

## 社会ネットワークを適用したP2Pネットワークにおける 可用性向上方式

大島 浩太<sup>†1</sup> 安藤 公彦<sup>†2</sup> 水田 祥泰<sup>†2</sup>  
田島 孝治<sup>†2</sup> 寺田 松昭<sup>†1</sup>

P2P ネットワークでは悪意あるユーザが容易に利用可能であることから、違法ファイルの交換やウイルス感染、情報漏洩といった社会問題が起きやすい。これまでに我々は、リンク構造に社会ネットワークを適用することでアクセス制御を行うP2P ネットワークを提案し、特定のノードのみへの情報送信、信頼性の低いノードとの通信拒否により安全性の向上に成功した。しかし、提案ネットワークでは、知人と、知人の所有するノードは一対一対応しているため、ノードがP2P ネットワークから離脱することで、その知人に関する社会ネットワークが利用出来なくなり、知人関係による信頼性を伴った経路が利用出来なくなるという課題があった。そこで本論文では、仮想ノードおよびクローンデータを適用することで、ノード離脱に依らず社会ネットワークを維持する方式を提案する。これにより、知人ノードがP2P ネットワークに参加していれば社会ネットワークを維持することが可能となる。シミュレーション評価を行い、提案方式により社会ネットワークが不十分に反映される状況を改善できていることを示した。

### Data Storing Method for P2P Network with Social Network

KOHTA OHSHIMA,<sup>†1</sup> KIMIHIKO ANDO,<sup>†2</sup>  
YASUHIRO MIZUTA,<sup>†2</sup> KOJI TAJIMA<sup>†2</sup>  
and MATSUAKI TERADA<sup>†1</sup>

There are several problems with Peer-to-Peer networks, such as illegal file sharing or information leaks. We proposed a method of access control applying a social network to a P2P network. We achieved an improvement of a safety of P2P networks, by denying a connection from malicious nodes and sending information only to reliable nodes. However P2P networks using proposed method can not apply to an social information infrastructure like a web, because this method depends upon a condition of connections between nodes. Therefore we propose a new data storing method on a network by replicating access con-

trol information into acquaintance nodes. Then we can use reliable connection without participation of the node.

#### 1. はじめに

Peer-to-Peer(P2P) ネットワークは、高いスケーラビリティ、耐障害性など従来のクライアント/サーバ型システムにはない利点を有している。しかし、匿名性が高く、流通情報の管理が難しいため、違法行為に利用される場合が多く、早急な対策が求められている。一方、現実の人間関係である社会ネットワークを利用することで情報の管理を可能としたサービス(SNS など)がある。社会ネットワークは実社会の人間関係を利用出来ることから身元保証が可能であり、この特徴を利用することで情報のアクセス制御を行っている。

これまで我々は、P2P のリンク構造に社会ネットワークを適用することで、通信経路におけるアクセス制御機構を備えたP2P ネットワーク構成方式<sup>1)-3)</sup>(以下、社会ネットワーク適用型P2P ネットワーク)を提案している。現実世界における知人関係が、長時間かけて積み重ねてきた信頼関係にあり、その知人の所有するノードも信頼できると想定している。そして、各ノードが知人ノードと直接接続し、不特定多数と接続させないことで通信の信頼性を向上した。特定の知人からの通信は許可するなど、社会ネットワークを用いたアクセス制御も可能としている。

しかし、提案ネットワークでは、知人と、知人の所有するノードは一対一対応しているため、ノードがP2P ネットワークから離脱することで、その知人に関する社会ネットワークが利用出来なくなる。結果、知人関係による信頼性を伴った経路が利用出来なくなり、信頼性はノードの参加状況に依存することになる。

そこで、本研究では離脱したノードの情報やリンクを維持することで、ノードの離脱によらず社会ネットワークによる信頼性を利用可能とする方式を提案する。提案方式は、離脱したノードが仮想的にネットワーク内に存在している状態を作り出すことで、社会ネットワークの不十分な反映状況を改善する。

<sup>†1</sup> 東京農工大学 大学院共生科学技術研究院  
Tokyo University of Agriculture and Technology

<sup>†2</sup> 東京農工大学 工学府  
Tokyo University of Agriculture and Technology

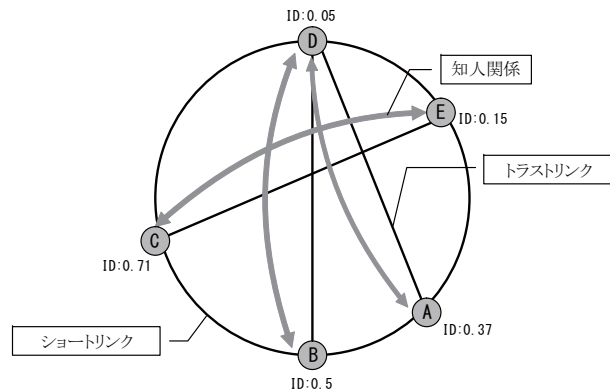


図1 社会ネットワーク適用型 P2P ネットワークの構成  
Fig.1 Link structure of P2P network with social network

## 2. 社会ネットワーク適用型 P2P ネットワーク

社会ネットワーク適用型 P2P ネットワークは、現実世界のユーザ間の繋がりをノード間の繋がりとして適用した P2P ネットワークである<sup>1)2)</sup>。ネットワーク構成を図1に示す。知人同士を直接接続したトラストリンクと、ネットワークを維持するためのショートリンクで構成している。ネットワークは、円形 DHT である Symphony<sup>4)</sup> を基に構築した。トラストリンクのみで作られたネットワークは、独立した複数の知人ネットワークが存在することになる。この状態では、知人の現在のネットワーク情報を把握する必要があり、アドレスが動的に変化する環境には適していない。ショートリンクを用いることで、1つの P2P ネットワークに複数の知人ネットワークを内包でき、初期ノードさえ把握していれば知人の現在のネットワーク情報を知ることができる。セキュリティを保つ必要のある情報のやり取りはトラストリンクのみを利用し、社会ネットワークでつながっていないノードとは通信できないようになっている。

提案ネットワークを用いたアクセス制御の例を図2に示す。図2は、ノードAの社会ネットワークを基にアクセスの可否を決定している。知人であるノードC,Dのアクセスは許可し、Bは信頼していないのでアクセスを拒否している。C,Dの知人であるG,EからのアクセスはC,Dを経由した通信のみ許可する。Fは、Cによって拒否されているのでAと通信することはできない。Hは、知人関係で迎れないため通信は不可能である。社会ネットワー

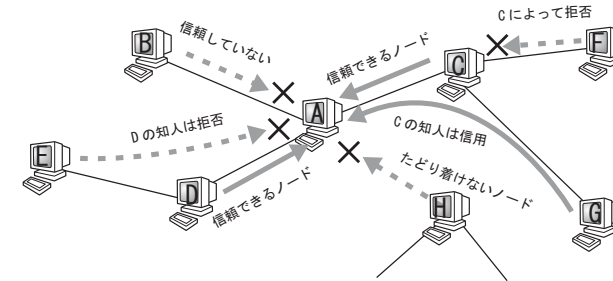


図2 信頼性を元にしたアクセス制御  
Fig.2 Access Control with a Reliability

ク適用型 P2P ネットワークで構築するリンクは知人と直接構築したものである。知人の知人からの通信は必ず知人を經由することになる。そのため、各ユーザが適切にアクセス制御設定を行っていけば安全なネットワークとなる。

提案した社会ネットワーク適用型 P2P ネットワークには、反映された社会ネットワークを利用した信頼性の高い通信経路が、ノードの参加状態に依存するという課題がある。概要を図3に示す。上部が現実世界で構築されている社会ネットワークで、下部が対応する P2P ネットワーク (トラストリンクのみ) である。社会ネットワークのリンクと、P2P ネットワークのトラストリンクが一致することが理想である。しかし、P2P ネットワークへのノード参加状態によっては、下部の破線のようにトラストリンクが存在しない状態が発生する。結果、誰かを經由してアクセスする必要のあるノードと通信できなくなる。そのため、社会ネットワーク適用型 P2P ネットワークでは、ノード参加状態の影響から社会ネットワークが不十分に反映されることによる、トラストリンクでの通信が限定されることへの対応が必要となる。

## 3. 提案方式

### 3.1 仮想ノードとクローンデータ

ノードの離脱による社会ネットワークの不十分な反映を解消し、ノードの参加状態に依存せず P2P ネットワーク上に社会ネットワークを維持するには、離脱したノードがネットワークに仮想的に参加している状態を作り出す必要がある。そこで、「仮想ノード」と「クローンデータ」を用いてこの状態を作る方式を提案する。

仮想ノードとは、離脱ノードのトラストリンクを維持し、図2のようなアクセス制御情

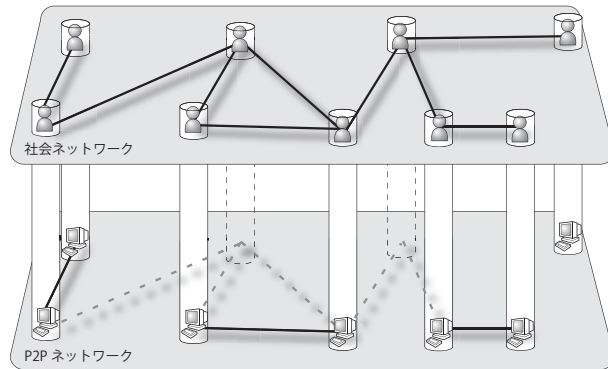


図 3 ノードの離脱と社会ネットワーク  
 Fig. 3 A Leaving Node and a Social Network

報に基づいた制御を、離脱ノードの代わりに行うノードである。仮想ノードがこのような制御を行うためには、離脱ノードの持つトラストリンク情報と、アクセス制御情報が必要となる。これらの情報は、離脱ノードがネットワークに参加中に、仮想ノード候補に渡しておく必要がある。仮想ノード候補に渡すデータがクローンデータである。クローンデータを持ったノードは、クローンデータの送信元のネットワーク参加状態を監視しておき、ノードの離脱を検知すると仮想ノードになり、クローンデータで指定された対象と仮想的なトラストリンクを構築する。しかし、不特定多数のノードから仮想ノード候補を選ぶと、信頼性の不明なノードを経由してデータを伝送することになり、セキュリティ上好ましくない。そのため、社会ネットワークの知人関係を利用し、自身の知人ノードのみが仮想ノードになれるようにした。

仮想ノードとクローンデータによる、社会ネットワーク維持の流れを図4に示す。ノードA, CはノードBの知人ノードであり、ノードDはノードCの知人ノードである。ノードA, ノードCはノードBの知人であるためノードBのクローンデータが配置されている。ノードBがネットワークを離脱すると、ノードBのクローンデータを所有しているノードAがノードBの仮想ノードとなり、ノードBがネットワークに参加している状態を作る。ノードAが仮想ノードになったのは、ノードBの離脱をノードCより早く検知したためで、ノードCがノードAより先にノードBの離脱を検知した場合はノードCがノードBの仮想ノードとなる。ノードBが構築していたトラストリンクは、ノードAが仮想的なトラスト

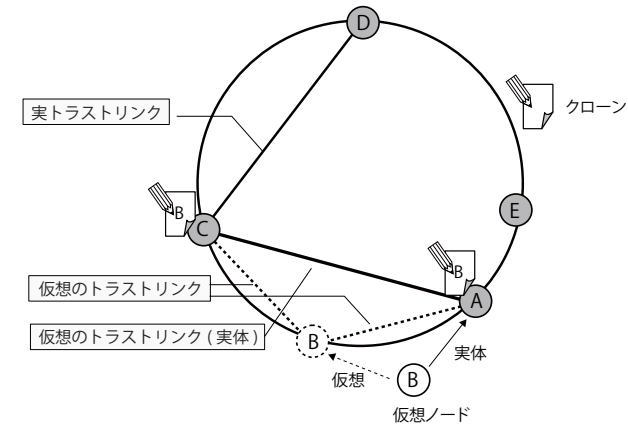


図 4 提案方式  
 Fig. 4 Proposed Network

リンクとして構築し直す。仮想のトラストリンクの実体は、ノードA,C間のリンクになる。

### 3.2 クローンデータの配置

クローンデータは、配置タイミングと配置対象を検討する必要がある。クローンデータは、離脱ノードがネットワークに参加しているように見せかけるための情報であり、トラストリンク情報と、アクセス制御情報になる。そのため、これらの情報はネットワーク離脱前に仮想ノード候補に配置しておく必要がある。離脱時のクローンデータ配置はデータ転送時間の面で難しく、また意図しない切断時にクローンデータが配置されないことになる。そこで、ノード参加時およびクローンデータが更新された際にクローンデータを配置することにした。

次に、配置対象については、通信経路の信頼性を考慮して知人ノードのみとした。これは、言い換えると直接トラストリンクで繋がっているノードということになる。P2Pネットワークはノードの参加・離脱が頻繁に生じる。そのため、クローンデータが配置されたノードも離脱する場合があります。社会ネットワークの維持という観点から、クローンデータは全て知人ノードに配置することが望ましい。しかし、クローンデータの容量と配置数に比例して転送時間が増加するため、トラストリンク数の多いノードに対して適用することは難しい。

そこで、平方根配置を参考にクローンデータの配置を行った。平方根配置は、非構造型P2Pネットワークにおいて、データのアクセス頻度の平方根に比例する数の複製を配置す

る方式である<sup>5)</sup>。この方式は、アクセス頻度が与えられていれば、データをアクセス頻度の平方根の数だけ複製することで、検索におけるクエリ伝搬範囲が最も小さくなることが証明されている。複製の配置数を平方根配置に近づける研究<sup>6)7)</sup>がある。これらの手法は不特定多数のノードに複製を配置するため、知人ノードに限定して配置するクローンデータに適用することは難しい。

本論文では、アクセス頻度ではなく知人ノード数に注目し、知人ノードの平方根の数だけ、クローンデータを配置する。知人ノードが50の場合でも、クローンデータ数は7になり、クローンデータ配置数を少なくできる。

### 3.3 仮想ノードの選択

仮想ノードはクローンデータを持つ知人ノードの1台になるが、選択の方法はいくつか考えられる。CPUやメモリなどコンピュータの性能が高いノードや、最も長くネットワークに参加しているノードなどが考えられる。本論文では、最初にノードが離脱したことに気付いた知人ノードの1台が仮想ノードになる方式を採った。仮想ノードにならずクローンデータを持っている知人ノードが存在する場合、そのノードは仮想ノードにはならず、ノード1台あたり仮想ノードは1台である。離脱ノードにアクセスしようとしたノードが仮想ノードになることで、仮想ノード選択のクエリが不必要になる利点がある。知人ノード以外のノードが離脱ノードにアクセスする場合でも、知人ノードを経由するため、知人ノードが最初に離脱に気づくことが可能である。

仮想ノードの実体である知人ノードが離脱した場合、クローンデータを持っている他の知人ノードが新たな仮想ノードとなる。この場合においても同様に、最初に仮想ノードが存在しないことに気づいた知人ノードが仮想ノードとなる。

## 4. 評価

提案方式では、クローンデータ、仮想ノードを用いることで、離脱ノードの持つ社会ネットワークの維持を可能とする。提案方式により、どの程度これらのアクセスが可能となるかについて評価を行った。評価用に開発したシミュレータを用いて、大規模なネットワークを想定した評価を行う。

### 4.1 評価方法

シミュレーションでは、大半のノードは知人数が少ないが、一部のノードのみ知人数が非常に多いという特徴を持った社会ネットワークをサンプルとして用いる(図5)。この特徴は社会ネットワークにおけるべき乗則<sup>8)</sup>に従ったものである。

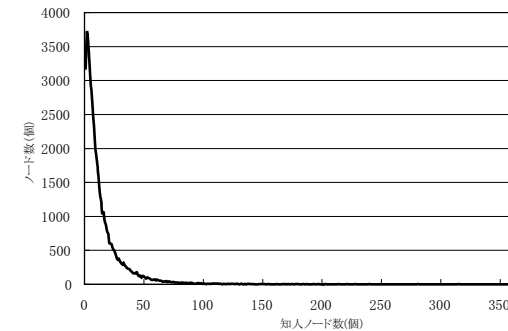


図5 知人数の変化  
Fig. 5 Variations in Number of Acquaintance

シミュレーションでは以下の処理を10000回繰り返すことを1セットと定義する。また、初期のノード数は全体(50825ノード)の10%~50%であり、5%刻みで変化させる。

- (1) ノードを1つ参加
- (2) 任意ノードへのアクセスを10回行う
- (3) ノードを1つ離脱

任意ノードへのアクセスとは、ランダムに選択したノードが、ランダムに選択した他のノードの本体または仮想ノードにアクセスできるかを意味している。

### 4.2 任意ノードへのアクセス成功率

ネットワークに参加しているノードの総数が変化するとき、ネットワーク全体で任意ノードへのアクセス成功率がどのように変化するか評価する。なお、一般的にP2Pネットワークではすべてのノードがネットワークに参加していることはない。評価に用いたネットワークモデル(図5)は知人ノード数が少ないノードが多く、離脱状況によっては仮想ノードが存在しない場合もある。そのため、アクセス成功率は100%になることはない。

生存ノード数を変化させ、仮想ノードを作成する場合としない場合について評価した。また、仮想ノードを作成する場合は、クローンデータを全ての知人ノードに配置する全ノード配置と、平方根の数の知人ノードに配置した場合を評価した。それぞれの場合においてシミュレーションを10セット行い、平均を取った。

結果を図6に示す。アクセス成功率はクローンデータなしの状態に比べ、全ノード配置、平方根配置ともに2倍近く向上している。クローンデータを全てのノードに作成した場合

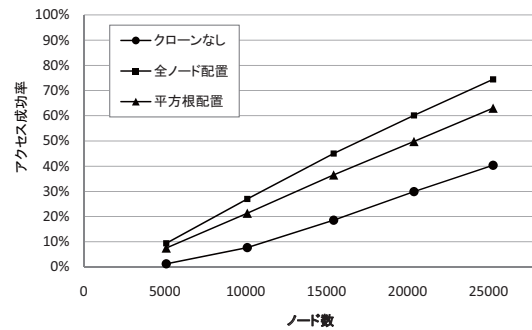


図 6 アクセス成功率  
Fig. 6 Access success rate

と、平方根配置にしたがって作成した場合には、平方根配置の方が低い値となっている。これは、クローンデータ配置数が少ないと、仮想ノードが作れない場合が多く生じる事に起因している。しかし、クローンデータを作成しない場合と比べて、全てのノードにクローンデータを配置した場合に近い値となっており、平方根配置によるクローンデータの配置であっても効果があることが分かる。以上から、クローンデータを配置し仮想ノードを作成することで、ノードの離脱によって不十分になっていた社会ネットワーク反映状況が改善されることが分かった。

この結果から、全ノード配置の方がアクセス成功率が高いため、平方根配置の意義が薄いように見えるが、各ノードが所有しているコンテンツもノードの離脱に関わらずアクセスさせようとした場合に効果があると考えられる。コンテンツはデータ容量が大きくなることが予想され、それらを全てのノードにクローンデータとして配置すると転送時間が大きな課題になる。そのため、データ転送量を減らし、アクセス成功率の向上効果が期待できる平方根配置は、アクセス成功率とデータ転送量のバランス面で意義があると考えられる。

#### 4.3 クローンデータの数

ネットワーク内の総ノード数の変化と、各ノードが持つクローンデータの数の平均を評価した。これを調べることで、ネットワーク中にどの程度クローンデータが配置されているかが分かる。シミュレーション結果を図 7 に示す。クローンデータの数は、全ノード配置ではノード数に比例して大きくなる。しかし、平方根配置では、ノード数に関係なく約 3 個と少ない数で安定している。4.2 の結果を考えると、平方根配置は転送データ量を削減しながら、

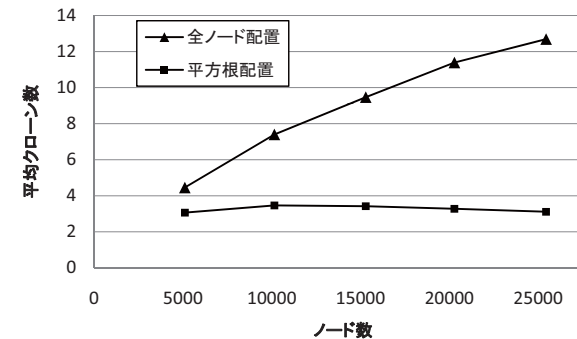


図 7 クローンデータ数  
Fig. 7 Number of Clone

効果的なデータ保存が可能だといえる。

## 5. 関連研究

Hybrid-P2P 型のネットワーク上で SNS を提供しているサービスがある<sup>9)</sup>。利用者は動画や音楽の閲覧及び投稿、公開を行う事が可能である。コンテンツの公開や非公開は利用者が設定可能になっており、それぞれの状態でコンテンツの保存先を変えている点が特徴である。公開コンテンツはサーバに保存し、SNS 利用者として登録していないユーザも閲覧が可能である。非公開コンテンツは各ユーザが保持し、コンテンツ情報のみがサーバに保存される。非公開コンテンツの閲覧は、保持しているノードに直接接続する必要があるため、ノードの参加状態によりコンテンツ取得の可否が決まる。本論文の提案方式は、Pure P2P 型であり、社会ネットワークをリンクに対するアクセス制限に利用しているため適用先が異なる。

ファイル保持者を社会ネットワークによりグループ化し、ファイル検索やダウンロード時間の短縮を可能にした方式が提案されている<sup>10)</sup>。この方式は bittorrent<sup>11)</sup> を SNS 化したものである。bittorrent のファイル転送性能に加え、社会ネットワークを用いたコンテンツ推薦機能や torrent ファイルの取得を中央サーバに頼らないようにすることが可能である。本論文とは、社会ネットワークによる P2P ネットワークの高機能化という点では類似しているが、扱っている問題が異なる。

また、社会ネットワークを P2P ネットワークに適用する研究も行われている。社会ネットワークを探索時間やダウンロード時間の短縮に利用する研究<sup>10),12)-14)</sup> や、P2P ネットワークへのルート DoS 攻撃などに対する耐障害性の向上を目的とした研究<sup>15)</sup> である。本論文では社会ネットワークを通信経路の信頼性向上に利用するため目的が異なる。

P2P ネットワークにおける複製情報の更新の同期手法についての提案<sup>16)17)</sup> がある。これらの研究では、複製が配置されるノードはネットワーク上に偏在しているため、同期情報の伝搬を目的とした論理ネットワークを新たに構築している。本論文では社会ネットワークを適用したことにより P2P の安全性を高めつつ、ノード離脱による社会ネットワークの不十分な反映の改善を目的とした複製配置が必要となる。そのため、提案されている方式とは前提条件が異なっている。

## 6. ま と め

本論文では、社会ネットワーク適用型 P2P ネットワークにおける、ノードのネットワーク離脱により、反映されている社会ネットワークが不十分になるという課題を、仮想ノード、クローンデータを用いることで改善する方式を提案した。また、離脱ノードの情報の複製であるクローンデータを平方根配置することで、少ないデータの複製でも効果があることをシミュレーションにより示した。今後の課題として、より社会ネットワークの維持が可能なクローンデータの配置および仮想ノードの作成方式がある。

謝辞 本研究の一部は、共生情報工学推進経費の助成を受けている。

## 参 考 文 献

- 1) 安藤公彦, 深貝篤生, 大島浩太, 寺田松昭: 社会ネットワークの適用と経路長削減を特徴とする P2P ネットワーク, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.3, pp.1204-1213 (2008).
- 2) Ando, K., Fukagai, A., Ohshima, K. and Terada, M.: DHT Network with Link Access Control using a Social Network, *2008 Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2008)*, IEEE Computer Society, pp.18-25 (2008).
- 3) 水田祥泰, 安藤公彦, 大島浩太, 寺田松昭: 社会ネットワークを用いた P2P ネットワークにおけるデータ保存方式の検討, 報処理学会 第 70 回全国大会, 第 3 分冊, pp. pp173-174 (2008).
- 4) Manku, G.S., Bawa, M. and Raghavan, P.: Symphony: Distributed Hashing In A Small World, *4th USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems*, pp. 127-140 (2003).
- 5) Cohen, E. and Shenker, S.: Replication Strategies in Unstructured Peer-to-Peer Networks, *SIGCOMM 2002*, ACM (2002).
- 6) Lv, Q., Cao, P., Cohen, E., Li, K. and Shenker, S.: Search and replication in unstructured peer-to-peer networks, *Proceedings of the 16th international conference on Supercomputing*, ACM, pp.84-95 (2002).
- 7) 木戸裕樹, 原 隆浩, 西尾章治郎: P2P ネットワーク上のデータアクセス頻度を考慮した確率的な複製配置方式, 日本データベース学会 Letters, Vol.4, No.4, pp.1-4 (2006).
- 8) Newman, M. E.J., Watts, D.J. and Strogatz, S.H.: Random graph models of social networks, *PNAS*, Vol.99, pp.2566-2572 (2002).
- 9) Imeem: imeem, <http://www.imeem.com/>.
- 10) Pouwelse, J., Garbacki, P., Wang, J., Bakker, A., Yang, J., Iosup, A., Epema, D., Reinders, M., van Steen, M. and Sips., H.J.: Tribler: A social-based peer-to-peer system, *Proceedings of the 5th International P2P conference (IPTPS 2006)*, IEEE (2006).
- 11) BitTorrent, I.: BitTorrent, <http://www.bittorrent.com/>.
- 12) CHEN, H., YANG, M., HAN, J., DENG, H. and LI, X.: Maze: a Social Peer-to-peer Networking, *E-Commerce Technology for Dynamic E-Business, 2004. IEEE International Conference*, IEEE, pp.290-293 (2004).
- 13) Anwar, C., Yurcik, W., Pandey, V., Shankar, A., Gupta, I. and Campbell, R.H.: Leveraging 'Social-Network' Infrastructure to Improve Peer-to-Peer Overlay Performance: Results from Orkut, *Networking and Internet Architecture*, ACM (2005).
- 14) Upadrashta, Y., Vassileva, J. and Grassmann, W.: Social Networks in Peer-to-Peer Systems, *International Conference on System Sciences (HICSS'05)* (2005).
- 15) Ganesan, S. M. P. and Garcia-Molina, H.: DHT Routing Using Social Links, *IPTPS*, IEEE, pp.100-111 (2004).
- 16) 渡辺俊貴, 神崎映光, 原 隆浩, 西尾章治郎: P2P ネットワークにおけるデータアクセス頻度を考慮した更新伝播法, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.1819-1832 (2008).
- 17) Wang, Z., Das, S.K., Kumar, M. and Shen, H.: An efficient update propagation algorithm for P2P systems, *Computer Communications archive*, Vol.30, No.5, pp. 1106-1115 (2007).