

非構造化P2Pネットワークにおける ピアの行動変化を考慮した ファイル交換要求分散手法の検討

牛窪 洋貴^{†1} 矢島 充^{†1} 重野 寛^{†2}

概要: 非構造化 P2P ネットワークを用いたファイル交換におけるセキュリティ対策の一つとして評価値集約手法がある。この手法では各ピアの信頼度を数値化することで安全なファイル交換が行える一方、ファイル交換要求が一部の高信頼なピアに集中してしまうといった問題がある。一部のある程度信頼度の高いピアを一時的に選択されやすくすることでファイル交換要求を分散させる手法が検討されているが、悪意あるピアも選択されやすくなることでファイル交換成功率が低下するといった問題については未考慮である。そこで本提案では、ファイル交換の安全性とファイル交換要求分散のトレードオフを考慮した評価値集約手法を検討する。さらにシミュレーション評価により、提案手法は既存手法に比べファイル交換要求の分散を維持しつつ、ファイル交換成功率を向上できていることを確認する。

キーワード: P2P ネットワーク, セキュリティ, 評価値集約手法

Distribution of File Requests Considering Peer's Changing Behavior in Unstructured P2P Networks

HIROKI USHIKUBO^{†1} TAKASHI YAJIMA^{†1} HIROSHI SHIGENO^{†2}

Abstract: Reputation aggregation methods are focused on as a way of establishing secure file-sharing in unstructured P2P networks. In these methods, each peer can exchange files safely by quantifying each peer's reliability. However, there is a problem that file-requests concentrate on partial peers with high reliability in the methods. In existing method, file requests are distributed by making high reliability peers more likely to be selected temporarily. Although, the existing method do not consider the problem that malicious peers can provide poisoned files by abusing that system. So in this paper, we propose an aggregation method that consider trade-off between safety of file-sharing and distribution of file-requests. The results of computer simulation demonstrate the distribution of file-requests and the advancement of file success rate.

Keywords: P2Pnetwork, Security, Reputation Aggregation Method

1. はじめに

P2P ネットワークにおけるアプリケーションの1つとしてファイル共有がある。P2P ネットワークにおけるファイル共有では、各ピアがファイルのアップロード、ダウンロードを自由に行うことができ、効率的にファイル共有できる

^{†1} 現在、慶應義塾大学大学院理工学研究科
Presently with Graduate School of Science and Technology,
Keio University

^{†2} 現在、慶應義塾大学理工学部
Presently with Faculty of Science and Technology, Keio University

といった特徴がある [1][2]。しかし、P2P ネットワークは全体の管理が困難であり、ファイルの捏造やウィルスファイルのばら撒きなどを行う悪意あるピアが介入しやすいためセキュリティの面では従来以上の注意が必要である [3]。

P2P ネットワークにおけるセキュリティ対策の一つとして評価値集約手法がある [4][5][6]。評価値集約手法では各ピアの信頼度を数値化してネットワーク上のピア間で共有する。そして評価値集約手法では各ピアがファイル交換する際、その値を参照し事前に交換相手となるピアの信頼度を判断することでより安全なファイル交換を行うことを目的としている。ここで、安全で正常なファイルを提供するかをピアの信頼度の基準とし、各ピアの信頼度を数値化したものを評価値と定義する。評価値を用いたファイル交換では、評価値がファイル交換回数に依存しており同じ信頼度のピア間でもファイル交換回数の違いにより評価値に差が出てしまうという性質がある。そして、評価値の高いピアにファイル交換要求が集中するという問題に繋がる。

この様な問題に対し、信頼度が同等なピアの評価値の差異を低減させ、ファイル交換要求の分散を目的とした既存手法として DFR-Trust が提案されている [7]。DFR-Trust ではファイル交換回数に依存しない評価値算出法を提案し、信頼度が同等なピア間における評価値の差異を低減させている。また、ファイル交換相手を各ピアの評価値に基づいた確率で選択する。そしてファイル交換の際、一部の評価値がある程度高いピアの選択される確率（以下被選択確率）を高め、選択されやすくすることで高信頼のピア以外にもファイル交換要求を分散させている。しかし、DFR-Trust ではピアの行動変化を考慮しておらず、被選択確率の変動を悪用される可能性があるという問題がある。ここで悪用とは、被選択確率の変動をより多くのピアに悪質ファイルを提供するために利用するということを意味する。また行動変化するピアとは、被選択確率の変動を悪用するため一定の評価値を得るまでは正常ファイルを提供し、選択される確率が上昇した後悪質ファイルを提供するピアと定義する。そこで、本提案ではピアの行動変化を考慮したファイル交換要求分散手法を提案する。提案手法ではまず被選択確率の変動方法について検討する。次に、パラメータを設定し、ファイル交換の安全性とファイル交換要求分散のトレードオフを考慮した評価値を設定する。以下本稿では、2章において関連研究について述べる。3章で提案手法を解説し、4章でシミュレーション評価によって提案手法は既存手法に比べファイル交換要求の分散を維持しつつ、ファイル交換成功率を向上できていることを確認する。最後に5章で結論を述べる。

2. 関連研究

関連研究として、評価値集約手法、ファイル交換要求の分散を目的とした既存研究である DFR-Trust について述

べる。

2.1 評価値集約手法

評価値集約手法とは P2P ネットワークにおけるファイル交換のためのセキュリティ対策の一つである。評価値集約手法では評価値と呼ばれる各ピアの信頼度を数値化した値を用いて、ウィルスファイルやごみファイルを提供する悪意あるピアとのファイル交換回避を目的としている。評価値は大きくローカル値とグローバル値に分けられる。ローカル値はファイルを要求し受信したピア（以下受信ピア）がそのファイルの中身の安全性を確認し、ファイル提供ピア（以下送信ピア）に対して個別に算出する値である。例えば受信したファイルが正常なファイルであればローカル値に1インクリメントし、悪質ファイルであったら1デクリメントする。ローカル値は各ピアが個別に算出する値であるため、同じ送信ピアに対し同一の値のローカル値を持つとは限らない。一方、グローバル値は各ピアの持つローカル値を交換し合うことで集約し算出した値であり、ネットワーク全体のピア間でほぼ共通の値となるとする。GossipTrust では、各ピアが簡単な計算方法で評価値を算出できる集約アルゴリズムを提案し、集約時間とメモリ使用量を削減している [4]。PeerTrust では、ファイルの中身の善悪だけでなく、フィードバックの結果やその信頼性、トランザクション量、トランザクションの背景、コミュニティの背景のなど5種に基づいた信頼性評価が提案されている [8]。

次に評価値がファイル交換においてどのように用いられるかについて説明する。ファイル交換の際、各ピアは要求したファイルを保持しているピアの中からグローバル値を参照し各ピアの信頼度を判断する。そして交換相手を決定し実際に受信したファイルの善悪の結果からローカル値を更新し、そのローカル値をピア間で集約することで新たなグローバル値が算出される。この様にファイル交換の結果から常に評価値を更新することで、より安全なファイル交換を行うことができる。

しかし、以上のような評価値を用いたファイル交換では評価値の高い、即ち安全度の高いピアにファイル交換要求が集中していくといった問題がある。これにより一部のピアに大きな負荷がかかり、効率的なファイル分配ができなくなるといった問題に繋がる。図1を用いて一部のピアにファイル交換要求が集中してしまう要因について解説する。まずグローバル値がある程度高いピアの場合、信頼性があると判断され多くのピアにファイル交換相手として選択される。正常なピアであれば正常ファイルを提供するので受信ピアが持つローカル値は上昇する。そして、そのローカル値を元に算出したグローバル値はファイル交換前に比べさらに高いものとなり、またさらに多くのファイル交換要求が集中することになる。この様なサイクルを繰り返すこ

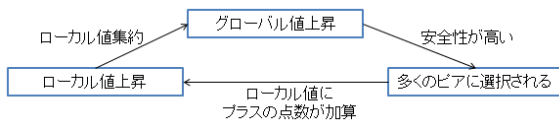


図 1 グローバル値上昇のメカニズム

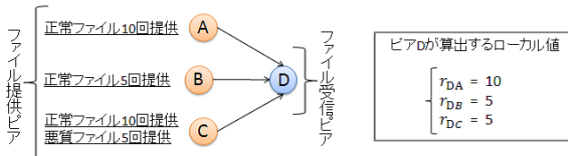


図 2 ローカル値の算出例

とにより結果的に交換要求が一部のピアに集中していく。これはローカル値の算出方法がファイル交換回数に依存しており各ピアの信頼度を正しく数値化できていないことが原因と考えられる。

交換回数に依存したローカル値算出法により生じる問題の具体例を図 2 に示す。送信ピアをピア A, B, C, 受信ピアをピア D とする。ここでは受信ファイルが正常なファイルであればローカル値に 1 インクリメントし、悪質ファイルであったら 1 デクリメントするとする。まず、この例においてピア A と B はどちらも正常なファイルのみを提供しているにも関わらず、提供回数が異なるためローカル値では 2 倍の差が生じている。またピア C は悪質ファイルも提供しているのにも関わらず、ローカル値は正常ファイルのみを提供しているピア B と同じ値となっている。この様にファイル交換回数に依存したローカル値算出法ではピアの信頼度を正しく評価値に数値化できていない場合がある。以上より、ファイル交換回数に依存しないローカル値算出法を用いて交換要求を分散させる必要がある。

2.2 DFR-Trust

評価値を用いたファイル交換においてファイル交換要求の分散を目的とした既存手法として DFR-Trust (Distribution of File Requests) がある。まず、DFR-Trust におけるローカル値の算出方法について説明する。受信ピアをピア i , 送信ピアをピア j とする。ここで、1 回のファイル交換の際にピア i がピア j に対して算出したローカル値を $r_{ij}(x)$ ($x = 1, 2, \dots, X$, X :ピア i がピア j から受信した回数) と表す。このとき、最終的なローカル値 R_{ij} は以下の式 1 から算出する。

$$R_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{X} \sum_X r_{ij}(x) & (R_{ij} \geq 0) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (1)$$

この様にファイル交換回数で割ることで、ファイル交換回数に依存しない、正常ファイル提供確率に基づいたローカル値を算出できる。各ピアは R_{ij} を交換し合うことで集約しグローバル値を算出する。

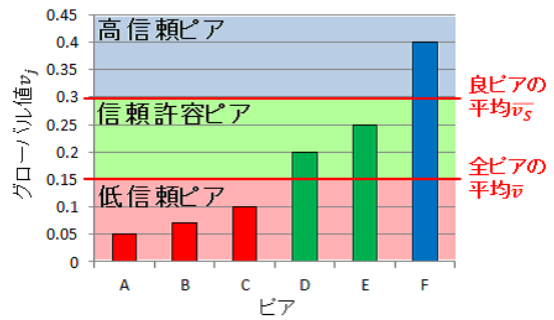


図 3 グローバル値によるピアの区分

DFR-Trust では図 3 のようにグローバル値でピアを 3 つのエリアに区分している (以下ピア区分)。全ピアのグローバル値の平均値 \bar{v} を下回るピアを低信頼ピア、 \bar{v} 以上のグローバル値を持つピアの平均値 \bar{v}_s 以上のグローバル値を持つピアを高信頼ピア、 \bar{v} 以上で \bar{v}_s に満たないピアを信頼許容ピアと定義する。DFR-Trust ではファイル交換相手を選択する際、グローバル値に基づいた確率で選択しており、グローバル値と被選択確率は対応している。図 3 の例ではピア A と比べグローバル値の高いピア F の方が選択されやすくなる。さらに DFR-Trust ではファイル交換の際、信頼許容ピアのグローバル値を一時的に \bar{v}_s まで引き上げることで信頼許容ピアの被選択確率を上げ、選択されやすくする。この様に信頼許容ピアの被選択確率を上昇させることで高信頼ピア以外にもファイル交換要求を分散させている。

しかし、悪意あるピアが信頼許容エリアに潜入していた場合、グローバル値が一時的に引き上げられるため選択されやすくなり、より多くのピアに悪質ファイルを提供することが可能となる。また、各ピアはお互いのグローバル値を把握しているため自分がどのピア区分に属しているか把握できる。つまり、信頼許容エリアに入るまでは正常ファイルを提供しグローバル値を高め、信頼許容エリアに入ったら行動変化を起こし悪質ファイルの提供を開始するようなピア (以下行動変化ピア) が存在すると考えられる。このような意図的に信頼許容エリアに入り込むピアが存在した場合、より多くのピアに対し悪質ファイルの提供が成功してしまい、安全なファイル交換が損なわれる。

3. 提案

本稿ではピアの行動変化を考慮したファイル要求分散手法を提案する。提案手法では信頼許容ピアの被選択確率を調整する際、そのグローバル値に応じて被選択確率の引き上げる大きさを変化させるようにする。即ち、グローバル値が大きいピア程選択されやすくなるように被選択確率を調整する。さらに、信頼許容エリアで悪意あるファイル提供が行われた際、より少ないグローバル値更新で行動変化ピアを信頼許容エリアから排除するため、グローバル値に

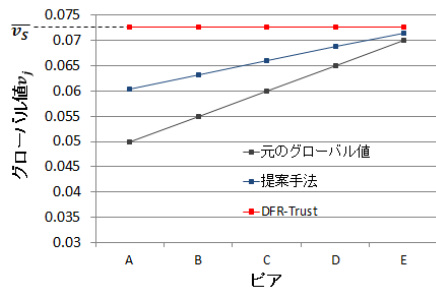


図 4 グローバル値の変移

応じたローカル値を設定する。即ち、信頼許容ピアの内グローバル値が高いピア程ローカル値の下げ幅を大きくし、信頼許容エリアのどこで悪意あるファイル提供が成されたとしても信頼許容エリアから排除できるようにする。この様により少ないグローバル値更新で信頼許容エリアから排除することで継続的に被選択確率の上昇を悪用されることを防ぐ。またローカル値算出法は既存手法の交換回数に依存しないローカル値算出法を踏襲する。尚、ローカル値を集約してグローバル値を計算する方法として、理論値に近いグローバル値を算出できるとしている GossipTrust[9] を用いる。

3.1 グローバル値に応じた信頼許容ピアの被選択確率の変動方法

DFR-Trust では悪意あるピアとして 100% 悪質ファイルを提供するピア (以下単純ピア) を想定している。単純ピアの場合、常に悪意あるファイル提供するピアであるので、1 度信頼許容エリアに入り悪意あるファイル提供したとしても選択されることで評価値が下がり、2 度と信頼許容エリアに入り込むことはない。しかし、信頼許容エリアに意図的に複数回侵入する行動変化ピアにとっては信頼許容エリアに入ってしまったら、 \bar{v}_s までグローバル値が大きく上がりより多くのピアに悪質ファイルを提供するための手段となってしまう。そこで本提案では信頼許容ピアのグローバル値に応じて被選択確率を調整することにする。提案手法では式 2 を用いて信頼許容ピアのグローバル値を一時的に変動させ、被選択確率を変動させる。 v_m は本来の信頼許容ピアのグローバル値、 v'_m は引き上げた後のグローバル値を示す。

$$v'_m = \bar{v}_s \times \sqrt{\frac{v_m}{\bar{v}_s}} \quad (2)$$

式 2 により信頼許容ピアのグローバル値がどのように変動するか実際に計算した例を図 4 に示す。横軸に信頼許容ピア A, B, C, D, E, 縦軸にそれぞれのピアのグローバル値を取る。黒いグラフは元のグローバル値であり、赤いグラフは DFR-Trust によるグローバル値の変動結果、青いグラフは提案手法による変動結果を示す。

DFR-Trust では良ピアの平均値 \bar{v}_s までグローバル値が

一律に引き上げられるが、提案手法では元のグローバル値に応じて変化している。この様にすることで、行動変化ピアが信頼許容エリアに侵入し \bar{v}_s までグローバル値が大きく上がることを防ぎ、信頼許容ピアの中でも信頼度が高いピアが選択されやすくする。また、行動変化ピアは信頼許容エリアに入った際、悪意あるファイル提供をする場合には、そのまま被選択確率があまり上昇しないままであるか、または信頼許容エリアに入った後も自ら正常ファイルを提供しより高い被選択確率を獲得してから悪質ファイルを提供することが考えられる。よって提案手法では、信頼許容エリアのどこで悪意あるファイル提供を行うかは行動変化ピアに応じて変わると考えられる。そのため提案手法では、行動変化ピアが信頼許容エリアのどこで悪意あるファイル提供をしたとしても、より少ないグローバル値更新で信頼許容エリアから排除できるようにする。

3.2 ローカル値の計算方法

本提案においてもファイル交換回数に依存しない正常ファイル提供確率に基づいたローカル値を算出する。ファイル交換回数に依存しないローカル値算出法では 1 回のファイル交換毎に $r_{ij}(x)$ を算出する。 $r_{ij}(x)$ は x 回目のファイル交換の際に受信ピア i が送信ピア j に対して算出する値とする。そして、グローバル値算出の際に式 1 を用いて最終的なローカル値 R_{ij} を算出する。この様にすることでファイル交換回数の違いにより評価値に差異が生まれてしまうことを防ぐ。各ピアはこの R_{ij} を集約することで新たなグローバル値を計算し更新する。

次に、行動変化ピアが信頼許容エリアで悪意あるファイル提供を行った際、継続的に被選択確率の上昇を悪用されることを防ぐためにより少ないグローバル値更新で信頼許容エリアから排除できるようにする。評価値集約手法においてグローバル値はローカル値を集約することで算出されるので、ローカル値の計算方法について検討する。提案手法ではピア区分、即ちファイル交換相手のグローバル値によりローカル値を変えるようにする。具体的には以下の式 3, 4 により 1 回のファイル交換の際に算出するローカル値 $r_{ij}(x)$ を決定する。 $r_{ij}(x)$ は受信ピア i が送信ピア j に対して算出する評価値と定義する。x 回目のファイル交換において、正常ファイルを受信した時の $r_{ij}(x)$ を r_{ij}^+ 、悪意あるファイルを受信した時の $r_{ij}(x)$ を r_{ij}^- と定義する。 \bar{v} は全ピアのグローバル値の平均値、 \bar{v}_s は \bar{v} 以上のグローバル値を持つピアのグローバル値の平均値を示す。また α, β は傾きを表し、0 以上の実数とする。 $\bar{v}_s \leq v_{ij}$ の時、 $r_{ij}^+ \leq 0$ となった場合は $r_{ij}^+ = 0$ とする。 r_{ij}^- は $0 \leq r_{ij}^-$ のとき同様に $r_{ij}^- = 0$ とする。

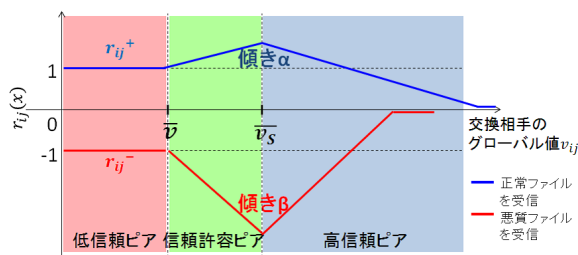


図 5 ピア区分ごとのローカル値

$$r_{ij}^+ = \begin{cases} +1 & (v_{ij} < \bar{v}) \\ +(1 + \alpha(v_{ij} - \bar{v})) & (\bar{v} \leq v_{ij}(x) < \bar{v}_s) \\ +(1 - \alpha(v_{ij} - 2\bar{v}_s + \bar{v})) & (\bar{v}_s \leq v_{ij}(x)) \end{cases} \quad (3)$$

$$r_{ij}^- = \begin{cases} -1 & (v_{ij} < \bar{v}) \\ -(1 + \beta(v_{ij} - \bar{v})) & (\bar{v} \leq v_{ij}(x) < \bar{v}_s) \\ -(1 - \beta(v_{ij} - 2\bar{v}_s + \bar{v}_i)) & (\bar{v}_s \leq v_{ij}(x)) \end{cases} \quad (4)$$

式 3, 4 をグラフ化したものを図 5 に示し, $r_{ij}(x)$ の算出について説明する. 図 5 において, 横軸は交換相手のピアのグローバル値, 縦軸はそのグローバル値に応じて算出する値 $r_{ij}(x)$ を示す. また赤いグラフは正常ファイルを受信した時の値 r_{ij}^+ , 青いグラフは悪質ファイルを受信した時の値 r_{ij}^- を示す. 受信ピアはファイルの中身と交換相手のグローバル値を参照し, r_{ij}^+ または r_{ij}^- を算出する. 例えば, 低信頼ピアから悪質ファイルを受信した場合, $r_{ij}(x) = r_{ij}^- = -1$ となる.

まず, 信頼許容ピアが悪意あるファイル提供をしたとき, そのグローバル値に比例して r_{ij}^- が大きくなる. これは信頼許容エリアのどこで悪意あるファイル提供が成されても信頼許容エリアから排除できるようにするためである. また, 高信頼ピアが悪意あるファイル提供をしたとき, そのグローバル値に比例して r_{ij}^- が小さくなる. これは信頼許容エリアのどこで悪意あるファイル提供が成されてもより少ないグローバル値更新で信頼許容エリアから排除できるようにするためである. また, 高信頼ピアが悪意あるファイル提供をした時, そのグローバル値に比例して r_{ij}^- が小さくなる. これは高信頼のピアのローカル値を上げすぎると, 正常ピア間でのグローバル値に差が生じ, ファイル交換要求を受ける数にばらつきが生じるためである. 交換相手のグローバル値が \bar{v} 以上の場合, α を大きくすることで正常ファイルを受信した際の r_{ij}^+ を大きくすることができる. また, β を大きくすることで悪質ファイルを受信した時の r_{ij}^- を大きくすることができる. 本提案では $\alpha < \beta$ となるようパラメータ, α, β を設定し, プラスの点数である r_{ij}^+ よりマイナスの点数である r_{ij}^- を大きく付けるようにする. これは, 1 回の悪意あるファイル提供により大きく評価が下がりやすいシステムにするためである. 例えば, $\alpha=1, \beta=2$ と設定した場合, 悪意あるピアにとっては悪質ファイルに比べ正常ファイルを 2 倍以上提供しな

ければローカル値は上がらない. この様に β を大きくし, ローカル値を上がりやすく下がりやすいシステムとすることで, 悪意あるファイル提供をした際大きくローカル値を下げることができ, ファイル交換の安全性を向上させることができる.

しかし, 正常ピアであっても誤って悪質ファイルを提供してしまった場合や, 意図せずに潜伏型のウイルスファイルなどを流してしまった場合には当然評価値は下がる. この様な場合, β のを大きくすることで, 正常ピアであっても大きくローカル値が下がり選択される回数が減少する. このため, 正常ピア間でファイル交換要求を受ける数に差ができ, ファイル交換要求分散の悪化に繋がる. よって, パラメータ α, β をファイル交換の安全性とファイル交換要求分散のトレードオフを考慮して決定する必要がある.

4. シミュレーション評価

本稿ではピアの行動変化を考慮したファイル要求分散手法を提案する. 提案手法では信頼許容ピアの被選択確率を調整する際, そのグローバル値に応じて被選択確率の引き上げる大きさを変化させるようにする. 即ち, グローバル値が大きいピア程選択されやすくなるように被選択確率を調整する. さらに, 信頼許容エリアで悪意あるファイル提供が行われた際, より少ないグローバル値更新で行動変化ピアを信頼許容エリアから排除するため, グローバル値に応じたローカル値を設定する. 即ち, 信頼許容ピアの内グローバル値が高いピア程ローカル値の下げ幅を大きくし, 信頼許容エリアのどこで悪意あるファイル提供が成されたとしても信頼許容エリアから排除できるようにする. この様により少ないグローバル値更新で信頼許容エリアから排除することで継続的に被選択確率の上昇を悪用されることを防ぐ. またローカル値算出法は既存手法の交換回数に依存しないローカル値算出法を踏襲する. 尚, ローカル値を集約してグローバル値を計算する方法として, 理論値に近いグローバル値を算出できるとしている GossipTrust[9] を用いる.

本章では, 提案手法をシミュレーションにより評価し, その結果を考察する.

4.1 シミュレーション環境

本評価では, P2P ファイル交換に提案手法を適用した場合の効果について評価を行った. シミュレーションに用いたパラメータを表 1 に示す. 本シミュレーションではネットワーク上に正常ピアと行動変化ピアが混在しているものとする. 正常ピアは正常なファイルを提供する確率が高いピアであり, 悪意がなくとも他のピアから受信した悪質ファイルを送信したり, 潜伏型の悪質ファイルを送信するなどの場合を考慮して 5% の確率で悪質ファイルを提供するものとする. また, 行動変化ピアは被選択確率の一時的

表 1 シミュレーションパラメータ

パラメータ	値
全ピア数 N	100
1ピアあたりの初期ファイル保持数	1
総ファイル交換回数	30000回
グローバル値集約タイミング (1/回)	2000回
行動変化ピアの割合	0~50%
正常ピアの悪質ファイル提供確率	5%
ステップスレッシュホールド	0.001
サイクルスレッシュホールド	0.01

な上昇を悪用するため、信頼許容エリアに入るまでは正常ファイルを提供しグローバル値を上げ、信頼許容エリアに入ったら任意のグローバル値の時に悪意あるファイル提供を開始するものとする。そして、悪意あるファイル提供をし、グローバル値が下がることで信頼許容エリアから排除された場合、再度行動変化し正常ファイルの提供を開始するものとする。また、評価値集約手法には Gossip Trust を用い、各ピアが分散的に評価値を算出するものとする。

以下の項目についてシミュレーション評価を行った。

- パラメータ α, β を変化させた時のファイル交換成功率と正常ピアの被ファイル交換要求数の標準偏差
- 行動変化ピアの割合とファイル交換成功率の関係
- 各ピアの被ファイル交換要求数

ファイル交換成功率とは全受信ファイル数の内の正常ファイル数の割合であり、ファイル交換の安全性を示す指標となる。また、被ファイル交換要求数はファイル交換要求を受けた回数である。初めに、 α, β をファイル交換成功率と正常ピアの被ファイル交換要求数の標準偏差のトレードオフの関係を考慮して決定するため、第 1 項目について評価する。次に、行動変化ピアに対処しつつもファイル交換要求の分散ができていないかを確認するため第 2, 第 3 項目について評価する

4.2 パラメータ α, β の設定

パラメータ α, β によりファイル交換成功率と正常ピアの被ファイル交換要求数がどのように変化するかをシミュレーションにより評価した。ここでは行動変化ピアの割合を 30% とした。

初めに β を α の整数倍大きくし、ファイル交換成功率と正常ピアの被ファイル交換要求の分散にどのような影響が出るか調べた。 $\alpha=1$ で固定し、 β をその整数倍大きくしていった時の結果を図 6 に示す。横軸に β の値、左軸にファイル交換成功率、右軸に正常ピアの被ファイル交換要求数の標準偏差を取る。図 6 より、 α に比べ β を大きくしていくとファイル交換成功率は上がり、被ファイル交換要求数の標準偏差は大きくなる、即ち正常ピアが受けるファイル交換要求数のばらつきが大きくなること分かる。 β が大きくなり r_{ij}^- が大きくなることで、行動変化ピアが悪意

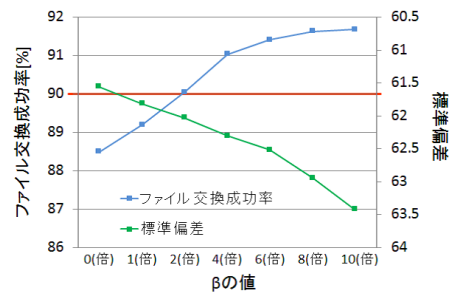


図 6 $\alpha=1$ に固定し、 β を α の整数倍して変化させた時

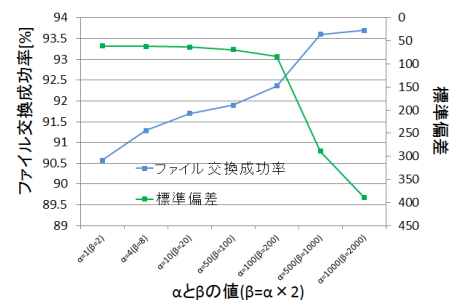


図 7 $\beta=2 \times \alpha$ で固定し、 α を変化させた時

あるファイル提供した際ローカル値が大きく下がり、それを集約し更新したグローバル値も下がる。これにより被選択確率が下がるので、行動変化するピアとのファイル交換を回避することができる。よって、 β が大きくなる程ファイル交換成功率が上がると考えられる。また、 β が大きくなることで、正常ピアが誤って悪質ファイルを提供してしまった際、大きくグローバル値が下がりファイル交換相手として選択される回数が減少する。このため、正常ピアの被ファイル交換要求数に差が生じ、正常ピアの被ファイル交換要求数の標準偏差は大きくなる。よって、 β が大きくなる程標準偏差は大きくなると思える。以上の結果を考慮した上で、本提案ではファイル交換成功率が 90% を超えた $\alpha=1, \beta=2$ の時、即ち β を α の 2 倍になるように設定することにした。

次に $\beta=2\alpha$ にしたまま α を大きくしたときの結果を図 7 に示す。図 7 より、 α, β の値の差が大きくなる程ファイル交換成功率は上昇し、標準偏差は大きくなっていることが分かる。これは先ほどの結果と同様に、 α に比べ β が大きくなることで悪質ファイルを提供したピアのグローバル値が大きく下がり、行動変化ピアであれば被選択確率が下がるのでファイル交換成功率の向上に繋がる。一方、正常ピアであれば被選択確率が下がり正常ピアでの被ファイル交換要求数のばらつきに繋がる。以上のトレードオフを踏まえ、 $\alpha=1, \beta=2$ のときすでにファイル交換成功率が 90% を超えており、以後は標準偏差が大きくなってしまふことから、 $\alpha=1, \beta=2$ に設定することにした。

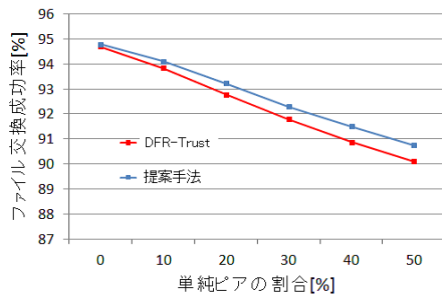


図 8 単純ピアのみの場合のファイル交換成功率

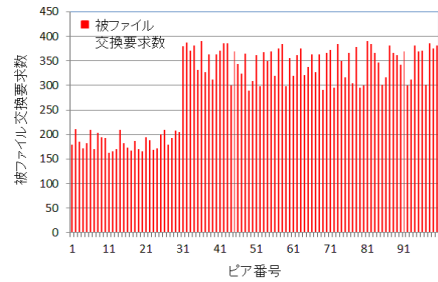


図 10 DFR-Trust における各ピアの被ファイル交換要求数

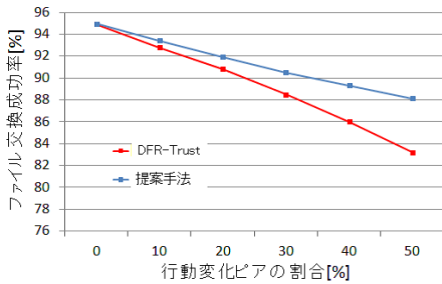


図 9 悪意あるピアが行動変化した場合のファイル交換成功率

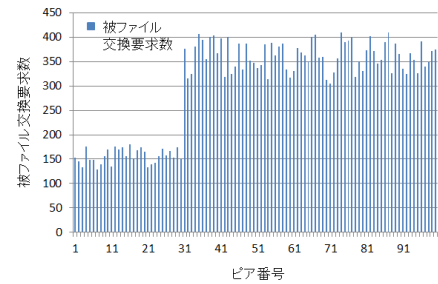


図 11 提案手法における各ピアの被ファイル交換要求数

4.3 行動変化ピアの割合とファイル交換成功率の関係

図 8 に単純ピアの割合とファイル交換成功率の関係を示す。また図 9 に行動変化ピアの割合とファイル交換成功率の関係を示す。

図 8, 図 9 より提案手法は DFR-Trust に比べファイル交換成功率が向上していることがわかる。特に行動変化ピアに対しては、最大で約 5% ファイル交換成功率が向上している。これは、提案手法では信頼許容エリアで悪意あるファイル提供が行われた際、DFR-Trust と比べより少ないグローバル値更新で信頼許容エリアから排除することで行動変化ピアとのファイル交換を回避しているからだと考えられる。また、信頼許容ピアのグローバル値を一時的に引き上げる際、提案手法ではグローバル値に応じて引き上げ、信頼許容エリアに入った瞬間に大きく被選択確率が上昇してしまうことを防いでいるからだと考えられる。

4.4 各ピアの被ファイル交換要求数

図 10 に行動変化ピアが 30% の条件下で DFR-Trust を用いた場合の各ピアの被ファイル交換要求数を示す。また、図 11 に同条件下で提案手法を用いた場合の各ピアの被ファイル交換要求数を示す。横軸に 1~100 までのピア番号、縦軸に各ピアの被ファイル交換要求数を示す。ここでは番号 1~29 番を行動変化ピアとした。

まず、DFR-Trust、提案手法共に行動変化するピアより正常ピアの方が多く選択されており行動変化ピアの選択を回避している。しかし、行動変化ピアの被ファイル交換要求数に注目すると、DFR-Trust における全行動変化ピアの総被ファイル交換要求数は 5572 回と増加し、提案手法で

は 4692 回であった。これより、DFR-Trust に比べ提案手法では行動変化ピアとのファイル交換をより回避できていることが分かる。これは、ファイル交換相手のグローバル値に応じたローカル値をすることで、信頼許容エリアで悪意あるファイル提供が行われた際、より少ないグローバル値更新で信頼許容エリアから排除し、すぐさま行動変化ピアの被選択確率を低下させているためである。

次に、正常ピア間での被ファイル交換要求数のばらつきを調べるため標準偏差を計算したところ、DFR-Trust では 60.8、提案手法では 62.0 であった。これより、提案手法では DFR-Trust に比べ、行動変化ピアとのファイル交換を抑制できたのに加え、正常ピアでの被ファイル交換要求のばらつきもほぼ同等に抑制できた事が分かる。これは、パラメータ α, β を設定しファイル交換成功率と被ファイル交換要求数の標準偏差のトレードオフを考慮しているの、標準偏差が多少大きくなりながらも、行動変化するピアが存在した場合のファイル交換成功率を向上させている。

5. おわりに

本稿では、ピアの行動変化を考慮したファイル要求の分散を目的とした手法を提案した。グローバル値に応じたローカル値を設定し、より少ないグローバル値更新で行動変化ピアに対応できるようにした。また、ローカル値をファイル交換の安全性とファイル交換要求数の分散のトレードオフを考慮して設定することで、行動変化ピアとのファイル交換を抑制したのに加え、正常ピアでの被ファイル交換要求のばらつきもほぼ同等に抑制した。今後の課題

としては、ファイルのダウンロードのみを行うフリーライダに対応する必要があると考えられる。このようなピアが存在した場合、ファイル要求を分散したとしても要求を拒まれ結果的に効率的なファイル分配に繋がらない。そのため各ピアのアップロード量に比例して各ピアがダウンロードする際のダウンロードスピードを制限するなど、要求に応えさせる動機付け手法を考慮していく必要がある。

参考文献

- [1] J. Erman, A. Mahanti, M. Arlitt, and C. Williamson, "Identifying and discriminating between web and peer-to-peer traffic in the network core," *16th international conference on World Wide Web ACM New York, NY, USA, May. 2007*.
- [2] M. Hefeeda and O. Saleh, "Traffic modeling and proportional partial caching for peer-to-peer systems," *IEEE/ACM TON archive Volume 16 Issue 6 2008, Dec. 2008*.
- [3] N. Christin, A. Weigend, and J. Chuang, "Content availability, pollution and poisoning in file sharing peer-to-peer networks," *ACM Conf. on E-Commerce, Jun. 2005*.
- [4] R. Zhou and K. Hwang, "Gossip-based reputation aggregation for unstructured peer-to-peer networks," *IEEE International. on Parallel and Distributed Processing Symposium, Mar. 2007*.
- [5] A. Matsumoto, Y. Mashimo, M. Yasutomi, H. Shigeno, "ILGT: Group Reputation Aggregation Method for Unstructured Peerto-Peer Networks," *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, Dec. 2010*.
- [6] M. Wang, F. Tao, Y. Zhang, and G. Li, "An Adaptive and Robust Reputation Mechanism for P2P Network," *IEEE ICC, May. 2010*.
- [7] 松本愛咲, 安富正矩, 重野寛. 非構造化 P2P ネットワークにおけるトラストを用いたファイル交換要求の分散. 情報処理学会論文誌, *Vol53, No.1, pp.298-307, Jan. 2012*
- [8] L. Xiong, and L. Liu, "Peertrust: Supporting reputation-based trust for peer-to-peer electronic communities," *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, July. 2004*.
- [9] R. Zhou, K. Hwang, and M. Cai, "Gossiptrust for fast reputation aggregation in peer-to-peer," *IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, Feb. 2008*.