

ネットワークの通信状況に基づく データ転送制御システムの設計

Design of data transfer control system based on communication situation of network

畑 寛之[†] 山崎 航^{††} 西山 裕之^{†††} 溝口 文雄^{†††}
Hiroyuki HATA Wataru YAMAZAKI Hiroyuki NISHIYAMA Fumio MIZOGUCHI

[†] 東京理科大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Tokyo University of Science

j7405628@ed.noda.tus.ac.jp

^{††} 東京理科大学総合研究所

Research institute for Science and Technology, Tokyo University of Science

^{†††} 東京理科大学理工学部

Department of Science and Technology, Tokyo University of Science

ネットワーク負荷を抑えたマルチメディアデータの転送手法としてマルチキャスト技術が挙げられる。また、アプリケーション層で仮想的なネットワーク環境であるオーバーレイネットワークを構築し、その中で P2P 接続によるデータ転送を行うアプリケーションレベルマルチキャスト (以下, ALM) は、パケットの複製やマルチキャストルーティング、グループ管理をアプリケーション層で制御するため、従来の IP マルチキャストの問題点を解決する手法として注目されている。しかしながら、ALM の接続形態である P2P は、各ノードの通信状況が、他ノードの通信に影響を与えるという問題がある。本論文では、この問題を解決するために、オーバーレイネットワークに接続しているノードの、アプリケーション間における通信プロトコルにより通信されるマルチメディアデータに対し、各ノードのネットワーク通信状況を考慮したマルチキャストツリーを構築し、効率的な転送経路を導くと共に、各ノードの通信状況を監視することで、あるノードに輻輳やリンク切れが生じた場合には、転送経路を動的に変更することで、全てのノードが継続的な接続を可能にするデータ転送制御システムを設計する。

1 はじめに

ネットワークの高速化・広帯域化により、映像や音声等のマルチメディアデータの通信が可能になったことで、今日では一対一の接続によるテレビ電話のみならず、一対多、さらには多対多の接続によるテレビ会議システムなどのコミュニケーションツールが開発されている。一方で、マルチメディアデータは一定の帯域を確保できないと、遅延やパケット損失、ジッタの影響によるコマ落ちや音切れが生じる恐れがある。さらに、現在のネットワークはベストエフォート型であることから、アプリケーション単位の帯域の保障 (QoS 保障) を行うことができない。このような環境下でマルチメディアコミュニケーションツールを活用するためには、対多数ノードへの効率的なデータ転送を行うマルチキャストが有効である。マルチキャストには、パケットの複製、マルチキャストルーティング、グループ管理をネットワーク層で行う IP マルチキャストとアプリケーション層で行

う Application Level Multicast (ALM) があるが、IP マルチキャストはアーキテクチャや運用に問題があるため [1]、現在ではその代替手法である ALM が注目されている。ALM は、図 1 のように実ネットワーク上に仮想的なネットワーク環境であるオーバーレイネットワークを構築し、各ノードで P2P 接続を行う。データを送信する際には、隣接ノードを下位ノードとするマルチキャストツリーを形成し、各ノードを中継しながらパケットリレー方式で目的ノードに転送することができる。

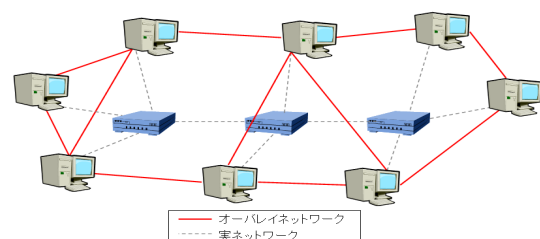


図 1: Overlay Network

しかし, ALM は P2P 接続による通信形態を取るため, あるノードの通信状況が悪化すると, マルチキャストツリーの下位ノードの通信に影響を与えるという大きな問題がある. そこで, 本研究では, オーバレイネットワークの継続性に注目する. 本研究では対多数による ALM において, マルチキャストツリーを構築する際に, 各ノードの通信状況を考慮する. また, 時々刻々と変化するネットワーク状況に対応させるために, ノードの通信状況を常時監視することで, ノードの輻輳やリンク切れを検出する. その上で, マルチキャストツリーの下位ノードへの通信に問題が生じた場合, データ転送経路の変更やマルチキャストツリーの再構築を動的に行うことで, 全ノードが継続的な接続を可能にするデータ転送制御システムを設計する. なお, 本システムでは数台から数十台ノードによる比較的小規模のオーバレイネットワークを構築し, 多対多の通信を想定する. 本論文では, 第二章に ALM における関連研究を紹介し, 本論文の位置付けを明確にする. 第三章では, ノードのネットワーク状況を考慮したマルチキャストツリーの構築方法と, ネットワーク状況の変化により下位ノードに問題が生じた場合の対処方法について述べる. 第四章では, 具体的な実装方式について説明する. 第五章では, 本システムを応用事例として, 現在実装を行っているテレビ会議システムの説明を行い, 第六章で本論文のまとめを述べる.

2 関連研究

ALM についてはオーバレイネットワークのマルチキャストツリーの最適化として, 多くの関連研究がある. SplitStream[2] は, マルチキャストツリーを複数用意することで, 一部の中継ノードの負荷集中を防ぐことができる. また, Emma[3] は, ユーザ優先度を考慮したマルチキャストツリーを構築することで, 高いユーザ満足度を得ることができる. 他にもマルチキャストツリーの最適化に関しては様々な研究がある [4][5]. 他の関連研究は, マルチキャストツリーの最適化によりノードの負荷集中を抑えることで ALM の問題を解決するアプローチをとっている. 一方, 本論文では, 全ノードが継続的な接続を保つことに重点を置くために, ノードの通信状況を基にしたマルチキャストツリーの構築とノードの通信状況の変化による他ノードへの動的な再接続を行うことで ALM の問題点を解決する.

3 設計方針

ネットワークの通信状況に基づくマルチキャストツリーを構築するために, 各ノードの通信状況の取得方法と, その情報に基づくマルチキャストツリーの構築方法について述べる. さらに, ノードに輻輳やリンク切れが起きた際に下位ノードの再接続とデータストリームの復旧を行うための設計を行う.

3.1 ノードの通信状況の取得

オーバレイネットワークでは, IP マルチキャストのようにルータ同士が直接通信することはなく, 常に隣接ノードと通信を行っているため, 全ノード間の通信状況を随時取得, 更新することで, オーバレイネットワーク全体のノードの通信情報を余すことなく取得することができる. ノードの通信状況として取得する情報は, 送信ノードのスループット, RTT, パケット損失数, パケット間隔ジッタ, 接続リンク数, 中継リンク数である. これらの情報を基に, ノード通信状況を判断する.

3.2 マルチキャストツリーの構築

5 ノードで構築されているオーバレイネットワークに新規ノードが追加される際のマルチキャストツリーの構築手順について説明する. なお, 各ノードは隣接ノードに対する通信情報を保持する. また, 全ノードの IP 情報を保有するログインサーバを設ける. 以下にその手順を示す (図 2).

- 手順 1. 新規ノード A はログインサーバに接続し, 全ノードの位置情報 (IP アドレス等) を取得する.
- 手順 2. ノード A は各ノードに対し, 情報要求を行い, その時点の全ノードの通信状態を確認する. その上でどのノードを隣接ノードとするか決定する.
- 手順 3. 各ノードの階層付けを行うとともに, ノード A のデータを送信するための中継ノードを決定し, そのノードに対し中継ノード依頼を行う.
- 手順 4. その返答次第でマルチキャストツリーが構築できない場合, 手順 3 を繰り返し行う.
- 手順 5. 中継ノードに対して, 中継要求を送信する. また, その他のノードには, 自ノードもしくは中継ノードの IP とポート番号を送り, 全てのノードを受信待ち状態にする.
- 手順 6. ノード A はデータ送信を開始する.

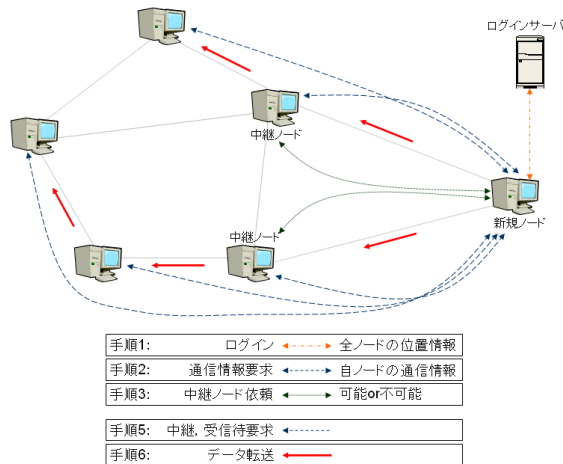


図 2: 新規ノードの手続き

3.3 データ転送経路の変更手続き

あるノードのネットワーク状況が変化し,他のノードへ影響が出た場合,そのノードの負荷を下げるため,転送経路の変更を行う.例として,中継ノード i を他の中継ノードに変更する手順について説明する(図 3).ノード i , ノード k , ノード n はノード m に対し上位隣接ノードであり,ノード l はさらに一つ上の上位ノードである. i, k, n, l の 4 ノードとも全ての上位ノードのデータを受信している.まず,ノード i の通信状況の変化によりノード m に影響が出た時,ノード m はノード i から受信しているデータの一つに対し切断を要求し,ノード k に,その切断したデータを送信する様に要求する.もし,ノード k に送信する余裕がない場合,送信不可を返す.その場合,ノード m はノード n に対し,同じ操作を行う.また,ノード m に対する全ての上位隣接ノードが送信不可の場合,さらに上位のノード l へ接続要求を求める.その場合,ノード m に対するマルチキャストツリーの再構築を行い,ノード l を上位隣接ノードとする.また,ノード i にリンク切れが生じた場合は,ノード m は全ての上位隣接ノードに対し,ノード i から受信していたデータを分担して送信する要求を行う.

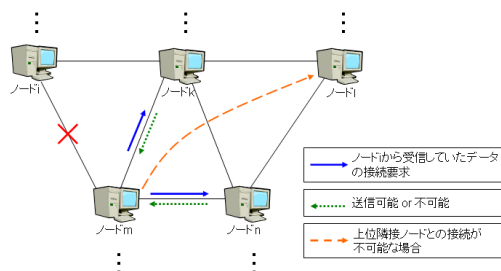


図 3: 再接続の手続き

なお,データ転送経路の変更を判断するために,RTT,パケット損失数,ジッタが急激に増加した部分をそのノードの輻輳とみなし,以上の手続きを行う.

4 実装

本システムではマルチメディアデータの転送を行うプロトコルとして,RTP(Real-Time Transport Protocol)を採用する.RTPはマルチメディアデータをリアルタイムで転送するのに適した通信プロトコルである.RTPパケットは,ヘッダに記録されている送信時のタイムスタンプやシーケンス番号,また RTPの制御プロトコルである RTCP(RTP Control Protocol)の情報を基に,受信側が受信したパケットの並べ替えやバッファリングを行うことで,マルチメディアデータの復元が可能となり,連続した再生を行うことができる.また,マルチキャストツリーの構築や再構築の際に,ノード間でメッセージのやり取りを行うためのシステム制御プロトコルを RTP や RTCP とは独立して TCP ベースで実装する.なお,実装には,マルチメディアデータの転送部は RTP 通信が可能な JMF(Java Multimedia Framework)を用い,システムの制御プロトコルは Java のソケット通信を用いる.

4.1 ノードの通信状況の取得

各ノードの通信状況の取得には RTCP を用いる. RTCP は一定間隔(ノードが少ない場合は数秒間隔,多い場合は数分間隔)で,受信側は Receiver Report(RR)を,送信側は Sender-Report(SR)を対象ノードに送る.RRには主にパケット損失数,パケット間隔ジッタ,最新送信レポート(LSR)のタイムスタンプ,最新レポート経過時間(DLSR)が含まれている.ここから,パケット損失数,パケット間隔ジッタ,往復遅延時間(RTT)を算出する.なお RTT は,RRの受信時間を Rrt とした時の $Rrt - LSR - DLSR$ の値である.また,SRには主に,NTPタイムスタンプ($NTPt$),送信側のパケットカウント(PC),送信側のオクテットカウント(OC)が含まれている.ここから, $OC_{i+1}/(NTPt_{i+1} - NTPt_i)$ と $PC_{i+1}/(NTPt_{i+1} - NTPt_i)$ により,送信バイト数,送信パケット数を算出する.オーバレイネットワーク環境における,隣接ノードは送信側と受信側で対をつくり,これらの情報を保持し,要求が出た際には,それまでの平均を返す.

4.2 システム制御プロトコル

各ノードは TCP ベースのソケット通信を行うことができ、必要に応じて対象ノードに接続し、情報の交換をおこなう。各ノードは制御プロトコル用にサーバを立ち上げ、他のノードからの接続待ち状態を作る。また、ポート番号はログインサーバに IP アドレスと共に登録しておき、新規ノードがサーバに接続した際に、取得できるようにする。

4.3 転送経路の変更

本システムは JMF を用いた実装を行うため、転送経路変更の手続きは JMF の API に依存する。JMF では送受信の対象データに対しセッションを確立しており、各ノードはターゲットとしてセッションに追加される。しかし、現在の JMF var.2.1.1e では切断の際、セッション単位での切断しか行うことができないため、個別の切断を行うことができない。本システムでは、直接通信を行っている各ノードと一対一のセッションを確立することで、この問題を補う。また、転送経路の変更はバックグラウンドで行われるため、画面上にその変化を表さないことが望ましい。そのため、JMF でデータを表示、再生する JMF の Player 機能の内部でデータストリームの変更を行い、連続的な表示を可能にする。

5 応用事例

本論文の応用事例として、遠隔教育や遠隔テレビ会議において、インタラクション機能を搭載したテレビ会議システムを実装した。本システムの特徴として、既存のテレビ会議の特徴である多対多の映像、音声の配信や共有ウィンドウ機能に加え、プレゼンテーションファイル (ppt, sxi) からの遠隔プレゼンテーションの開始や、プレゼンテーション中に様々なアノテーションを共有ウィンドウ上に追加する機能が実装されている。現在、文字と音声、フリーハンドペンツールによるアノテーションが可能である。以上のようなテレビ会議システムのように、今後のテレビ会議システムでは映像、音声データとは異なる様々なデータ転送が増えるため、効率的なデータ転送制御は、さらに重要になる。本論文はこのような問題を解決する手段としても応用することができ、継続性、リアルタイム性を失うことなく、遠隔テレビ会議を進行することを可能にする。

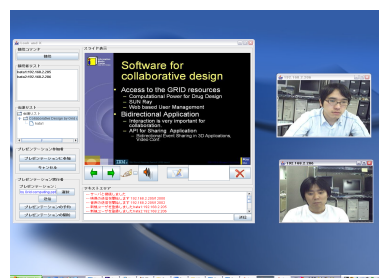


図 4: システムの概観

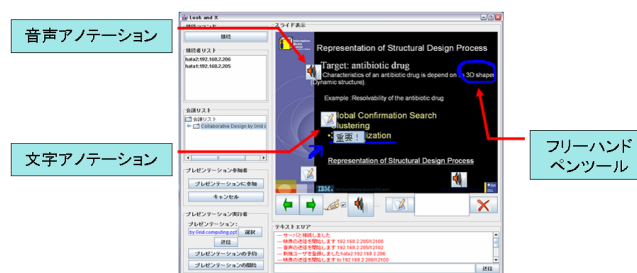


図 5: アノテーション機能

6 おわりに

本論文は、ノードのネットワーク通信状況を考慮したマルチキャストツリーを構築すると共に、ネットワーク通信状況が変化した場合に、転送経路を動的に変更することで全ノードが継続的な接続を行うことができるデータ転送制御システムの設計を行った。また、将来、テレビ会議システムにおいてマルチメディアデータ以外のデータが増加することが予想されることから、本システムが有効であることを述べた。今後、本論文に基づくシステムの継続性に対する検証実験を行うと共に、テレビ会議に実装することで本システムの効果について検証する。

参考文献

- [1] C.Diot, B.N.Levine, B.Lylnes, H.Kassem, and D.Balensiefen. "Deployment Issues for the IP Multicast Service and Architecture". IEEE Network, Vol.14, p.p.78-88, 2000.
- [2] M.Castro, P.Druschel, A.Kermarrec, A.Nandi, A.Rowstron, A.Singh. "SplitStream: High-Bandwidth Multicast in Cooperative Environments". SOSP, 2003.
- [3] 山口 弘純, 中村 嘉隆, 廣森 聡仁, 安本 慶一, 東野 輝夫, 谷口 健一. "動画像を用いたコミュニケーションシステム向けのアプリケーション層マルチキャスト". コンピュータソフトウェア, Vol.21, No.2, pp.1-11, 2004.
- [4] Zhi Li and Prasant mohapatra. "Hostcast: A new overlay multicasting protocol". IEEE International Communications Conference, 2003.
- [5] 三村 和, 中内 清秀, 森川 博之, 青山 友紀. "RelayCast: ピアツーピア型ストリーム配信のためのミドルウェア". 電子情報通信学会技術報告, IN2002-42, 2002.