

P2P ファイル共有における公平性保証に対する研究

M2005MM010 伊藤 洋輔

指導教員 河野 浩之

1 はじめに

現在、既存のクライアント/サーバ型のモデルと比較して頑健性、拡張性、可用性等の面からピアツーピア (P2P) 技術が注目され、精力的に研究が進められている。また、今後は分散コンピューティングや P2P マルチキャストなどさまざまな利用法が期待されている。

しかし、ピアな P2P システムではピアの中央管理機構が存在しない。そのため、各ピアは自己の目的を達成するための自律した振舞いが予想される。結果、システムから資源共有サービスを手に入る一方、自身はサービスを提供しないただ乗り (*free-rider*) 問題が発生する。

そこで本研究では、P2P システムにおける資源供給を協調させるため、バンド幅などの提供サービス量や評判等によるインセンティブを考慮した各ピアの振舞いをモデル化する。また、振舞いモデルに対する適用例として我々が過去に提案した P2P コンテンツ流通システム [4] を用い、シミュレーション実験を通じて様々なピアの存在によりシステムに与える影響について考察する。

2 ピアの公平性・評判に関する関連研究

ピアの利己的な振舞いを抑制させ協調参加へと導く先行研究を表 1 にまとめる。金銭支払いスキームでは、サービス提供による現実の通貨、架空通貨の入手がインセンティブとして作用する。しかし、P2P 型のシステムにおける金銭支払いスキームの導入には通貨の導入や行われたサービスの追跡方法、支払いシステムの実現が必要不可欠であり、これら仕組みは実装困難である。そこで、インセンティブとして格差サービスを利用する [1]。

格差サービスではバンド幅やディスク容量、ファイル数など提供した資源によりシステムからの入手資源に格差が生じる。また、格差サービスによるシステム性能を考察するため、P2P システム上でのピアの自律した振舞いにゲーム理論を適用する研究が行われている [2, 6, 7]。

この他、ピア間の評判情報を利用した信頼性向上を目的とする研究が広く行われており、評価手法として、評価値を単純に平均したのものや、ベイズの理論を応用した

手法、信頼の輪に基づく評価、システム構造に基づく信頼性の推移的な計算方法などが提案されている [5]。

なお、本研究では Tamilmani ら [8] が行ったシステム中に存在する様々な種類のピアにおける振舞いモデルを基にする。文献 [8] ではダウンロードバイト数のみを考慮しているが、本研究では各ピアが保持する他ピアに対する評判も導入し、システム中のピアの種類や時間的な影響に応じてサービス量をより柔軟に変更することが可能となるよう拡張する。また、インセンティブとして評判も組込むことによるシステム中での振舞いの影響について、我々が過去に行った研究である信頼の連鎖機能を用いたコンテンツ流通システム [4] 上で実験、考察する。

3 評判情報を考慮した振舞いのモデル化

一般に、ピア間でサービスの授受が行われる際、サービス提供ピアでは対象からの入手サービス量や評判、サービスの追加提供による将来的なサービス量の増加など、様々なことを考慮して提供量を決定すると考えられる。

ここで、ピア i のピア j に対するサービス提供を考える。ピア i は時刻 t までにピア j と取引を行い、サービス入手量 $d_{ij}(t)$ を管理しており、 $d_{ij}(t)$ に対して一定割合 α の報酬を返す。さらに、ピア i は周囲からの評判をより高めるとともに将来的なサービス供給量の増加をねらい、自身の限界サービス提供容量 U_{max} に対する一定割合 β の無償提供をする。また、ピア i はピア j に対する時刻 t における評判 $R_{ij}(t)$ を保持しており、評判により求めるサービス量における一定割合 γ の提供を行う。

これらを踏まえ、(1) 式により時刻 t におけるピア i のピア j に対する最大サービス提供容量 $u_{ij}(t)$ と与える。

$$u_{ij}(t) = \alpha d_{ij}(t)^+ + \beta U_{max} + \gamma f(R_{ij}(t)) \quad (1)$$

なお、時刻 t はすべてのピアで統一した時間とし、 α, β, γ はそれぞれ報酬割合、無償提供割合、評判割合に応じた係数である。また、評判に関する関数 f は $R_{ij}(t) = 0$ のとき 0 、 $R_{ij}(t) = 1$ のとき U_{max} をとる単調非減少な関数である。ただし、最大サービス提供容量の計算には、報酬割合 $d_{ij}(t)$ について非負の値のみを考慮する。

以降は表 2 で示す 6 種のピアの基本的振舞いにおける α, β, γ のパラメータの違いを説明する。なお、システム中の各ピアは実際、取引対象の性質や取り巻く状況など様々な要因に応じてこれら基本的振舞いを混合させ、各種パラメータを変更しながら滞在すると考えられる。

1) ただ乗りピア (T_{free})

ただ乗りピアは、他ピアからサービスを手に入る一方、他ピアに対するサービス提供は決して行わない。そのため、(1) 式で与えた全パラメータの値を 0 に設定する。

表 1 システムへの協調参加を促す手法

金銭支払いスキーム [3]	サービス入手分だけ金銭を支払い、それをサービス提供ピアに還元
格差サービス [1]	自身がシステムに貢献した量にしたがい、受け取るサービス量に格差
	ファイル転送サービスのバンド幅割当て [6]
	アップリンクバンド幅による評判調整 [7]
貢献要因	ピア間におけるサービス提供率の割合 [2]

表 2 様々なピアの種類におけるパラメータの違い

基本的振舞いの種類 T	α	β	γ
T_{free}	0	0	0
T_{rec}	$0 < \alpha \leq 1$	0	0
T_{rep}	$0 < \alpha \leq 1$	0	$0 < \gamma \leq 1$
T_{pos}	$0 < \alpha \leq 1$	$0 < \beta \leq 1$	$0 < \gamma \leq 1$
T_{cont}	-	1	-
T_{mal}	-	1	-

2) 受けたサービスにのみ返すピア (T_{rec})

自身が入手したサービスにしたがいサービスを提供するピアは、自身からの積極的なサービス提供は行わない。そのため、リスクを冒し将来のサービス増加をねらうパラメータ β 、相手の評判に基づき提供量を調整するパラメータ γ は 0 とする。一方、入手したサービス量に基づき、 α を 0 から 1 の間に設定しサービスを提供する。

3) 評判を考慮するピア (T_{rep})

未知のピアとも積極的に取引を行うために相手の評判を考慮した取引を行うピアは、 α だけでなく評判割合パラメータ γ も 0 から 1 の範囲で考慮する。しかし、リスクをとった積極的貢献によるサービス入手量の増加は考えないため、 β の値を 0 と設定する。

4) 積極的貢献ピア (T_{pos})

システムに積極的に貢献することによりシステムからの入手サービス量の増加を考えるピアは、システム内での評判をより高めるため、リスクを伴うものの周囲に対して積極的にサービスを提供する。そのため α, β, γ すべてのパラメータを考慮する。

5) 貢献者 (T_{cont})

貢献者は、システムに貢献することのみを考え、自身はシステムからのサービス入手を求めないピアである。そのため、 α, γ に対する値は考慮せず、 β の値を 1 に設定することにより、自身のすべての資源を貢献する。

6) 悪意のある振舞いを行うピア (T_{mal})

システム中には、上記の振舞いを行うピア以外に偽物のサービス提供を考える悪意ピアが存在すると考えられる。彼らはサービスの入手に興味はなく、悪意のある振舞いを行うことのみ考える。そのため、彼らは貢献者と同じ振舞いをするものとしてモデル化する。

4 ピア振舞いモデルを適用するシステム

本章では、性能評価で使用する信頼の連鎖機能を用いたコンテンツ流通システム [4] について、文献 [4] では議論されていないサービスを受けるピアの選択戦略、ピア評判値更新の判断基準について考察する。

4.1 サービス入手ピアの選択

(2) 式により、ピア i がピア j を取引相手として選択する確率 P_{ij} を与える。

$$S_{ij}(t) = k * \frac{u_{ij}(t)}{\max(u_j(t))} + (1 - k) * R_{ij}(t)$$

$$P_{ij}(t) = \frac{S_{ij}(t)}{\sum_j S_{ij}(t)} \tag{2}$$

なお、 k は過去の取引量と評判間の重みを決定する変数であり $0 \leq k \leq 1$ である。また、 $\max(u_j(t))$ はサービス要求の応答ピアにおける $u_{ij}(t)$ の最大値であり、 $\sum_j S_{ij}(t)$ は $S_{ij}(t)$ の和である。(2) 式により入手ピアを確率的に選択する結果、特定ピアのみからのサービス入手がなくなり、広範囲のピアとの取引機会を与える。

4.2 評判値更新

過去の履歴を反映し、次回のサービス提供につなげるため、サービスの授受を行ったピアは評判値を更新する。評判値更新の判断基準を表 3 にまとめる。以降、判断基準を決定する上で、評判値の増減を行うそれぞれの視点から述べる。評判値の増加に関して、要求ピアでは今回の入手サービス量 $d_{ij}(t)$ が現在までの対象ピアへの提供サービス量 $u_{ij}(t)$ より少しでも多い場合とする。また、自身の限界サービス入手容量 D_{max} のサービスを手でできた場合も増加する。一方、提供ピアではサービス提供による対象ピアの評判上昇はない。次に、要求ピアにおける信頼値を減少させる要因としては偽サービスの入手が挙げられる。また、過去に自身が提供したサービス量よりも少ない量が提供された際、相手の限界サービス提供容量 U_{max} でない場合についても同様に評判値を減少する。提供ピアについては、サービスの入手が困難なピアから何度もサービス要求が行われる場合に減少する。最後に、要求ピアでは自身が提供したサービス量と同量のサービスを手したとしても、自身が提供した量は返してくるのが当然であるため、評判値は変化させない。

5 振舞いモデルを適用したコンテンツ流通システムの性能評価

本章では、ピア振舞いモデルに対する現実的な P2P 環境上の振舞い考察のためシミュレーション実験を行う。【セットアップ】

シミュレーション実験にあたり、各実験で用いるデフォルト設定を表 4 に示す。なお、過去に行った研究 [4] を基にシステムに関するパラメータ値を設定した。

1. 様々な種類のピアの振舞い

まず、ただ乗りピアをシステムから排除し、システムへのサービス提供度合いにしたがい格差サービスを実現することが可能であるか実験を行う。

デフォルトで与えた設定を利用して実験を行う。システム中のピアの種類については $T_{free}, T_{rec}, T_{rep}, T_{pos}$ それぞれが同じ割合で参加しているものとする。また、

表 3 評判値を更新する際の判断基準

ピア \ 更新	増加	変化なし	減少
要求ピア i	$d_{ij}(t) > u_{ij}(t)$ $d_{ij}(t) = D_{max}$	$d_{ij}(t) = u_{ij}(t)$ $d_{ij}(t) = U_{max}$	$d_{ij}(t) < u_{ij}(t)$ 偽サービス
提供ピア j	-	-	$d_{ji}(t) < 0$

表 4 シミュレーションで用いるデフォルト設定値

信頼の連鎖機能を用いたコンテンツ流通システムに関する設定		
合計参加ピア数	1,000	
最大信頼連鎖数	6	
評判問合せの下限評判値	0.97	
信頼の連鎖数に応じた係数 m	0.9^x (x :信頼連鎖数)	
取引量と評判の重み係数 k	0.9	
悪意ピアの偽サービス提供確率	1	
残りのピアの偽サービス提供確率	0.05	
評判値更新	上昇	$R + 0.02$
	下落 (要求ピア)	$R - 0.01 * 10^x$ (x :連続回数)
	(提供ピア)	$R - 0.05$
ピア振舞いパラメータの設定		
α	1	
β	0.05	
γ	0.5	
評判に関する関数 f	$U_{max} * R^2$	
限界サービス提供容量 U_{max}	100	

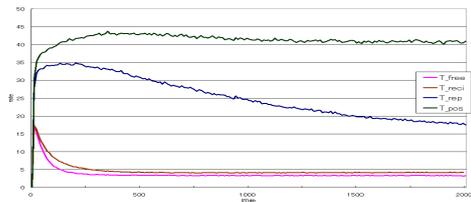


図 1 様々な種類のピアが得られるサービス量

サービス要求メッセージを受信したとき T_{free} はすべての要求にตอบสนองせず, T_{rec} は要求者が過去にサービス入手を行った相手以外の場合についてตอบสนองしないものとする。このとき, システム内の任意のピアが別の任意のピアに対して取引を行うことを 2,000,000 回繰り返した際, 各種ピアが得られたサービス量平均を図 1 で示す。

最初に T_{free} , T_{rec} について考察する。図 1 から, 初期状態時のランダムに構成した信頼の連鎖構造による T_{free} , T_{rec} への評判の存在にともない, 一定のサービス量があると考えられる。しかし, T_{free} はサービスを提供せず, T_{rec} は入手サービス量しか返すことを行わないため, 結果として評判値が減少し, 最終的に入手サービス量は T_{pos} のリスク部のみとなる。ここで, T_{pos} がリスク β を小さく設定することにより T_{free} に無償で与えてしまうサービス量をより減らすことが可能である。また, 各ピアでブラックリストを用い, ただ乗りの振舞いをしていると考えられるピアを登録し, 以降の取引を制限する仕組みを導入することにより, リスク部を大きくとったとしても T_{free} を無視することが可能となる。

T_{rep} について, 初期は入手サービス量が多いものの, 次第に減少する。これは, 評判の上昇にしたがい入手サービス量が増加するものの, 偽サービスの提供を行う可能性による評判の維持が不可能となり, 最終的な入手サービス量の減少につながると考えられる。

最後に, T_{pos} は他種と比較してサービスを多く入手し

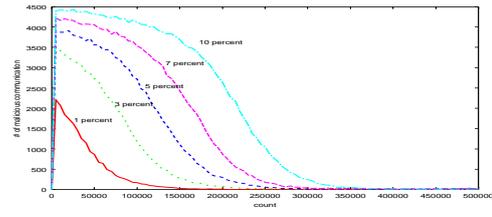


図 2 悪意のあるピアとの取引回数の変化

続けることが可能であった。これは積極的な貢献を続けることで, 偽サービスの提供による評判減少を抑制できたためと考えられる。つまり, システムからの入手サービス量の増加・維持には常なる積極的な貢献が必要である。

II. 悪意あるピアとの取引回数の推移

次に, 本研究で提案した信頼の連鎖構造を用いた評判問合せにより, 悪意のあるピアに対する取引を抑制することが可能であることを調査する。

デフォルトで与えた設定を利用して実験を行い, システム参加ピアの種類を T_{pos} , T_{mal} とする。その際, 初期信頼ネットワークをランダムに与え, 全 T_{mal} における T_{pos} 間の評判値を 0, T_{mal} 間の評判値を 1 と設定する。また, T_{pos} は自身が提供可能であるコンテンツの種類に制限があるものの, T_{mal} は全コンテンツに対して提供を試みるものとする。このとき, システム中の T_{mal} の割合を 1% から 10% まで様々に変更し, T_{pos} がコンテンツ要求を行うことを 500,000 回繰り返した際, T_{pos} と T_{mal} 間における 5,000 回毎の取引回数を図 2 で示す。

図 2 より, 初期状態では任意ピア間にランダムな信頼構造を与えたため, 全 T_{pos} は T_{mal} を認識不可能となり T_{mal} 間との取引回数が増加する。しかし, T_{mal} の存在に関わらず, 信頼の連鎖構造が徐々に確立されるにつれ, T_{mal} との取引回数は減少する。最終的に連鎖構造が完成すると, 全 T_{pos} は T_{mal} 間との連鎖構造を持たないため, T_{mal} との取引が行われなくなる。結果, T_{mal} をネットワークから締め出すことが可能となり, 信頼の連鎖構造を用いた評判値問合せは有効に動作することがわかる。

III. ピア振舞いパラメータの変更

次に, 各ピアの設定パラメータを変更し, 同種ピアが一律に振舞わない状況を考察する。なお, ピアの種類を T_{pos} に限定して実験を行い, ピア振舞いパラメータとしてサービス提供量への大きな要因となる α に注目する。

(1) 式で与えた α 以外のパラメータにおいて, デフォルトで与えた設定を利用する。このとき, α を設定するピアについて 0.1 から 1.0 まで 0.1 刻みに与え, 均等に存在した場合や存在比率が偏っていた場合を考慮する。任意ピア間における 200,000 回の取引を行ったとき, 均等時における $\alpha=1$ と設定したピアの提供サービス量を基準とした, α の違いによる最終的な 1 回あたりの入手・提供サービス量比率を図 3 で示す。

図 3 より, システム中に存在する α 値を高く設定するピアの割合にしたがい, 入手・提供サービス量ともに増

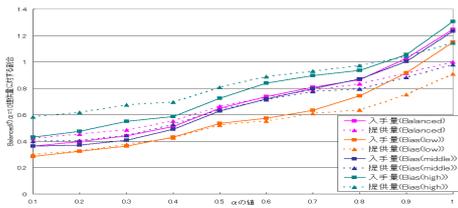


図3 均等時 $\alpha=1$ における提供サービス量を基準とした1回あたりの入手・提供サービス量

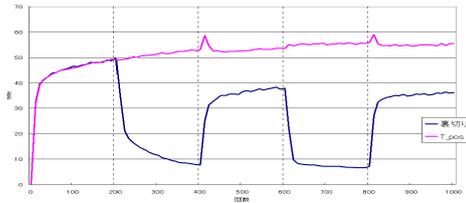


図4 途中でただ乗りを行った際のサービス入手量

加する．しかし、いずれの場合においても α の値を小さくするほど提供サービス量は減少する一方、同時に入手サービス量も減少する．また、 α を大きくとるほど1回あたりの提供サービス量に対する入手サービス量の比率が大きくなる．つまり、振舞いパラメータの設定変更により提供量を減少させ、より少ないサービス提供でより多くのサービス入手を試みたとしても、入手量も減少してしまうこととなる．ゆえに、自身がシステムに貢献した量にしたがって入手できるサービス量に格差が生じることとなり、格差サービスが実現可能であるといえる．

IV. 途中で振舞いを変更した場合

本研究で提案した手法では、評判が高いピアほどサービスを多く入手可能となる．そのため、高い評判を利用するただ乗りにより、更なるサービス入手を狙う可能性が考えられる．そこで、今までに得た評判を基に途中で振舞いを変更する裏切り行為による影響を調査する．

T_{pos} な振舞いを行う1,000ピアがデフォルトで与えた設定を用いて取引を行う．うち、200ピアはそれぞれ取引回数が200回から400回、600回から800回の間だけただ乗りを行う．このとき、 T_{pos} 、振舞いを変更するピアそれぞれにおける平均入手サービス量を図4で示す．

図4より、ただ乗りを始めた瞬間から入手サービス量は一気に減少する．また、サービス提供を再開することにより再び入手サービス量が増加する．この結果は、ただ乗りを行うことにより対象ピアへの評判が一気に減少するものの、サービス再開により徐々に評判を回復していることが原因であると考えられる．つまり、より多くのサービスを入手し続けるためには、常に多くのサービスを提供し続ける必要があるということがわかる．

6 むすび

本研究では、P2P環境下での情報資源流通で重要な課題となるシステムに対する公平性、信頼性に焦点を当て、システム考察に必要なピア振舞いモデルを提案した．システム中の振舞いに応じてサービス入手量が変化する格差サービス実現のため、提供サービス量、ピア間の信頼構造を利用した評判に着目するシステム上に適用した．

そして、様々なピアの存在によるシステム影響について実験を行った結果、ただ乗りピアは積極的にサービス提供するピアのリスク部のみ入手可能であることを示した．また、悪意ピアとの取引は信頼の連鎖構造が確立されるにつれ減少することを明らかとした．さらに、システムへの貢献度合いにともなった格差サービスを実現可能であること、ピアの振舞い変更に対する提供サービス量の高速、柔軟な調整が可能であることを示した．

今後、さらなる動的なピアの振舞いを考慮できるようモデルの拡張、本研究で適用したシステム以外のシステム上での性能評価が可能であるか考察する必要がある．

参考文献

- [1] C. Buragohain, D. Agrawal, and S. Suri, "A Game Theoretic Framework for Incentives in P2P System," Proc. of the 3rd Int. IEEE Conf. on Peer-to-Peer Computing, pp. 48-56, 2003.
- [2] M. Feldman, K. Lai, I. Stoica, and J. Chuang, "Robust Incentive techniques for Peer-to-Peer Networks," Proc. of the 5th ACM Conf. on Electronic Commerce, pp. 102-111, 2004.
- [3] D. Geels, and J. Kubiawicz, "Replica management should be a game," Proc. of the SIGOPS European Workshop, pp. 235-238, 2002.
- [4] 伊藤洋輔, 河野浩之, "信頼の連鎖機能を用いたピアコンテンツ流通システム," データベースとWeb情報システムに関するシンポジウム, pp. 133-140, 2005.
- [5] A. Josang, R. Ismail, and C. Boyd, "A Survey of Trust and Reputation Systems for Online Service Provision," Decision Support Systems, vol.43, issue 2, pp. 618-644, Mar. 2007.
- [6] R. Ma, S. Lee, J. Lui, and D. Yau, "A game theoretic approach to provide incentive and service differentiation in P2P networks," Proc. of the Joint Int. Conf. on Measurement and modeling of computer systems, pp.189-198, 2004.
- [7] B. Mortazavi, and G. Kesidis, "Model and simulation study of a peer-to-peer game with a reputation-based incentive mechanism," Information Theory and Applications Workshop, 2006.
- [8] K. Tamilmani, V. Pai, and A. Mohr, "SWIFT: A system with incentives for trading," Proc. of the 2nd Workshop of Economics in Peer-to-Peer Systems, 2004.