

評価者間類似度を用いた不正評価排除による レピュテーションシステムの性能向上

山中 広明[†] 岡村 真吾[†] 藤原 融[†]

[†] 大阪大学 大学院情報科学研究科

〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: {yamanaka.hiroaki, okamura, fujiwara}@ist.osaka-u.ac.jp

概要

P2P コンテンツ共有において、レピュテーションシステムを用いて汚染コンテンツのダウンロードを回避する場合、レピュテーションシステムの性能が高いことが望ましい。しかし、レピュテーションシステムによって計算されるピアの信頼度値の信頼性は不正評価によって大きく低下するため、不正評価を排除し信頼性の低下を抑える必要がある。本稿では、自ピアを最も正当な評価者であると考え、自ピアと他ピアとの評価の類似度によって不正評価を排除する手法を提案した。また、P2P コンテンツ共有を想定したシステムの性能評価指標を検討した。さらに、シミュレーションによる提案手法の性能評価を行い、特に高い割合で不正評価が存在する場合において、提案手法による性能向上を確認した。

Improving the performance of a reputation system by exclusion of dishonest ratings based on similarity between raters

Hiroaki Yamanaka[†] Shingo Okamura[†] Toru Fujiwara[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-5, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

E-mail: {yamanaka.hiroaki, okamura, fujiwara}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract

In a P2P contents sharing where a reputation system is applied for avoidance of downloading polluted contents, the reputation system should be reliable. However dishonest ratings considerably degrade the reliability of trust values of peers computed by a reputation system. It is reasonable in a P2P environment that each peer considers himself is one of the most honest rater. Therefore, in this paper we propose a method for exclusion of dishonest ratings based on similarity of ratings between himself and other raters. And a criterion is also discussed for evaluating the performance of a reputation system applied for a P2P contents sharing. By simulations, we confirm improvement of the performance especially where there exists large amount of dishonest ratings.

1 はじめに

近年、自律的な振舞いが可能なピアどうしでコンテンツ共有を行う P2P コンテンツ共有の研究開発が盛んである。P2P コンテンツ共有は、P2P アプリケーションの一つであり、ウイルスが混入されたり、偽ファイルに差し替えられたりした汚染コンテンツを流通させようとする悪意ピアの存在が想定され、その対策が必要である。そこで、レピュテーションシステムを適用して、汚染コンテンツのダウンロードを回避することが考えられている [1, 2, 3]。具体的には、レピュテーションシステムにより、ピアの信頼度値を計算し、その信頼度値をもとにコンテンツ提供

者の選択を行うことにより、汚染コンテンツのダウンロードを回避する。レピュテーションシステムでは、まず、コンテンツ取得者であるピアが、取得時に提供者について、取得したコンテンツに基づき評価を行う。ピアの信頼度値は、複数のピアによる当該ピアの評価値から計算される。以降、本稿においてピアの評価とは、コンテンツ取得者が提供者に対して行う評価を指すものとする。また、ピアの評価者は評価を行ったコンテンツ取得者、ピアの評価値は評価において点けられた値であるとする。ピアの評価者、ピアの評価値を、評価者、評価値と表記することもある。

レピュテーションシステムによって計算されるピ

アの信頼度値は、そのピアが過去に提供したコンテンツの実績を適切に反映し、信憑性の高いものでなければ、汚染コンテンツのダウンロードを回避する効果は十分に得られない。しかし、信頼度値の信憑性は、信頼度値計算に用いられた評価値の正当性に依存するものであり、ピアの評価における不正（虚偽、不公平）評価によって信頼度値の信憑性が大きく低下することがある。したがって、レピュテーションシステムの信頼度値計算における性能向上のため、不正評価を排除する必要がある。しかし、先行研究においては、評価の正当性が考慮されていなかったり [1]、評価者としての正当性がコンテンツ提供者としての信頼性と合致するという前提に基づいていたり [2]、あるいは評価者としての正当性とコンテンツ提供者としての信頼性は独立なものとしているものの、評価者間評価（2節参照）における不正評価が考慮されない [3] という問題がある。

本稿では、自ピアを最たる正当評価者であると考え、他ピアの評価者としての正当性を、自ピアと他ピアが行った評価の類似度（評価者間類似度）によって、推定する。そして、評価者間類似度によって評価値に重みづけして信頼度値を計算することで、不正評価を排除する手法を提案する。また、レピュテーションシステムを用いる目的である、汚染コンテンツのダウンロード抑制制度を計測するための性能評価指標についても検討する。さらに、コンテンツ授受を想定したシミュレーションを行い、検討した指標に基づいて提案手法の性能評価を行う。

以下、2節では関連研究、3節では本稿で提案する評価者間類似度を用いた不正評価排除手法の詳細について述べる。4節では性能評価指標を検討し、5節ではシミュレーションによる提案手法の性能評価を行う。最後に、6節で今後の課題、7節で本稿のまとめを述べる。

2 関連研究

既存の P2P 環境におけるレピュテーションシステムについて、不正評価排除の観点からまとめる。

P2P ファイル共有 Gnutella を拡張したレピュテーションシステムである STEP [1] では、あるピアの信頼度値計算は、当該ピアの評価値の和によって求めているだけであり、評価値に対して何の篩分けも施されず、不正評価への対策は講じられていない。

文献 [2] で提案されたレピュテーションシステムである EigenTrust では、評価者としての正当性がコンテンツ提供者としての信頼性と合致することを前提としており、最初は、全てのピアに同じ信頼度値が与えられるが、ピアの信頼度値更新において、信頼度値の高いピアによる評価値ほど、大きく重みづけされる。しかし、正当コンテンツを提供しながら不正評価を行うような攪乱ピアが存在する場合、性能

が著しく低下するという問題がある。

Swamynathan ら [3] が提案したレピュテーションシステムでは、EigenTrust とは異なり、評価者としての正当性とコンテンツ提供者としての信頼性は独立なものと考えている。ピアの評価とともに、ピアの評価者についての評価（評価者間評価）を行うことにより、ピアの評価者としての正当性を示す値が算出される。そして、コンテンツ提供者としての信頼度値は、ピアの評価値を、それを点けたピアの評価者としての正当性を示す値によって重みづけして計算される。しかし、評価者としての正当性を示す値は、複数のピアによる評価者間評価値の単純な和によって計算されるため、評価者間評価における不正評価が考慮されていない。そのため、この手法では、信頼度値計算において不正評価排除を十分に実現できているとはいえない。

3 評価者間類似度を用いた不正評価排除の提案

3.1 正当評価者の推定

本稿では、Swamynathan ら [3] の提案と同様に、ピアの評価者としての正当性とコンテンツ提供者としての信頼性は独立なものとする。評価者としての正当性は、自ピアと他ピアの評価の類似度（評価者間類似度）だけから推定する。自ピアは、正当な評価者であるので、これにより不正評価を排除することができる。P2P 環境では信頼できる第三者の存在が想定困難であり、そのような環境では自ピアが最たる正当な評価者の一人であるという考えに基づくものである。

3.2 評価者間類似度の定義

評価者間類似度は、自ピアによる評価値を基準として（正当な評価値と考えて）計算される。ピア i を基準としたときの、ピア i とピア j の評価者間類似度 sim_{ij} を $[0 : 1]$ の範囲の実数値で与える。評価値の差が小さくなるような共通の被評価者が多いほど評価者間類似度が高くなるように定義する。ただし、自ピアとの評価者間類似度は 1 とする。

ピア i とピア j の共通の被評価者（ピア i および j にコンテンツを提供したことがあるピア）の集合を CR_{ij} とする。また、ピア i によるピア v の評価値を $rate_i(v)$ と表記する。このとき、ピア i とピア j による共通の被評価者の評価値の差がパラメータ ϵ より小さいピア数 SR_{ij} を次のように定義する

$$SR_{ij} = \#\{v \in CR_{ij} : |rate_i(v) - rate_j(v)| < \epsilon\}$$

そして、評価者間類似度 sim_{ij} は式 (1) のように定

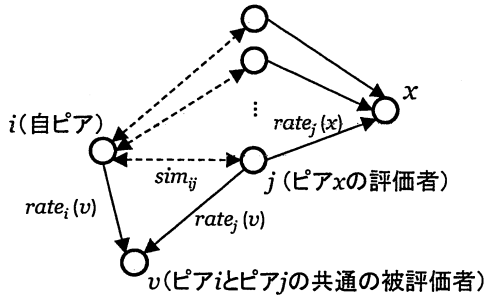


図 1: 評価者間類似度の定義と信頼度値計算の概念図

義する。

$$sim_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } i = j, \\ \frac{SR_{ij}}{\sum_k SR_{ik}} & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

3.3 信頼度値の計算

評価者間類似度をピア間評価の正当性を示す値として用いる (図 1)。 R_x をピア x の評価者であるピア (ピア x からコンテンツを取得したピア) の集合とすると、ピア i は、ピア x の信頼度値 $tv_i(x)$ を式 (2) のように計算する。

$$tv_i(x) = \sum_{j \in R_x} sim_{ij} * rate_j(x) \quad (2)$$

なお、評価者および被評価者のピア ID や評価値などの情報は、構造化オーバーレイネットワーク上で管理されているものとして、それらの情報の可用性および完全性が損なわれることを本稿では想定しない。各ピアが、信頼度値を計算しようとするピアの信頼度値計算に必要な情報を入手して、計算を行うのが一般的な実行手順であると考えられる。

4 性能評価指標の検討

4.1 性能評価指標の要件

P2P コンテンツ共有アプリケーションにレピュテーションシステムを適用する目的は、汚染コンテンツのダウンロード回避である。したがって、性能評価指標としては汚染コンテンツのダウンロードをどの程度抑制できるかを計測する必要がある。ただし、アプリケーションの用途に着目すると、各ピアが取得したい正当コンテンツの取得を試みる状況が自然であるため、そのような状況における汚染コンテンツのダウンロード抑制度の計測が、より実用的な性能評価指標であるといえる。

4.2 既存研究における性能評価指標

既存研究では多くの場合、ピア間でのコンテンツ授受を再現したシミュレーションによって性能評価

を行っている。Swamynathan ら [3] の行った性能評価では、あらかじめ各ピアに対して理想的な信頼度値を設定しておき、レピュテーションシステムによって計算された信頼度値とあらかじめ設定された信頼度値の差を「誤差」として、信頼度値の信憑性を計測している。しかし、あくまで信頼度値の信憑性の計測であって、汚染コンテンツのダウンロード抑制度は計測されていない。

STEP [1] や EigenTrust [2] をはじめ、多くの既存研究では、汚染コンテンツのダウンロード数や汚染コンテンツをダウンロードしたピア数などの計測によって性能評価を行っている。

4.3 本研究における性能評価指標

本研究においても既存研究の多くと同様に、汚染コンテンツのダウンロード数を計測することで性能評価を行う。ただし、4.1 節で述べた要件を満たすため、各ピアが取得予定のコンテンツについてのみ取得を試みるシミュレーションを行う。各ピアについて、取得予定のコンテンツ全てを取得完了までの間にダウンロードした汚染コンテンツ数を計測することで、性能評価を行うことにする。

そして、性能を示す値として、取得予定として設定されたコンテンツ数に対するダウンロードされた汚染コンテンツ数の比率 (汚染コンテンツ平均ダウンロード数) を用いる。この値は直感的には、1つの正当コンテンツを取得するのに要する汚染コンテンツのダウンロード数と解釈できる。この値が 0 に近いほど性能が良いと判断できる。

4.4 レピュテーションシステムの適用

各ピアが、計算された信頼度値が最大となる 1 ピアを選択してコンテンツをダウンロードすることで、P2P コンテンツ共有アプリケーションにレピュテーションシステムを適用する。できるだけ多くのピアの信頼度値の信憑性を高速に向上させるため、信頼度値が最大でないピアからも積極的にダウンロードして、多くのピアを評価していくことも考えられる。しかし、その場合、汚染コンテンツも多くダウンロードしてしまい、今回の性能評価指標では性能が向上しない可能性がある。このような信頼度値の信憑性の向上と汚染コンテンツのダウンロード数のトレードオフの影響を最小限に抑え、今回の性能評価指標において高い性能となる最適なダウンロード戦略が他に存在するかもしれない。しかし、本稿では、汚染コンテンツのダウンロード数を最小限にするために考えられる、上述のような最も単純なダウンロード戦略を想定する。

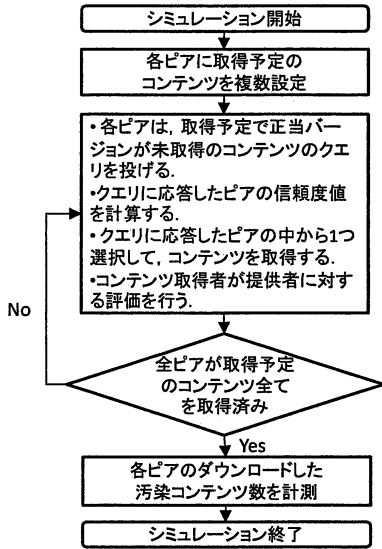


図 2: シミュレーションの実行手順

5 性能評価

5.1 シミュレーション設定

図 2 に示す手順でシミュレーションを行う。コンテンツ提供者のランダム選択、もしくは eBay¹, Eigen-Trust, 提案手法それぞれの場合について、計算された信頼度値が最大のピアを選択して、コンテンツをダウンロードするシミュレーションを行い、汚染コンテンツ平均ダウンロード数によって性能評価を行う。以下、シミュレーションの詳細な設定について述べる。

5.1.1 想定ピア

表 1 に示すように、通常ピア、悪意ピア、攪乱ピア、および確率的攪乱ピアを想定する。悪意ピアは汚染コンテンツを提供するピアである。また、通常ピア以外は、不正評価によってレピュテーションシ

表 1: シミュレーションでの想定ピア

ピアモデル	提供コンテンツ	他ピアへの評価
通常ピア	正当コンテンツ	正当評価
悪意ピア	汚染コンテンツ	不正評価
攪乱ピア	正当コンテンツ	不正評価
確率的攪乱ピア	正当コンテンツ	ある確率で不正評価

¹オークションサイト eBay (<http://www.ebay.com/>) で運用されているレピュテーションシステムでは、評価値の単純な和によって信頼度値を計算する。STEP [1] も同様に評価値の単純な和によって信頼度値を計算するが、今回のシミュレーションでは、評価値のブラッキングによる問い合わせの影響が考慮されていないため、単純和による信頼度値計算を eBay と表記する。

表 2: その他シミュレーション設定

全ピア数	500
悪意ピア数	50
全コンテンツ数	(通常ピア数) × 3
評価値	ポジティブ評価: +1 ネガティブ評価: -1
ϵ	0

ステムの性能低下を目的とするピアである。

なお、正当評価とは正当コンテンツ提供者に対してポジティブ評価を行い、不正コンテンツ提供者に対してネガティブ評価を行うこととする。不正評価はその逆である。

5.1.2 コンテンツ授受モデル

コンテンツモデル

各コンテンツには、それぞれ正当バージョンと汚染バージョンがあるとす。また、各コンテンツには固有の人気度順位が与えられているものとする。

コンテンツの初期保持者

各コンテンツの正当バージョンは、悪意ピア以外のランダムに選ばれた 1 ピアが保持するものとする。また、汚染バージョンは、悪意ピアからランダムに選ばれたピアが保持する。汚染バージョンを保持しているピア数は、コンテンツの人気度順位に基づく Zipf 分布に比例するものとする。これは、人気度順位の高いコンテンツほど、汚染バージョンを流通させようとする悪意ピアが多く存在している状況を想定したものである。

取得予定コンテンツの設定

各コンテンツについて、通常ピアからランダムに選ばれたピアに対して、そのコンテンツを取得予定として設定する。このとき、ランダムに選ばれるピア数はコンテンツの人気度順位に基づく Zipf 分布に比例するものとする。なお、通常ピア以外のピアについては、早々にコンテンツ授受を終了することがないように、全コンテンツを取得予定コンテンツとして設定しておく。

コンテンツ検索

コンテンツの所在の問い合わせに対し、そのコンテンツの正当バージョンを保持している悪意ピア以外のピア、および汚染バージョンを保持している悪意ピアが応答するものとする。なお、本シミュレーションではコンテンツ検索のオーバーレイネットワークについての想定は行わず、該当するピア全てが応答するものとする。

その他の設定は表 2 にまとめておく。

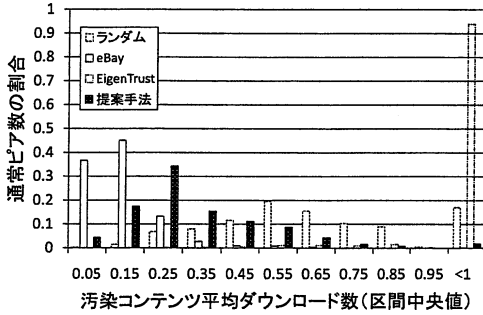


図 3: 通常ピアの割合分布 (攪乱ピア数: 50)

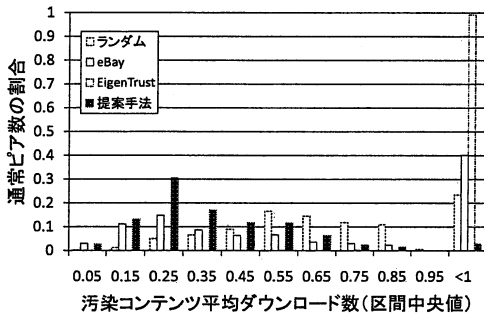


図 4: 通常ピアの割合分布 (攪乱ピア数: 150)

5.2 結果と考察

不正評価を行う攪乱ピア数の増加, および確率的攪乱ピアの不正評価を行う確率の変化に対する性能評価を行った。

5.2.1 攪乱ピア数の増加に対する性能

図 3 および図 4 は, 汚染コンテンツ平均ダウンロード数の階級別の通常ピアに関する割合分布を示したものである。[0 : 1] における区間幅 0.1 の階級と 1 を超える値の階級に分かれている。図 3 は通常ピア数が 400, 攪乱ピア数が 50 の場合, 図 4 は通常ピア数が 300, 攪乱ピア数が 150 の場合である。また, 表 3 は攪乱ピア数が 50 および 150 それぞれの場合の汚染コンテンツ平均ダウンロード数の全通常ピアにおける平均値である。

EigenTrust は攪乱ピアに対して脆弱であるため, や

表 3: 全通常ピアにおける平均値

	攪乱ピア数: 50	攪乱ピア数: 150
ランダム	0.68	0.74
eBay	0.12	1.40
EigenTrust	4.65	6.36
提案手法	0.33	0.37

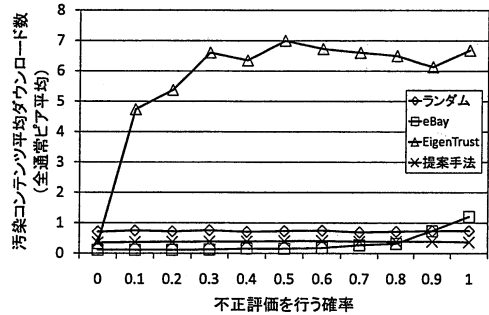


図 5: 確率的攪乱ピアの不正評価を行う確率の変化に対する性能

は, 最も性能が悪い結果になった。攪乱ピア数が 50 (全ピアの 10%) の場合は, eBay の方が提案手法よりも性能が良いという結果になった。攪乱ピア数を 150 (全ピアの 30%) に増加させると, eBay の性能は低下したが, 提案手法は性能を維持して, 最も性能が良い結果になった。提案手法では不正評価者数の変化に関係なく, 性能が維持されることがわかる。

5.2.2 確率的攪乱ピアに対する性能

計算される信頼度値の信憑性に悪影響を及ぼすと考えられる確率的攪乱ピアに対する性能評価を行った。図 5 は, 確率的攪乱ピアが不正評価を行う確率に対する, 汚染コンテンツ平均ダウンロード数の全通常ピアにおける平均値である。通常ピア数は 300, 確率的攪乱ピア数は 150 である。

不正評価を行う確率が 0.8 以下においては, eBay の性能が最も良く, それ以外においては提案手法の性能が最も良いという結果になった。また, 不正評価を行う確率の変化は, 提案手法の性能にはほとんど影響を及ぼさないこともわかる。

5.2.3 考察

提案手法は攪乱ピア数や不正評価を行う確率の変化に対して, 性能がほぼ一定であることがわかった。しかし, 攪乱ピア数や不正評価を行う確率が小さい場合, 信頼度値計算に用いる評価値に対して何の篩分けも施さない eBay の性能が最も良いという結果になった。これは, 評価者間類似度の定義に用いられる共通の被評価者が, シミュレーション開始後, 十分な数になるのに時間がかかり, その間, 本来は正当である評価値が信頼度値計算に用いられていないことが一因であると考えられる。

6 今後の課題

本稿ではピア数を 500 としてシミュレーションを行った。しかし, 実際の P2P アプリケーションでは

数十万～数百万規模の数のピアが存在することが考えられる。このようにピア数が膨大になった場合、共通の被評価者の存在が希薄になることが考えられるため、評価者間の類似関係を効率的に形成する必要がある。

P2P ファイル共有 KaZaA で運用されているレピュテーションシステムにおいて、評価の半数程度が虚偽の評価であることが報告されている [4]。このように不正評価が大量に存在することの背景の一つとして、評価を行うインセンティブがユーザに不足していることが指摘されている。正当評価を行うインセンティブの提供によって、悪意のない不正評価者を減らす必要がある。

また、本稿ではコンテンツの複製を複数のピアに保持させることについて考慮していなかった。コンテンツ複製配置が行われた場合、悪意のないピアであるにもかかわらず、汚染コンテンツの提供者となってしまうことが考えられる。そこで、汚染コンテンツを提供しないためのインセンティブメカニズムやコンテンツ所有者へのトレーサビリティ技術の組み合わせによって、悪意のあるピアとそうでないピアを明確に識別できるようにすることが必要である。

7 まとめ

本稿では、レピュテーションシステムの性能向上のため、評価者間類似度を用いた不正評価排除手法を提案した。また、レピュテーションシステムを適用する目的である汚染コンテンツのダウンロード抑制制度に関する性能評価指標を検討し、シミュレーションによる提案手法の性能評価を行った。その結果、高い割合で不正評価が存在する状況において、本提案手法による性能向上が見られた。今後は不正評価が低い割合でしか存在しない場合においても、性能を向上させることが必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重なご助言を頂いた大阪大学 大学院情報科学研究科 石原靖哲 准教授、寺西裕一 准教授、吉田真紀 助教、竹内亨 助教、大阪大学 大学院工学研究科 春本要 准教授に感謝いたします。

参考文献

[1] I. Martinovic, C. Leng, F. A. Zdarsky, A. Mauthe, R. Steinmetz, and J. B. Schmitt, "Self-protection in P2P networks: Choosing the right neighbourhood," in *Proceedings of the 1st International Workshop (IWSOS 2006) and 3rd International Workshop on New Trends in Network Architectures and Services (EuroNGI 2006)*, pp. 23–33, 2006.

[2] S. D. Kamvar, M. T. Schlosser, and H. Garcia-Molina, "The EigenTrust algorithm for reputation management in P2P networks," in *Proceedings of the 12th international conference on World Wide Web (WWW 2003)*, pp. 640–651, 2003.

[3] G. Swamynathan, B. Y. Zhao, K. C. Almeroth, and H. Zheng, "Globally decoupled reputations for large distributed networks," *Advances in Multimedia*, vol. 2007, no. 1, pp. 12–12, 2007.

[4] J. Liang, R. Kumar, Y. Xi, and K. W. Ross, "Pollution in P2P file sharing system," in *Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2005)*, vol. 2, pp. 1174–1185, 2005.