律的に動作するために基本となる他のピアの信用可能性の概念を明確にした。特に、主観的信用可能性と客観的信用可能性の概念を新たに提案し、これの定量化を行った。主観的信用可能性は、ピアが知人ピアに発行した要求に対して、要求を満足した応答を返すかで決定する。これに対して、ピア p の主観的信用可能性は、他のピアがピア p をどの程度信用しているかを示している。

合意プロトコルの各ラウンドで、各ピアはすべてのピアに合意希望の値を効率的に配送せねばならない。これまでの拡散方式では、メッセージをピアが知人ピアに送信し、知人ピアがさらにその隣接ピアに送信していく。ここでは、ピア数が増大すると、ネットワーク内で送信されるメッセージ数が爆発的に増加する問題点がある。これに対して、MPR (Multi-point reply) 方式では、隣接ピアの一部がメッセージを転送することにより、メッセージ数の増加を防いでいる。メッセージ転送を行うピアが故障すると、この隣接ピアはメッセージが配送されなくなってしまう。この問題を解決するために、新たに TBB (Trustworthiness-Based Broadcast) プロトコルを考案した。TBB プロトコルでは、メッセージを隣接ピアに転送できる割合が高いほど、ピアの信用可能性が高いとする。これは、ピアとの交信を通じて、転送が行われた割合を記憶することにより求められる。各ピアは、隣接ピアにメッセージを送信するが、隣接ピアの中で、信用可能性の高い隣接ピアの身がメッセージを転送するものである。

TBB プロトコルの評価をシミュレーションにより行った。10,000 個のピアに対して評価を行った。図 1 には、ピア数 n に対して、送信されるメッセージ数を、拡散 (Pure)、MPR、および TBB プロトコルについて示している。ここでは、ピアの故障率 F を 0.05 としている。図からわかるように、TBB のメッセージ数は拡散方式より減少できることが分かる。図 2 は、ピアの故障率 F が 0.1 の場合を示している。MPR 方式では、すべてのピアに配送できなくなるためにメッセージ数は 0 となっている。図 3 では、n = 10,000 のときの故障率 F に対して、どの程度のピアにメッセージを配送できるかを示している。MPR 方式では約 10% のピアが故障すると半分程度のピアにメッセージを配送できなくなる。これに対して、TBB プロトコルでは、約 40% のピアが故障しても、半数以上のピアにメッセージを配送できることがわかる。これらのことから、TBB プロトコルは、大規模なピアのグル

ープで、故障するピアが存在しても、有効にメッセージをすべてのピアに配送できることがわかる。また、合意を行うために各ピアで消費される電力の低減化についても研究を行った。ここでは、CPU資源について着目し、プロセスをコンピュータ上で実行したときの消費電力を実装した。この実測データを解析し、もっとも消費電力に影響を与える因子を求め、消費電力モデルを構築した。

本研究は、完全分散型の大規模システムを、ピア間の自律的な協調動作により構成する新しい構成論となるものである。本研究により、完全分散型システムの構成論として、ピアと知人ピア間の協調動作に基づいた新しいモデルを確立できた。今後の課題として、大規模な環境での実装と評価がある。

## 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38件)

1. S. Sawamura, A. Aikebaier, V. Barolli, T. Enokido, and M. Takizawa, Trustworthy Acquaintances in Peer-to-Peer (P2P) Overlay Networks, Journal of Business Intelligence and Data Mining, Vol.6, No.1, 2011, pp.42-54.
2. Y. Yang, S. Souissi, X. Defago, and M. Takizawa, Fault-tolerant Flocking for a Group of Autonomous Mobile Robots, Journal of Systems and Software. Vol.84, No.1, Jan. 2011, pp.29-36.
3. T. Enokido and M. Takizawa, A Purpose-based Synchronization Protocol for Secure Information Flow Control, Vol.25, No.2, 2010, pp.25-32.
4. A. GoudarziNemati, T. Enokido, and M. Takizawa, Scheduling Algorithms for Concurrently Streaming Multimedia Objects in P2P Overlay Networks, Vol.25, No.2, 2010, pp.47-61.
5. K. Taguchi, T. Enokido, and M. Takizawa, A Broadcast Type Hierarchical Group Communication Protocol, International Journal of Applied Systemic Studies, Vol.3, No.1, 2010, pp.102-114.
6. A. GoudarziNemati, T. Enokido, and M. Takizawa, Scheduling Algorithms for Concurrently Streaming Multimedia Objects in P2P Overlay Networks, International Journal of Computer Systems Science and Engineering, Vol.25, No.2, March 2010, pp.47-61.
7. T. Enokido, M. Shiraishi, and M. Takizawa, A Transactional Agent Model for Distributed Object Systems, International Journal of Applied Systemic Studies, Vol.3, No.1, 2010, pp.4-14.
8. Y. Tanaka, T. Enokido, and M. Takizawa, Design and Implementation of Transactional Agents, International Journal of Wireless and Mobile Computing, Vol.4, No.2, 2010, p.126-135.
9. T. Enokido, A. Aikebaier, and M. Takizawa, A Model for Reducing Power Consumption in Peer-to-Peer Systems, IEEE Systems Journal, Vol.4, Issue.2, May 2010, pp.221-229.
10. A. Durresi, L. Barolli, A. Koyama, and M. Takizawa, Ubiquitous QoS Communications Using Scalable Satellite Networking, International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol.6, No.2, 2010, pp.214-228.
11. T. Enokido and M. Takizawa, A Legal Information Flow (LIF) Scheduler Based on Role-based Access Control Model, International Journal of Computer Standard and Interfaces, Vol.31, No.5, 2009, pp.906-912
12. A. GoudarziNemati and M. Takizawa, Data Transmission Procedure for a Multi-Source Streaming Model in Mobile Peer-to-Peer Overlay Networks, Journal of Mobile Multimedia, Vol.5, No.1, 2009, pp.45-63.
13. T. Tojo and M. Takizawa, Synchronous Transmission Protocol for Exchanging Real Time and Non Real Time Multimedia Data in Group Communication, International Journal of High Performance Computing and Networking, Vol.5, Nos.5/6, 2009, pp.364-373.
14. T. Enokido and M. Takizawa, A Purpose-based Synchronization Protocol of Multiple Transactions in Multi-Agent Systems, International Journal of Business Intelligence and Data Mining, Vol.4, No.1, 2009, pp.99-117.
15. K. Watanabe, T. Enokido, and M. Takizawa, Trustworthiness of Acquaintances in Peer-to-Peer Overlay Networks, International Journal of High Performance Computing and Networking, Vol.6, No.2, 2009, pp.160-171.

16. A. Aikebaier and M. Takizawa, A Protocol for Reliably, Flexibly, and Efficiently Making Agreement among Peers, International Journal of Web and Grid Services, Vol.5, No.4, 2009, pp.356-371.
17. A. Aikebaier, T. Enokido, and M. Takizawa, Design and Evaluation of Reliable Data Transmission Protocol in Wireless Sensor Networks, International Journal of Mobile Information Systems, Vol.4, No.3, 2008, pp.237-252.

[学会発表] (計4件)

1. T. Enokido, K. Suzuki, A. Aikebaier, and M. Takizawa, Process Allocation Algorithm for Improving the Energy Efficiency in Distributed Systems, Proc. of IEEE the 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2010), Perth, Australia, April 20-23, 2010, pp.142-149.
2. A. Aikebaier, T. Enokido, and M. Takizawa, Trustworthiness among Peer Processes in Distributed Agreement Protocol, Proc. of IEEE the 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2010), Perth, Australia, April 20-23, 2010, pp.565-572.
3. T. Enokido, S. M. Deen, and M. Takizawa, A Protocol for Releasing Purpose Marks to Prevent Illegal Information Flow, Proc. of IEEE the 23rd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2009), Perth, Bradford, UK, May 25-28, 2009, pp.845-852.
4. A. Aikebaier, T. Enokido, and M. Takizawa, A Purpose-based Synchronization Protocol of Multiple Transactions, Proc. of IEEE the 14th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS2008), Melbourne, Australia, Dec. 8-10, 2008, pp.145-152.

[図書] (計4件)

1. T. Enokido, F. Khafa, L. Barolli, M. Takizawa, M. Uehara, and A. Duresi, *the 13th International Conference on Network-Based Information Systems*, IEEE Computer Society, 2010, 582 pages.

○取得状況 (計1件)

名称：送信方法及びデータ送信装置  
発明者：滝沢誠、東條琢也  
権利者：東京電機大学  
種類：特許  
番号：特許番号第4382752  
取得年月日：2009年10月2日  
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.takilab.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝沢 誠 (TAKIZAWA MAKOTO)

成蹊大学・理工学部・教授

研究者番号：80188119