

P2P ネットワークにおける データの更新量を考慮した更新伝播木管理手法

渡辺 俊貴[†] 神崎 映光[†] 原 隆浩[†] 西尾章治郎[†]

[†] 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: †{watanabe.toshiki,kanzaki,hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし P2P ネットワークでは、複数のピアにデータの複製を配置してネットワークの負荷を軽減することが有効である。このとき、データが更新された際、複製を所持するピアに更新情報を伝播する必要があるが、データの更新量が少ない場合には、全てのピアが更新情報を必要とするとは限らない。そこで本稿では、データの更新量を考慮した更新伝播手法を提案する。提案手法では、複製を所持する各ピアがデータ更新を受信する条件を考慮し、更新情報を必要としないピアへの更新情報の伝播を抑制することで、データ更新に伴うネットワークの負荷を削減する。
キーワード P2P, 更新伝播, 木構造, 更新量

A Management Method of Update Propagation Tree Considering Degree of Data Update in Peer-to-Peer Networks.

Toshiki WATANABE[†], Akimitsu KANZAKI[†], Takahiro HARA[†], and Shojiro NISHIO[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan
E-mail: †{watanabe.toshiki,kanzaki,hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract In a P2P network, it is common that data items are replicated on multiple peers for improving data availability. In such an environment, when a data item is updated on a particular peer, the update should be immediately propagated to other peers holding its replicas. On the other hand, in some applications, some replica holders do not need the update when the degree of the update is small. In this paper, we propose an update propagation method considering the degree of data update in P2P networks. Our proposed method reduces the load for propagating data update by considering the degree of data update required for each replica holder, and suppressing the update propagation to replica holders which do not need to receive the update.

Key words P2P, update propagation, tree structure, degree of update

1. ま え が き

近年、計算機の高性能化やネットワークのプロードバンド化により、Peer-to-Peer (P2P) ネットワークを用いたデータ共有に関する研究が注目されている。P2P ネットワークでは、検索効率の向上や負荷分散のためにデータを複製し、複数のピアに配置することが有効である [1], [3]。また、データに更新が発生する場合、そのデータの複製を所持するピア (複製所持ピア) に更新を通知する必要がある [2], [4], [5]。ここで、更新が頻繁に発生する環境では、更新発生のために全ての複製所持ピアに更新データを伝播すると、データ更新に伴うネットワークの負荷が非常に大きくなる。一方、複製所持ピアの中には、データの更新量が少ない場合には自身の複製を更新せず、データが大きく更新された場合のみ自身の複製を更新することを望むも

のが存在する。例えば、株価や気象情報などの数値データがわずかに変化した場合や、Web ページの一部のみが更新された場合は、その更新情報を必要としないピアが存在するものと考えられる。このような環境では、各複製所持ピアが、データがどの程度更新された場合に更新データを受け取るかという条件 (データ要求条件) を設定しておき、この条件を満たす場合にのみ更新データを受信することで、データ更新に伴うネットワークの負荷を削減できる。

筆者らの研究グループではこれまでに、各ピアのデータ要求条件を考慮し、更新データを必要としているピアにのみ伝播させる手法を提案している [6]。この手法では、データ要求条件が等しいピアごとに更新伝播用の論理ネットワーク (木構造) を構築し、この木構造に沿って更新データを伝播させる。しかし、この手法では、データを更新したピアが、更新を必要とす

る全ての木構造ネットワークに直接更新データを送信するため、データ要求条件が多様な場合、データを更新したピアの負荷が高くなってしまふ。

そこで本稿では、この手法を拡張し、データ更新に伴う負荷を抑えつつ、データを更新したピアの負荷を分散させる手法を提案する。具体的には、データ要求条件が等しいピアごとに木構造を構築しつつ、それらの木構造を代表する一つのピア（根ノード）同士で、別の木構造を構築する。この木構造は、更新データを受信する間隔が短いピアの深さがより小さくなるという特徴をもつ。この木に沿って更新データの伝播を行うことで、更新データ伝播に伴う負荷を分散させる。

以下では、2章で本稿で想定している環境について説明し、3章で関連研究について述べる。4章で提案手法について説明し、5章で提案手法の性能評価を行う。最後に6章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 想定環境

本章では、本稿の想定環境について説明する。本稿では、非構造型 P2P ネットワークにおいて、各ピアが、自身または他のピアがもつデータにアクセスする環境を想定する。また、検索に用いるネットワークとは別に、各データごとに更新伝播用のネットワーク（更新伝播木）を構築する。各データは、そのデータのオリジナルをもつピア（オリジナルノード）のみが更新し、このオリジナルノードが更新伝播木の根ノードとなる。データにアクセスしたピアは、データの複製を作成し、そのデータの更新伝播木に参加する。また、データとしては、ショップの価格情報や株価などの数値データをはじめ、更新によって変化したデータのサイズやその割合、更新された項目数など、データの更新前と更新後の差分を数値で表すことができるデータを対象とする。各複製所持ピアは、オリジナルのデータが自身のもつ複製からどれだけ変化した場合に更新データを受信するか、という差分の値をデータ要求条件として指定する。なお、本稿では、説明の容易さから、数値データを対象として説明する。

3. 関連研究

非構造型 P2P ネットワークにおける更新伝播に関する研究は、これまでいくつか行われている。Datta らは、確率に基づいて更新データを伝播させる手法している [2]。この手法では、更新データを受け取ったピアは、同じデータの複製を所持するピアのうちいくつかに対して、ある確率で更新データを伝播させる。これにより、更新データを重複して受け取る可能性を低くしつつ、全ての複製所持ピアに更新データを伝播させることを目的としている。Wang らは、チェーン状の更新伝播用論理ネットワークを利用した更新伝播手法を提案している [4]。この手法では、複製を所持するピアを一直線のチェーン上に配置する論理ネットワークを形成することにより、更新伝播を実現する。また、筆者らの研究グループでは、木構造の更新伝播用論理ネットワークを利用した更新伝播手法を提案している [5]。この手法では、複製所持ピアで構成される木構造ネットワーク（更新伝播木）を構築し、この木構造に沿って更新データを伝

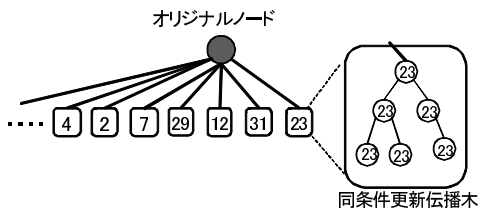


図 1 更新伝播木の構成 (文献 [6])

播させることで、更新伝播時の負荷分散と遅延減少を両立している。しかし、これらの手法は、全ての複製所持ピアに常に更新データを伝播させている。そのため、データを更新する必要がないピアが存在する場合でも、それらのピアに更新が伝播し、ネットワーク負荷が高まってしまふ。

筆者らはこれまでに、各ピアのデータ要求条件を考慮し、更新データを必要としているピアにのみ更新データを伝播させる手法を提案している [6]。この手法の概要を図 1 に示す。この手法では、図中の四角で囲まれている部分のように、データ要求条件が等しいピアごとに n 分木の木構造（同条件更新伝播木）を構築し、それぞれの木構造の根ノードが、オリジナルノードと接続する。ここで、図中の数字は各ピアが設定しているデータ要求条件を表す。たとえば、データ要求条件を 23 と指定しているピアは、自身が所持する複製の値とオリジナルノードが所持する最新のデータの値の差が 23 以上になった場合にのみ、更新データを受信することを表す。オリジナルノードは、データを更新した際に、それぞれの同条件更新伝播木の根ノードが設定している要求を確認し、更新データを必要としている根ノードにのみ更新データを送信する。その後、同条件更新伝播木に沿って、データ要求条件が等しいピアに更新データを伝播させる。このように、各ピアのデータ要求条件を考慮することで、更新データを必要としないピアへのデータ伝播を抑え、データ更新に伴う負荷を削減できる。しかし、この手法では、オリジナルノードが、存在する全てのデータ要求条件に対し、個別に同条件更新伝播木を構築し、管理する必要がある。そのため、データ要求条件が多様な環境では、オリジナルノードの負荷が高まってしまふ。

4. 提案手法

4.1 更新伝播木の構成

提案手法で構築する更新伝播木の概要を図 2 に示す。提案手法では、文献 [6] と同様に、データ要求条件が等しいピアごとに同条件更新伝播木を構築する。また、オリジナルノードは、各ピアのデータ要求条件の大きさに応じて、各同条件更新伝播木を G 個のグループに分類し、それぞれの根ノードで別の木構造（条件順序木）を構築する。この条件順序木は、データ要求条件の値が小さいピアの深さがより小さくなる n 分木とする。

4.2 データ更新時の処理

図 3 に、更新データ伝播のために条件順序木上のピアが管理する情報を示す。図中のアルファベット (A~F) は、各同条件更新伝播木の根ノードを表す。図では、ピア D は値が 0 のデー

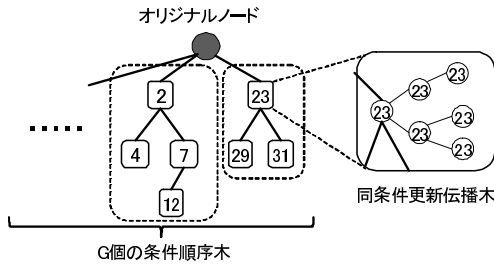


図 2 更新伝播木の構成 (提案手法)

データを、その他のピアは値が 5 のデータを所持している。条件順序木上の各ピアは、条件順序木上の子ノードが次に更新データを受信する条件 (次回受信条件) を更新伝播優先リストとして管理する。ただし、子ノードの子孫ノードのうち、子ノードよりも次回受信条件の絶対値が小さいものが存在する場合には、その子孫ノードの情報も更新伝播優先リストに加える。たとえば、図 3 のピア A は、ピア B とピア C がオリジナルと値が等しい複製を所持していることから、それぞれのデータ要求条件と等しい 4 およびに 12 以上の更新があった場合に更新データを受信することを認識し、これらの値を絶対値とした次回受信条件を設定した情報 (±4, ±12) を更新伝播優先リストに格納する。また、ピア B の子孫ノードであるピア D は、所持している複製とオリジナルのデータとの差が 5 であるため、オリジナルのデータがさらに 2 増加した場合に更新データを必要としている。この値は、ピア B の次回受信条件より絶対値が小さいため、ピア A は、自身の更新伝播優先リストのうち、ピア B の子孫ノードの情報として、ピア D の条件 (+2) を追加する。

データが更新された場合、条件順序木上の各ノードは、上記の情報を用いて更新データの伝播を行う。また、更新データを受け取ったピアは、必要に応じて次回受信条件を親ノードなどに通知する。以下、図 4 を用いて、データ更新時の動作例を示す。図 4 において、初期状態では、オリジナルノードおよび全複製所持ピアは、値が 0 である最新のデータを所持しているものとする。また、同条件更新伝播木に関しては、データ要求条件が 2 の伝播木のみを記載している。

(1) データを更新したオリジナルノードは、自身の更新伝播優先リストを参照し、更新データを必要としているノードを含む条件順序木が存在するかどうかを調べる。具体的には、更新伝播優先リスト内に含まれるピアの次回受信条件の値が、オリジナルのデータが更新された大きさよりも小さいピアを検索する。該当する条件順序木が存在する場合、更新データを送信する。一方、更新データを送信しなかったピアに関しては、そのピアの次回受信条件を更新する。たとえば図 4(a) において、データの値を 0 から 5 (+5) に更新したオリジナルノードは、自身の更新伝播優先リストの中で、データ要求条件が ±2 であるピア A に更新データを送信する。一方、データ要求条件が ±23 であるピア F には更新データを送信せず、ピア F の次回受信条件を 5 だけ減少させる (+18, -28)。

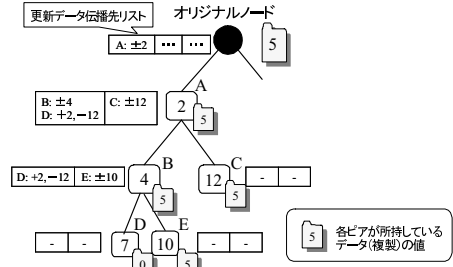


図 3 各ピアが管理する情報 (更新データ用)

(2) 更新データを受け取ったピアは、自身が所持する複製を更新し、同条件更新伝播木に沿って、データ要求条件が等しいピアに更新データを伝播させる。同時に、自身の更新伝播優先リストを参照し、自身の子ノードを根とする部分木のうち、更新データを必要としているピアが存在しているものに更新データを送信する。また、更新データを送信しなかったピアに関しては、オリジナルノードと同様に、そのピアの次回受信条件を更新する。たとえば、図 4(a) のピア A は、自身の複製を 0 から 5 に更新し、同条件更新伝播木に更新データを伝播させる。その後、自身の更新伝播優先リストを参照し、次回受信条件の絶対値が更新量より小さいピア B (±4) に更新データを送信する。また、ピア C は次回受信条件の値 (±12) が更新量よりも大きいため、更新データは送信せず、ピア C の次回受信条件を 5 減少させる。

(3) 手順 (2) において、更新データを伝播する子ノードが条件順序木上に存在しない場合、更新データの伝播を停止し、自身と自身の子ノードにおける次回受信条件を比較する。子ノードの条件の方が最小の絶対値が小さい場合、その子ノードの次回受信条件 (制御メッセージ) を親ノードに送信する。たとえば、図 4(a) のピア B は、更新伝播優先リスト内のピア D とピア E がこの時点では更新データを必要としていないため、自身の更新伝播優先リストを更新し、更新データの伝播を停止する。その後、自身の次回受信条件 (±4) と、子ノードの次回受信条件 ((+2,-12) および (+5,-15)) を比較し、自身よりも最小の絶対値が小さいピア D の情報を、制御メッセージとしてピア A に通知する (図 4(b))。

(4) 制御メッセージを受信したピアは、メッセージに含まれるピアの情報を、送信元ピアの子孫ノードのものとして、自身の更新伝播優先リストに追加する。たとえば、図 4(b) のピア A は、ピア B の子孫ノードとして、ピア D の次回受信条件を追加する。その後、自身と更新伝播優先リストに含まれる全てのピアの次回受信条件を比較し、その最小の絶対値が小さいピアが存在する場合、そのピアの情報を含む制御メッセージを親ノードに送信する。該当するピアが存在しない場合は、制御メッセージの伝播を停止する。図 4(b) では、ピア A の更新伝播優先リスト内に含まれるピアの中で、ピア A の次回受信条件 (±2) よりも最小の絶対値が小さいピアが存在しないため、ここで制御メッセージの伝播を停止する。

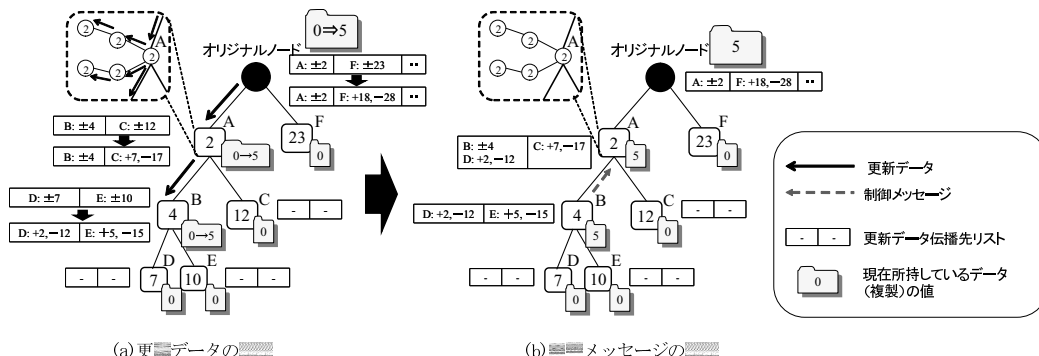
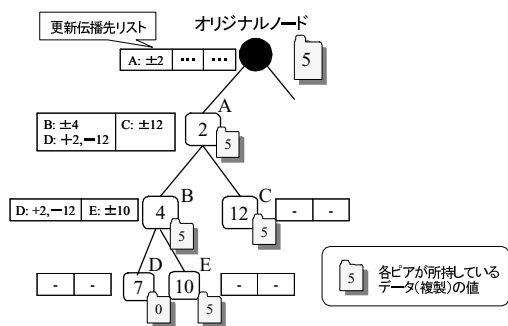


図4 データ更新時の処理



4.3 更新伝播木の維持

提案手法では、ピアがデータの複製を配置、削除した場合、更新伝播木への参加や脱退が発生する。そのため、更新伝播木を維持する必要がある。図5に、条件順序木を維持するために、条件順序木上の各ノードが管理する情報を示す。各ノードは、条件順序木上の親ノードと子ノードの情報(IPアドレスなど)に加え、各子ノードの子孫ノードであるピアのデータ要求条件を、子ノードごとに管理する。たとえば、ピアAは、第一子ノードBおよびその子孫ノードのデータ要求条件として4, 7, 10を、第二子ノードCおよびその子孫ノードのデータ要求条件として12を管理する。

また、各複製所持ピアは、同条件更新伝播木の構築や維持を行うために、同条件更新伝播木上の親ノードと子ノードの情報(IPアドレスなど)を管理する。

4.3.1 新規ピアの参加

新たにデータにアクセスし複製を作成したピア(新規ピア)は、以下の手順に従って、そのデータの更新伝播木に参加する。

(1) 新規ピアは、まずオリジナルノードに参加要求を送信する。参加要求を受けたオリジナルノードは、新規ピアのデータ要求条件に応じて、G個の子ノードのいずれかに参加要求を送信する。

(2) 参加要求を受けたピアは、自身と新規ピアのデータ要

求条件を比較する。自身と新規ピアのデータ要求条件が等しい場合、そのピアを根ノードとする同条件更新伝播木に沿って参加要求を伝播させ、新規ピアを葉ノードのひとつとして参加させる。

(3) 自身と新規ピアのデータ要求条件が異なる場合、自身の子孫ノードのデータ要求条件を参照し、新規ピアと等しいデータ要求条件をもつピアが存在するかを調べる。存在する場合、その子孫ノードが参加している子ノードへ参加要求を送信する。参加要求を受けたピアは、手順(2)からの動作を行う。該当するピアが存在しない場合は手順(4)に進む。

(4) 自身と新規ピアのデータ要求条件を比較し、新規ピアの方が大きい場合、条件順序木上の子ノードの数に空きがあれば、そこに新規ピアを参加させ、参加処理を終了する。子ノードの数に空きがなければ、自身の子ノードの中からランダムに一つを選択して参加要求を送信する。参加要求を受けたピアは、手順(2)からの動作を行う。

(5) 新規ピアのデータ要求条件の方が小さい場合、自身が参加していた位置に新規ピアを参加させ、自身が管理していた情報を新規ピアに渡す。その後、自身が新たな新規ピアとなり、自身と位置を交換したピア(元新規ピア)に参加要求を送信する。その後、手順(2)以降の動作によって、条件順序木に参加する。

最後に、条件順序木上の各ピアは、順序木上でメッセージを交換し、各ピアの親ノードおよび子孫ノードの情報を更新する。

4.3.2 ピアの脱退

複製の置き換えなどにより、複製を削除するピア(脱退ピア)は、以下の手順に従って、更新伝播木の修復を行う。

(1) 複数のピアで同条件更新伝播木が構築されている場合、脱退ピアは、同条件更新伝播木からの脱退を行う。具体的には、脱退ピアは、同条件更新伝播木に沿って、葉ノードの一つまで脱退要求を伝播させ、その葉ノードと位置を入れ替える。

(2) データ要求条件が等しいピアが他に存在しない場合、脱退ピアは、条件順序木から脱退する。具体的には、条件順序木上の子ノードの一つをランダムに選択し、脱退要求を送信する。この操作を、脱退要求が葉ノードに到達するまで繰り返し、

その葉ノード（移動ピア）と位置を入れ替えることにより条件順序木から脱退する。

(3) 移動ピアは、自身と子ノードのデータ要求条件を比較する。ここで、子ノードの方がデータ要求条件が小さい場合は、その子ノード（データ要求条件が最も小さいもの）と位置を入れ替える。移動ピアよりもデータ要求条件が小さな子ノードが存在している限り、この操作を繰り返す。

最後に、条件順序木上の各ピアは、順序木上でメッセージを交換し、各ピアの親ノードおよび子孫ノードの情報を更新する。

5. 性能評価

本章では、提案手法の性能評価のために行ったシミュレーション実験の結果を示す。

5.1 シミュレーション環境

シミュレーション実験では、P2P ネットワークに参加するピア数を 1,000 とし、それらがべき法則（Power-Law Random Graph:PLRG）に従ってネットワークを構成するものとした。ここで、 i 番目のピアの隣接ピア数 d_i を以下の式で与え、一部のピアにリンクが集中する環境を実現した。

$$d_i = \lfloor 20 \cdot i^{-0.4} \rfloor \quad (1)$$

データの種類を 100 とし、全ピアのうち、ピア番号が 1 から 100 までのピアが、それぞれデータ番号 1 から 100 のデータのオリジナルを所持するものとした。各ピアはそれぞれ、1 タイムスロット毎に 0.01 の確率であるデータを要求する。要求するデータ番号の分布は Zipf 分布に従うものとし、データ番号が小さいデータに対する要求ほど頻繁に発生するものとした。具体的には、データ番号 j のデータの要求確率 q_j を、以下の式で与えた。

$$q_j = \frac{j^{-\alpha}}{\sum_{k=1}^{100} k^{-\alpha}} \quad (2)$$

上式において、 α はデータアクセス頻度の偏りを決定するパラメータであり、Zipf 係数と呼ばれる。シミュレーション実験では、Zipf 係数 α は 0.5 とした。

複製の配置方式には、オーナー複製法 [3] を用いた。オーナー複製法では、データ要求が成功した際、クエリを発行したピアに複製を配置する。

各データのサイズは全て等しく、複製を保有可能な数は全てのピアで 10 とした。各ピアが複製を作成する際にデータ記憶領域に空きがない場合は、LRU 方式に従って複製を置き換える。また、オリジナルデータは削除しないものとした。

各ピアが指定するデータ要求条件の値は、予め 1~100 の間からランダムに選択した D 種類の値からひとつを選択するものとした。また、オリジナルノードは、初期値が 100 の数値データを所持し、図 6 で示されるように、データの値を更新するものとした。データを更新する回数は、シミュレーション時間全体で更新頻度を変更させ、200 回~1,000 回まで変化した。

オリジナルノードは、データ要求条件の大きさに応じて、5 つの条件順序木を構築した ($G=5$)。具体的には、データ要求条

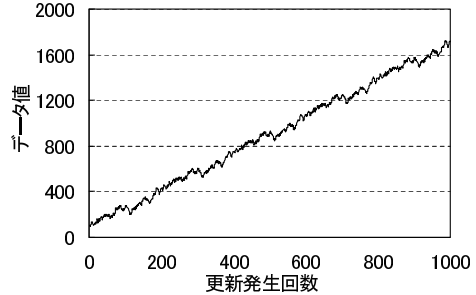


図 6 データの更新度合い

件が [1,20],[21,40],[41,60],[61,80],[81,100] のピアでそれぞれ条件順序木を構築した。また、同条件更新伝播木および条件順序木はともに 2 分木とした。

更新伝播および更新伝播木維持の際に用いる各メッセージのサイズとして、更新データサイズを 10、木構造を維持するためにピア間で交換されるメッセージ（木構造維持メッセージ）および更新伝播時の制御メッセージのサイズを 1 とした。

以上の環境において、10,000 タイムスロットのシミュレーション実験を行い、データ要求条件を考慮せず木構造を用いて全ピアに更新データを伝播させる手法（全ピア）、文献 [6] の手法（文献 [6]）、および提案手法における性能を評価した。なお、全ピアに更新データを伝播させる手法に関しては、オリジナルノードのみ 5 つの子ノードをもち、それ以下の部分木は 2 分木となる更新伝播木を構築した。ピアの参加、脱退時には、提案手法における同条件更新伝播木からの参加、脱退と同様の動作を行うものとした。また、実験では、アクセス頻度が最も大きいデータ番号 1 のデータに注目して、このデータに関する評価値のみを調査した。

5.2 更新発生回数の影響

まず、 $D=20$ とし、更新発生回数を変化させた場合の、各手法で伝播したメッセージのサイズの合計値を評価した。結果を図 7 に示す。図 7 において、横軸はデータの更新発生回数を表す。この図より、全ての複製所持ピアに更新データを伝播させる手法と比較して、各ピアのデータ要求条件を考慮して更新データの伝播を行う文献 [6] の手法および提案手法におけるネットワーク負荷が小さく抑えられていることがわかる。また、文献 [6] の手法と提案手法を比較した場合、提案手法におけるネットワーク負荷が大きいことがわかる。これは、提案手法では、条件順序木を構築、維持するための木構造維持メッセージや、データ更新時の制御メッセージを送受信する必要があるためである。さらに、提案手法において、更新データが条件順序木に沿って伝播されるため、条件順序木の葉ノードのみが更新データを必要としている場合でも、その間の節点に位置するピアにも更新データを伝播させなければならない、更新データ自体の伝播量も大きくなっている。

5.3 データ要求条件数の影響

次に、データの更新回数を 200 回とし、 D の値を変化させた

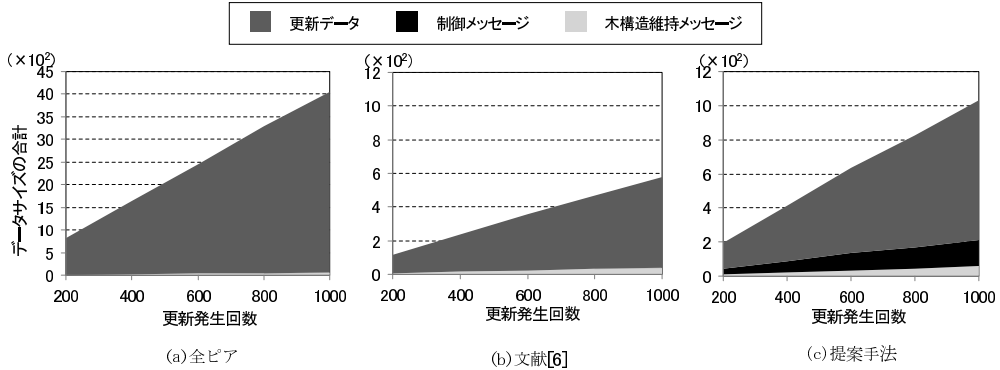


図7 ネットワーク全体の負荷

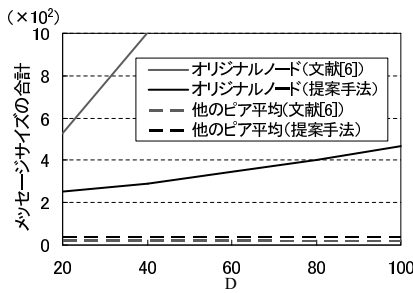


図8 更新伝播負荷

場合の、以下の値を評価した。

- オリジナルノードの更新伝播負荷

オリジナルノードが他のピアに送信した更新データの合計サイズ

- オリジナルノード以外のピアの更新伝播負荷

オリジナルノード以外の複製所持ピアが他のピアに送信した更新データの合計サイズの平均値

結果を図8に示す。図8において、横軸は D 、縦軸は送信した更新データサイズの合計を表す。ここで、全ピアに更新データを伝播させる手法では、他の手法と比べて伝播するデータのサイズが極端に大きくなるため、結果は省略している。図8より、提案手法は文献[6]の手法と比較して、オリジナルノードの負荷が非常に小さく抑えられている一方で、他のピアの負荷が増加している。この結果より、提案手法によって、データ更新に伴うオリジナルノードの負荷を他のピアに分散できていることがわかる。また、提案手法では、 D の値が増加しても、オリジナルノードの負荷が大きくなることは増加していない。この結果から、各ピアが設定するデータ要求条件が増加しても、十分に負荷を分散できていることが確認できる。

6. おわりに

本稿では、複製を所持する各ピアのデータ要求条件を考慮し

た更新伝播法を提案した。また、シミュレーション実験の結果から、提案手法では、更新伝播に伴うネットワーク全体の負荷を抑えつつ、その負荷を各ピアに分散できていることを確認した。

5.2節で述べた通り、提案手法では、更新データを必要としないピアにも更新データを送信する場合があります。更新伝播時に余分なトラフィックが発生してしまう。今後は、各ピアのデータ要求条件だけでなく、次回受信条件も考慮して木構造を構築したり、動的に木構造を組み替えることで、余分な更新伝播を少なくする方法を検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究(18049050)、文部科学省科学技術振興調整費「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成：ゆらぎプロジェクト」、および平成20年度総務省委託研究「ユビキタスサービスプラットフォーム技術の研究開発」の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] Cohen, E. and Shenker, S.: Replication Strategies in Unstructured Peer-to-peer Networks, in *Proc. SIGCOMM'02*, pp.177-190 (2002).
- [2] Datta, A., Hauswirth, M. and Aberer, K.: Updates in Highly Unreliable, Replicated Peer-to-peer Systems, in *Proc. ICDCS'03*, pp.76-85 (2003).
- [3] Lv, Q., Cao, P., Cohen, E., Li, K. and Shenker, S.: Search and Replication in Unstructured Peer-to-peer Networks, in *Proc. ICS'02*, pp.84-95 (2002).
- [4] Wang, Z., Das, S.K., Kumar, M. and Shen, H.: An Efficient Update Propagation Algorithm for P2P Systems, *Computer Communications*, pp.1106-1115 (2007).
- [5] 渡辺俊貴, 原 隆浩, 木戸裕樹, 中 通 実, 西尾章治郎: P2P ネットワークにおける木構造に基づく複製更新伝播法, *情報処理学会論文誌*, vol. 48, no. 2, pp.527-538 (2007).
- [6] 渡辺俊貴, 神崎映光, 原 隆浩, 西尾章治郎: 非構造型 P2P ネットワークにおける情報爆発を考慮した更新伝播に関する一考察, *情報処理学会 第70回全国大会論文集 Vol. 5*, pp. 9-10 (2008).