

多人数参加型 P2P テレビ会議システムのための 論理網構築手法の提案と評価

堀内 英斗[†] 若宮 直紀[†] 村田 正幸[†]

[†] 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: †{h-horiuti,wakamiya,murata}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 現在, P2P 技術を利用した様々なテレビ会議システムが研究, 開発されているが, それらの多くは高々10名程度の参加者にしか対応していない. そこで本稿では, 10 数名程度の活発な発話者を含む 1000 人規模のテレビ会議を実現するための, P2P 技術を用いたテレビ会議データ配信ネットワークの構築手法を提案する. 提案手法では, ピアの利用可能帯域や発話量に応じて配信ネットワークを動的に再構成することにより, 発話者から参加者へのデータ配信遅延を抑える. シミュレーションによる評価の結果, 1000 人の参加者からなる会議において, 配信ネットワークの再構成によって, 発話者間の遅延を 40 ミリ秒から 70 ミリ秒程度に抑え, 円滑なテレビ会議を行えることを示した. キーワード テレビ会議, P2P (Peer-to-Peer), スケーラビリティ, 配信遅延

Proposal and Evaluation of a Construction Method of a Distribution Network for Scalable P2P Video Conferencing Systems

Hideto HORIUCHI[†], Naoki WAKAMIYA[†], and Masayuki MURATA[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka 565-0871, Japan

E-mail: †{h-horiuti,wakamiya,murata}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract Recently, video conferencing systems based on Peer-to-Peer (P2P) networking technology have been widely deployed. However, most of them can only support up to a dozen of participants. In this paper, we propose a novel method to construct and manage a P2P network for scalable and smooth video conferencing. First, a hierarchical network is eventually constructed as new peers join a conference. Then, the tree topology is dynamically reorganized taking into account the heterogeneity of the available bandwidth among peers and their degree of participation so that, those participants, i.e., peers that can have many child peers and/or often speak are located near the root of the tree. As a result, the delay from speakers to other participants is reduced. When a failure occurs, the tree is recovered through local interactions among peers. Through simulation experiments, we verify that our method can offer smooth video conferencing for 1000 participants where the delay among speakers is about 40 msec for 10 speakers to 70 msec for 500 speakers.

Key words Video conferencing, P2P (Peer-to-Peer), Scalability, End-to-end delay

1. はじめに

インターネットが新たな社会基盤のひとつとなり, 職場, 家庭, 外出先など様々な場所で高速なインターネットアクセスが利用できるようになる中, 離れた場所にいる人同士が顔を見ながら会議, 打ち合わせをすることのできるテレビ会議システムが広く利用されるようになってきている. 特に, 近年, 導入

の容易さ, 利用の簡便さ, 導入・運用コストの低さから, P2P (Peer-to-Peer) 通信技術を利用したテレビ会議システムが研究, 開発されている [1-6]. しかしながら, 多くの場合, それらのシステムは高々10名程度の参加者にしか対応していない. 例えば, 全国に支社, 支店を持つ企業の支社長, 支店長会議, あるいはインターネットを利用した講演会などでは, 数十から数百名の参加者が想定されるため, より多くの参加者による円滑な

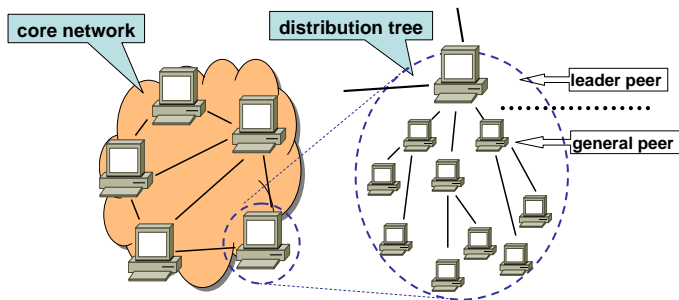


図 1 配信ネットワーク

会議を実現するための技術が求められている．多人数にメディアデータを配信する ALM (Application Level Multicast) 技術に関する研究開発は活発に行われているが [7-9]，会議のような双方向のコミュニケーションには対応していない．また，テレビ会議を対象とした研究においては，10 名程度の参加者を想定した評価しか行われておらず，より多数の参加者のテレビ会議への適用性は示されていない [10-12]．

そこで我々は，映像・音声配信用のサーバを必要とせず，P2P 技術を用いた参加者間の直接のデータ中継によって 1000 人規模のテレビ会議を実現することのできるテレビ会議データ配信ネットワークの構築手法を提案している [13]．提案手法は，参加者の動的な参加離脱を前提とし，遅延と拡張性を考慮した配信ネットワーク構築機構，発話量や利用可能な帯域を考慮した配信ツリー再構成機構，途切れのないテレビ会議を可能にする障害回復機構により，円滑な大規模テレビ会議を実現する．

テレビ会議システムにおいては，違和感のない円滑な会議のために，音声や映像の品質を保ちつつ，参加者間の遅延を抑えなければならない．配信ネットワーク構築機構では，図 1 に示すような，数十名から百名程度の参加者からなる配信ツリーとそれら配信ツリーを相互接続するコアネットワークからなる階層型の配信ネットワークを構築することにより，参加者間の遅延を抑え，拡張性を高める．会議の規模や実施形態，規模によらず，ある時点において活発に発言する参加者は高々 10 名程度であると考えられることから，配信ネットワークを動的に再構成し，これら発話者を配信ツリーの上位に配置，移動することによって，発話者間の遅延および発話者から他の参加者への遅延を抑える．また，遅延を抑えるためには配信ツリーの高さを低くすることが有効であることから，利用可能帯域の大きい参加者も再構成によって配信ツリー上位に配置する．さらに，ルータ等の故障や参加者の離脱等によって，動画データ配信に障害が発生した場合に対し，障害回復機構では，ピアが配信ツリー構築時に獲得した情報にもとづく局所的なやりとりにより障害から回復する．

[13] においては，100 ピアを単一の配信ツリーに収容した場合における，配信ツリー再構成機構の有効性をシミュレーションで評価した．その結果，再構成により，配信ツリーの高さが抑えられるとともに，発話者が配信ツリー上位に移動し，再構成を行わない場合と比較して 3 分の 1 程度の遅延になることを示した．本稿では，コアネットワークと複数の配信ツリーから

なる配信ネットワークにおける提案手法の性能を評価することによって，コアネットワークでの配信遅延がある場合にも 1000 人規模の円滑なテレビ会議が実現できることを示す．

以降，2 章では提案手法の概要を述べ，3 章において，シミュレーションにより遅延および負荷の観点から提案手法の有効性を評価する．最後に，4 章において，本稿をまとめ，今後の課題を述べる．

2. 多人数参加型 P2P テレビ会議システムのための論理網構築手法

本章では，多人数参加型 P2P テレビ会議システムの概要と，配信ネットワーク構築機構，配信ツリー再構成機構，障害回復機構について述べる．

2.1 多人数参加型 P2P テレビ会議システムの概要

提案する多人数参加型 P2P テレビ会議システムは，テレビ会議を管理するログインサーバ，参加ピア，および参加ピアを収容する配信ネットワークからなる．テレビ会議の動画データ (映像データ，音声データ) の交換，配信は参加ピアで構成される配信ネットワークを用いて行われる．

提案手法では，必要帯域の削減，管理コストの低減のため，全参加者間で共通の配信ネットワークを構成，使用する．配信ネットワークは，コアネットワークと，コアネットワークに参加するピアを根とする配信ツリーからなる (図 1)．以降では，コアネットワークを構成する参加ピアをリーダピア，その他のピアを一般ピアと呼ぶ．リーダピアは，接続している他のリーダピアおよび子ピアの IP アドレスを保持している．一般ピアは，接続している親ピア，子ピアの IP アドレス，および，祖先リストと呼ばれる IP アドレスのリストを管理している．

ログインサーバは，会議の登録，管理，および参加者認証を行う．また，配信ネットワークについてはリーダピアの情報と配信ツリーの一般ピア数のみを管理し，それぞれの配信ツリーの構造については管理，制御しない．参加ピアは，アクセスリンクの上り回線容量などによって定められる接続可能子ピア数，すなわちファンアウト数の制限を持つ．例えば，ピアの上り回線容量が 1 Mbps で動画データを送受信レートが 256 Kbps の場合，ピアは 1 台の親ピアと 3 台の子ピアに接続でき，ファンアウト数は 3 である．

システム動作の概要は次のようになる．まず，会議への新たな参加ピアはコアネットワークまたは配信ツリーに接続し，会議に参加する．提案手法では，発言権などによる発話者制御を行わず，参加ピアは，自由なタイミングで発話することができる．発話により発生した動画データは，発話したピア (以降，発話ピアと呼ぶ) の所属する配信ツリーのリーダピアに伝達された後，当該配信ツリー内の他の一般ピアに配信されると同時に，コアネットワークを通じて他の配信ツリーにも配信される．

提案手法では，配信ツリー再構成機構により，ファンアウト数の大きい参加ピア，活発に発話する参加ピアは，配信ツリー上位に移動する．これを昇格と呼ぶ．昇格により，配信ツリーの高さを抑え，また，発話ピア間および発話ピアと他の参加ピアとの間の遅延を抑えることができる．さらに，参加ピアは

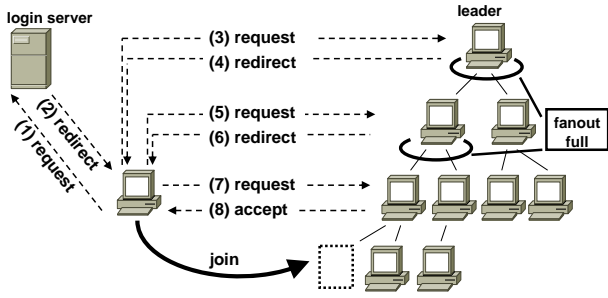


図 2 配信ツリーへの参加の様子

ファンアウト数に対して子ピア数が少ない場合には、孫ピアを子ピアとして接続することにより、ファンアウトを埋め、効率的に配信ツリーの高さを抑える。

また、参加ピアが参加者の操作やネットワーク障害等によって離脱した場合、離脱したピアの下位に位置する参加ピアにおいて動画データの途切れを発生させず、テレビ会議を継続できるよう、障害回復機構により、配信ツリーを再構築する。

2.2 配信ネットワーク構築機構

会議に新たに参加するピアは、ログインサーバの認証を受けた後、テレビ会議データ配信ネットワークに接続する。ログインサーバでは、新規参加ピアのファンアウト数、配信ネットワークにおけるリーダピアの IP アドレスとリーダピアを根とする配信ツリーの一般ピア数を考慮し、新規参加ピアをリーダピアまたは一般ピアに指定する。リーダピアとして指定された場合には、ログインサーバから他のリーダピアの IP アドレスの通知を受け、ping などによって測定した遅延情報にもとづき、近いリーダピアと接続する。

一般ピアとしての配信ネットワーク参加は接続先となる親ピアを順次紹介されることによって行われる(図 2) [14]。まず、ログインサーバは新規参加ピアに対して適当なリーダピアの IP アドレスを仮親ピアとして通知する(図 2:1-2)。ここではリーダピアはラウンドロビンによって指定されるものとする。新規参加ピアは、通知された仮親ピアの IP アドレスを祖先リストに記録した後、仮親ピアへ接続要求メッセージを送信する(図 2:3)。接続要求メッセージを受信した仮親ピアはファンアウト数と自身がすでに持つ子ピアの数を比較し、子ピアの数がファンアウト数 - 1 を下回る場合は接続要求を受け入れ、新規参加ピアの IP アドレスを子ピアのリストに追加した後、新規参加ピアとの接続を維持する。なお、ファンアウト数 - 1 との比較を行うのは、ファンアウトのうちひとつを配信ツリー再構成に用いるためである。一方、子ピアの数がファンアウト数 - 1 と等しい場合は、子ピアのうちラウンドロビンによって選択したひとつを新たな仮親ピアとして新規参加ピアに通知する。これをリダイレクトと呼ぶ(図 2:4)。新規参加ピアは、新たに紹介された仮親ピアを祖先リストに追加し、改めて新しい仮親ピアへ接続を試みる(図 2:5)。このようにリダイレクトを繰り返すことにより、新規参加ピアはいずれ仮親ピアと接続を確立し、配信ツリーに参加する(図 2:6-8)。また、配信ツリーへの参加が成功した時点で、新規参加ピアはその祖先ピアの IP

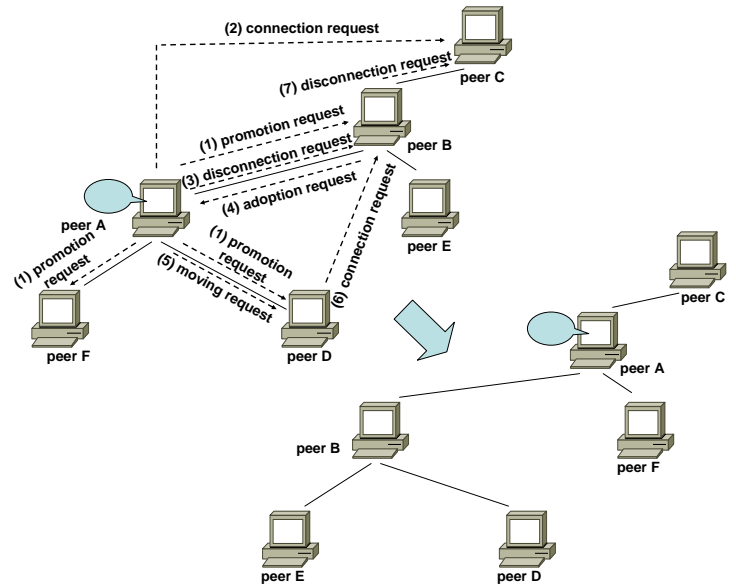


図 3 昇格によるツリーの変化

アドレスのリストを持っていることになる。

2.3 配信ツリー再構成機構

本節では配信ツリー再構成機構について述べる。なお、すでに配信ツリー再構成処理や障害回復処理に関わっている参加ピア(ロックされたピアと呼ぶ)は、新たな再構成に参加せず、再構成に関する要求メッセージには拒否メッセージを返す。

2.3.1 参加ピアの昇格処理

参加ピアは、ある一定時間、継続的に発話すると昇格処理を開始する。また、定期的に親ピアと自身のファンアウト数を比較し、自身のファンアウト数の方が大きい場合にも昇格処理を開始する。ただし、ロックされている参加ピアは、昇格処理を開始しない。

参加ピアは、祖父ピアと接続することによって昇格する。まず、昇格するピア A(以降、昇格ピアと呼ぶ)は、親ピア B および全ての子ピアに昇格参加要求メッセージを送信する(図 3:1)。ロックされていない参加ピアは昇格参加要求受け取りメッセージを返す。なお、親ピア B からの昇格参加要求受け取りメッセージには、その親ピア C の IP アドレスが含まれる。

親ピア B および全ての子ピアから昇格参加要求受け取りメッセージを受け取った昇格ピア A は、祖父ピア C へ昇格接続要求メッセージを送信する(図 3:2)。祖父ピア C は、ロックされていなければ昇格接続要求受け取りメッセージを昇格ピア A に送信し、接続する。なお、祖父ピア C の子ピア数がファンアウト数 - 1 と等しい場合は、予備リンクを用いて昇格ピア A と接続し、予備リンク使用通知を昇格接続要求受け取りメッセージに含める。

祖父ピア C と接続した昇格ピア A は、もとの親ピア B にリンク切断要求メッセージを送信する(図 3:3)。なお、このリンク切断メッセージには、祖父ピア C の予備リンク使用通知が含まれる。親ピア B は、昇格ピア A とのリンクを切断した後、祖父ピア C において予備リンクを使用していない場合には昇格処理を終了し、そうでない場合には、次の手順によりもとの親ピア B を昇格ピア A の子ピアとする。

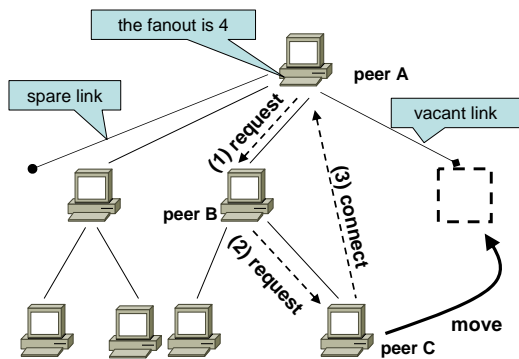


図 4 ファンアウトを埋めることによるツリーの変化

まず、親ピア B は昇格ピア A に降格接続要求メッセージを送信する (図 3:4)。昇格ピア A は、子ピア数がファンアウト数 - 1 より小さい場合、親ピア B を自身の子ピアとして接続し、等しい場合には、ラウンドロビンにより選択した子ピア D へ移動要求メッセージを送信する (図 3:5)。なお、移動要求メッセージには、親ピア B の IP アドレスが含まれる。子ピア D は、親ピア B へ移動接続要求メッセージを送信する (図 3:6)。親ピア B は、子ピア D と接続し、昇格ピア A に移動完了メッセージを送信する。昇格ピア A は、親ピア B を自身の子ピアとして接続させる。親ピア B は、祖父ピア C にリンク切断要求メッセージを送信し (図 3:7)、リンクを切断する。その結果、祖父ピア C は予備リンクを持つこととなり、昇格処理が完了する。

2.3.2 ファンアウトを埋める処理

参加ピアは定期的の子ピア数とファンアウト数を比較し、子ピア数がファンアウト数 - 1 より小さい場合には、ファンアウトを埋める処理を開始する。ただし、参加ピア自身がロックされている場合にはこの処理を行わない。十分な子ピアを持たない参加ピア A (以降、空きピアと呼ぶ) は、ラウンドロビンにより選択した子ピア B へ紹介要求メッセージを送信する (図 4:1)。子ピア B は、ラウンドロビンによって選択した孫ピア C へ空きピア A の IP アドレスを含む移動要求メッセージを送信する (図 4:2)。孫ピア C は空きピア A へ接続要求メッセージを送信 (図 4:3) し、接続を確立する。その後、孫ピア C は親である子ピア B とのリンクを切断し、処理が完了する。

2.4 障害回復機構

配信ツリーの構築中に指定された仮親にアクセスできない、会議中に親ピアが離脱する、リンクやルータなどの機器障害が発生する、などにより動画データ配信に支障が生じることを障害と呼ぶ。障害回復は、障害を検知した参加ピアが、祖先リストにしたがって障害の発生していない祖先ピアに再接続することによって行われる [14]。

仮親ピアへのアクセス不可による障害は仮親に接続を試みた参加ピア自身、会議中に葉ピア以外の参加ピアで発生した障害はその子ピアによってそれぞれ検知される。障害を検知した参加ピアは、配信ツリー参加時に得た祖先リストにもとづき、仮親ピアへのアクセス不可の場合にはその仮親への紹介を受けた直前の仮親ピア、親ピアの障害の場合には祖父ピアをそれぞれ新たな仮親ピアとして再接続要求メッセージを送信する

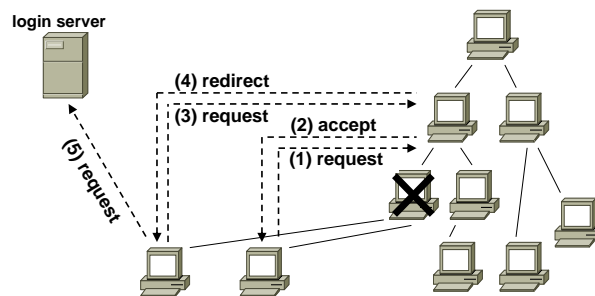


図 5 障害回復の様子

(図 5:1)。新たな仮親ピアに障害が発生、またはすでに離脱している場合には、さらに祖先リストをさかのぼって再接続要求メッセージを送信する。再接続要求メッセージを受信した仮親ピアは、ループを防ぐため、要求元ピアと自身についてリーダピアからのホップ数を比較し、自身のほうが大きければ再接続要求拒否メッセージを返信する。再接続要求拒否メッセージを受信したピアは、祖先リストをさかのぼって再度、再接続要求メッセージを送信する。一方、仮親ピアのほうがホップ数が小さければ、次に自身の子ピアの数とファンアウト数の比較を行う。仮親ピアは、子ピア数がファンアウト数 - 1 より小さければ要求を受け付け、子ピアとして接続を確立するが、そうでない場合には、自身の子ピアを新たな仮親ピアとして紹介する (図 5:4)。その後、障害を検知したピアは、会議に新たに参加する場合と同様に配信ツリーへ接続する。祖先リストが空になった場合には、障害を検知した参加ピアは改めてログインサーバに新規参加要求を送信する (図 5:5)。

リーダピアの離脱を子ピアが検知した場合には、子ピアはログインサーバにリーダピアの離脱を通知する。ログインサーバはこの子ピアを新たなリーダピアに指定する。離脱したリーダピアが複数の子ピアを持つ場合には、ログインサーバに最初に届いた通知の送信者がリーダピアになり、他の子ピアからの離脱通知は配信ツリーへの新たな参加要求として処理される。

3. 性能評価

本章では、提案手法の有効性をシミュレーションにより評価する。

3.1 シミュレーション条件

まず、ノードあたり平均リンク数が 2、1001 ノードの物理ネットワークを BA モデル [15] によって作成する。ランダムに選ばれた 1 ノードにはログインサーバが接続され、残る 1000 ノードにはそれぞれひとつのピアが接続されているものとする。ピアのアクセス回線種の割合を ADSL : FTTH : CATV = 6 : 3 : 1 [16] とし、ファンアウト数をそれぞれ 2, 7, 4 とする。また、ピア間の論理リンクの遅延は、ダイクストラ法によって求めた最短物理ホップ数に物理リンクあたり伝播遅延 1 ミリ秒をかけたものとする。なお、伝送遅延、処理遅延は無視する。配信ネットワークにおけるリーダピア数は 10 とする。したがって、配信ネットワークは、10 ピアからなるコアネットワークと 10 本の配信ツリーからなる。コアネットワークのトポロジとして図 6

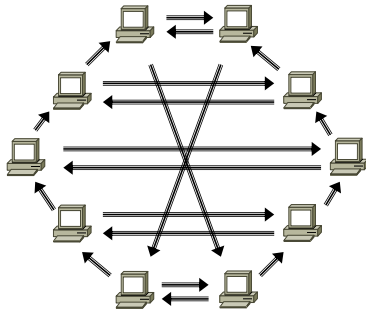


図6 コアネットワークトポロジ

を用いる。リーダーピアは2台のリーダーピアと少なくとも1台の子ピアと接続し、1本の予備リンクを確保することから、ファンアウト数が3以上のピアのみがリーダーピアになれる。配信ネットワーク構築後のピアの新規参加はないものとする。

全てのピアはそれぞれ0秒から10秒の一樣分布に従うランダムなシミュレーション内時刻にログインサーバへ参加要求メッセージを送信する。3以上のファンアウトを持ち、ログインサーバへ早く参加要求を送信した10ピアがリーダーピアとなりコアネットワークを構築する。他のピアはそれらリーダーピアを根とする配信ツリーへ参加する。

全ピアの配信ツリーへの参加が完了した後、参加ピアの発話、配信ツリー再構成を開始する。発話をする可能性のある参加ピアを発話候補ピアと呼ぶ。発話候補ピアはシミュレーションを通じて固定とし、参加ピアから N 個をランダムに選ぶ。シミュレーションでは $N = 10, 100, 500$ とした。それぞれの発話の継続時間は、最小1ミリ秒、平均6秒[17]の指数分布で与える。発話は配信ツリーの構築完了後、途切れなく行われる。すなわち、配信ツリーの構築が完了すると、発話候補ピアからランダムにひとつめの発話ピアが選ばれ、ランダムな継続時間の発話を行う。ひとつめの発話ピアの発話が終了すると同時に、ふたつめの発話ピアがランダムに選ばれ、発話を開始する。なお、発話ピアは同時に高々ひとつであり、また、同じ発話候補ピアが連続して発話ピアとして選ばれることもある。

発話ピアは、発話開始から5秒後に発話が継続中であれば発話に伴う昇格処理を開始する。以降、発話が継続する限り、5秒ごとに昇格処理を行う。ただし、5秒経過時に前の昇格処理が完了していない場合には、昇格処理を開始しない。また、全ての参加ピアは24秒ごとに親ピアとのファンアウト数の比較にもとづき昇格処理を行う。ただし、1回目の比較は配信ツリー構築から0秒から24秒後の一樣分布に従うランダムな時刻に行われる。さらに、参加ピアは7秒ごとに子ピア数とファンアウト数の比較にもとづきファンアウトを埋める処理を行う。ただし、1回目の比較は0秒から7秒の一樣分布に従うランダムな時刻に行われる。

評価尺度として、発話候補ピアと配信ネットワーク内の全ピアとの平均・最大遅延、発話候補ピア間の平均・最大遅延、物理リンク負荷、およびピア負荷を用いる。

以降のグラフでは、ひとつめの発話ピアの発話開始をシミュ

レーション内時刻で0としている。会議時間は60分である。また、図中の“dynamic”は配信ツリー再構成機構を用いた場合、“static”は配信ツリー再構成機構を用いない場合の結果を、それぞれ1000回のシミュレーションの平均を用いて示している。

3.2 評価結果

図7, 8, 9は、それぞれ発話候補ピア数 N が10, 100, 500の場合の発話候補ピアと全ピア間の平均、最大遅延を示している。図から、配信ツリー再構成機構によって、遅延が効果的に減少していることが分かる。なお、シミュレーション開始直後の遅延の大幅な減少は主にファンアウト比較に伴う昇格によるものである。また、発話候補ピア数が増えるにしたがって平均遅延の減少の度合いが小さくなっている。これは、発話候補ピアが多い場合には、ファンアウト数の制限により全ての発話候補ピアをツリー上位に収容することが出来ず、また、発話候補ピアあたりの発話による昇格の機会が減るためである。一方、最大遅延の減少の度合いは発話候補ピア数にあまり依存していない。これは、ファンアウト比較に伴う昇格によって配信ツリーの高さが低く抑えられるためである。ただし、図8, 9では、平均遅延、最大遅延ともにシミュレーション開始直後の減少以降、緩やかな増加が見られる。これは、発話に伴う昇格によって配信ツリーが高くなるためである。シミュレーション開始直後はファンアウトに関わる再構成によって配信ツリーの高さが効果的に減少する。しかしながら、その後、発話に伴って昇格する発話候補ピアは必ずしも大きいファンアウトを持たないため、昇格によって配信ツリーのバランスが崩れる。これは特に発話候補ピアが多い場合に顕著に現れる。

図10, 11, 12は、それぞれ発話候補ピア数 N が10, 100, 500の場合の発話候補ピア間の平均、最大遅延を示している。それぞれを図7, 8, 9と比較すると、発話候補ピア間遅延のほうが小さい。特に発話候補ピア数が10の場合には、発話候補ピア間の最大遅延が100ミリ秒[18]を下回っており、全ての発話候補ピア間で円滑な双方向会話が可能であると言える。

配信ネットワーク構築中および会議中に物理リンクあたり通過したメッセージ数、すなわち物理リンク負荷の平均は、発話候補ピア数が10の場合には1247、100の場合には1177、500の場合には1137であった。また、最大物理リンク負荷はそれぞれ83653、78972、76049であった。発話候補ピアが多いほど、物理リンク負荷が小さいことがわかる。発話候補ピアが少ない場合、それら発話候補ピアはいずれも昇格によって配信ツリー上位に位置すると考えられる。発話によって発話候補ピアがさらに昇格する際、発話ピアは親ノードを子ノードとして持つことになる。発話候補ピアのファンアウト数は必ずしも大きくないのに対し、配信ツリー上位の一般ピアはファンアウト数が大きいので、発話ピアの発話終了後にファンアウト比較に伴う昇格が発生する。昇格する一般ピアは多くの子ピアを持つため、制御メッセージが多数発生する。一方、発話候補ピアが多い場合には、必ずしも全ての発話候補ピアが配信ツリー上位に位置するとは限らないため、このような問題が生じにくい。メッセージのサイズを5バイトとすると、ヘッダを含むパケッ

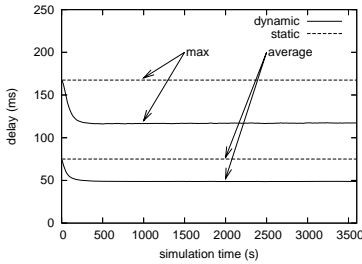


図 7 発話候補ピア-全ピア間の遅延
(発話候補ピア数 10)

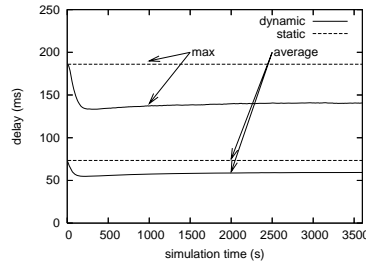


図 8 発話候補ピア-全ピア間の遅延
(発話候補ピア数 100)

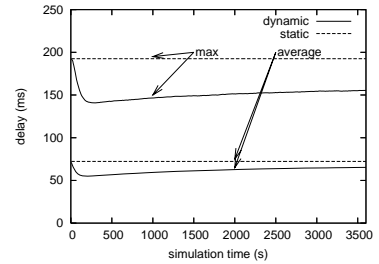


図 9 発話候補ピア-全ピア間の遅延
(発話候補ピア数 500)

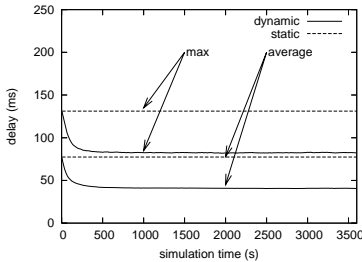


図 10 発話候補ピア間の遅延
(発話候補ピア数 10)

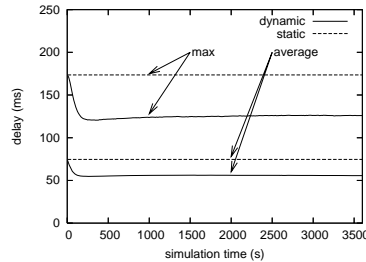


図 11 発話候補ピア間の遅延
(発話候補ピア数 100)

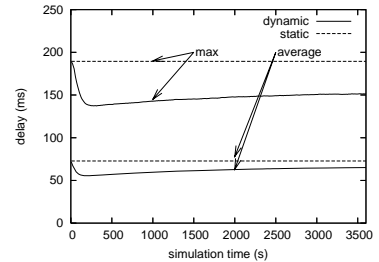


図 12 発話候補ピア間の遅延
(発話候補ピア数 500)

トサイズは 33 バイトとなり、制御メッセージの使用する帯域は平均でそれぞれ 91, 86, 83 bps, 最大で 6134, 5791, 5577 bps となる。これはテレビ会議における動画像データの符号化レート 64 kbps ~ 8 Mbps と比較して十分小さい。発話候補ピア数 N が 10, 100, 500 の場合における平均ピア負荷はそれぞれ 376, 355, 342, 最大ピア負荷は 1667, 1294, 1259 であった。リンク負荷と同じく、発話候補ピアが少ないほど負荷が高くなっている。

4. おわりに

本稿では、多人数参加型 P2P テレビ会議システムのための論理網構築手法の有効性をシミュレーションによって評価した。シミュレーションの結果、提案手法により、利用可能帯域や発話量のより多い参加ピアが配信ツリー上位に位置することによって、ピア間の遅延が小さく抑えられ、1000 人の参加者に対して円滑なテレビ会議が実現可能であることを示した。また、提案手法による制御メッセージ負荷は十分小さいことを示した。

今後は、動的なピア参加、離脱、障害への適応性について、シミュレーション評価、および、実装評価を行う予定である。

文 献

- [1] "SmoothCom". available at <http://www.zetta.co.jp/ecom/smoothcom/>.
- [2] "WarpVision". available at <http://www.ocn.ne.jp/business/infra/warpvision/>.
- [3] "Skype". available at <http://skype.com/>.
- [4] "iChat". available at <http://www.apple.com/macosex/features/ichat/>.
- [5] "PalTalk". available at <http://www.paltalk.com/>.
- [6] "NetMeeting". available at <http://www.microsoft.com/windows/netmeeting/>.
- [7] X. Jin, K.-L. Cheng and S.-H. Chan: "Sim: Scalable island multicast for peer-to-peer media streaming", Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Expo (ICME 2006), pp. 913-916 (2006).
- [8] R. Zhang and Y. C. Hu: "Borg: a hybrid protocol for scalable application-level multicast in peer-to-peer networks", Proceedings of the 13th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV 2003), pp. 172-179 (2003).
- [9] A. Nicolosi and S. Annapureddy: "P2PCAST: A peer-to-peer multicast scheme for streaming data", Proceedings of the the First IRIS Student Workshop on Peer-to-Peer Systems (ISW 2003) (2003).
- [10] F. Lanubile, F. Calefato and T. Mallardo: "Peer-to-peer remote conferencing", Proceedings of the ICSE Workshop on Global Software Development (GSD 2004), pp. 34-38 (2004).
- [11] H. K. Kim and J. N. Hwang: "Design and implementation of desktop video conference system based on client-server and P2P", Proceedings of International Conference on Communications in Computing (ICC 2006), pp. 158-161 (2006).
- [12] M. R. Civanlar, O. Ozkasap and T. Celebi: "Peer-to-peer multipoint videoconferencing on the Internet", Signal Processing: Image Communication, **20**, 8, pp. 743-754 (2005).
- [13] 堀内 英斗, 若宮 直紀, 村田正幸: "多人数参加型 P2P テレビ会議システムにおける論理網構築手法の提案と評価", 電子情報通信学会 技術研究報告 (IN2006-35), pp. 1-6 (2006).
- [14] 末次信介, 若宮直紀, 村田正幸, 小西弘一, 谷口邦弘: "物理網構成を考慮したハイブリッド型 P2P 動画像ストリーミング配信機構の提案と評価", 電子情報通信学会 技術研究報告 (CQ2004-57), pp. 47-52 (2004).
- [15] A. Barabasi and R. Albert: "Emergence of scaling in random networks", Science, **286**, pp. 509-512 (1999).
- [16] I. A. Japan Ed.: "Internet White Paper", Impress R & D (2006).
- [17] 河原 達也: "人間どうしの音声コミュニケーションの認識・理解", PRESTO 報告書 (2005). available at <http://www.ar.media.kyoto-u.ac.jp/lab/project/>.
- [18] ITU-T: "Recommendation G.114 - one-way transmission time", Switzerland (2003).