

サービス連続性を保証する P2P ビデオ配信システム

横川 芳隆[†] 橋本 浩二^{††} 柴田 義孝^{††}

[†] 岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科 ^{††} 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

近年、効率的なビデオ配信手法として P2P ネットワークの研究が数多く行われているが、P2P 方式による配信ではノードの動的な変化による配信パスの中断が問題となる。本研究では、Unicast による P2P 配信に IP Multicast と予備ストリーム配信の機能を導入し、配信パスの中断に対してサービスの連続性を保証するビデオ配信システムを提案する。

Peer-to-Peer Video Streaming System with Service Continuity

Yoshitaka YOKOKAWA[†] Koji HASHIMOTO^{††} Yoshitaka SHIBATA^{††}

[†] Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

^{††} Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

In recent, there are a lot of studies concerned with video streaming methods based on peer-to-peer network in order to realize efficient video services. However, in the conventional methods, there exists possibility that the disconnection of streaming path between nodes is caused by dynamic change of node status in network and the video service are temporally stopped, eventually leads to the service degradation. In this paper, we propose a new peer-to-peer video streaming system which can guarantee service continuity by introducing both IP multicasting in addition to IP unicasting for peer-to-peer video streaming and secondary stream by multi-streaming technique.

1 はじめに

近年、ネットワークの広帯域化、およびビデオコンテンツ配信サービスの普及に伴い、大規模ネットワークにおける効率的なビデオ配信の手法として、P2P ネットワークの研究が多数行われているが、個々のユーザのネットワーク帯域幅や IP マルチキャスト利用の可否といった、現実のネットワーク環境を考慮したものは少なく、全体のネットワーク資源や計算機資源の使用効率などの点では十分とはいえない。また、各ユーザのネットワークへの接続形態の多様化により、要求される品質もまた多様化している。これらのユーザの要求に対して適切な品質でのビデオ配信を行う方法も必要とされる。

また、一般に P2P 方式による配信では、ノード間での中継によりストリーム配信を行うため、上流側に位置するノードの状態変化による配信パスの中断が問題となる。配信サービスにおいては配信の連続性が品質要件として考えられるため、パスの中断を速やかに回復する手法が必要となる。

著者らは、大規模ネットワークにおいて、多数の

ユーザに対し効率的なビデオ配信を可能とすることを目的とし、ユーザの属するネットワーク環境を考慮し、動的に適切な配信方式を選択してルーティングを行う P2P ネットワークと、ユーザ要求に基づくコンテンツのトランスコーディング機能を組み合わせることで、効率的かつユーザ要求を満たすスケーラブルなビデオ配信システムの構築を行ってきた [8]。本研究では、IP unicast 及び IP multicast をベースとした P2P 配信に、多重ストリーム配信の機能を導入することで、ノードの状態変化による配信パスの中断が起きても、サービスの連続性を保証することのできるビデオ配信システムを提案する。

2 関連研究

ビデオ配信サービスにおいては、1) ユーザの品質要求を満足すること、2) 配信の連続性を確保することが求められる。以下、既存研究でのそれぞれの要件への対応について述べる。

2.1 品質要求への対応

現在のインターネットのように多様な接続形態が混在する環境においては、ユーザ側で利用できる接続帯域幅が様々に存在し、またコンテンツに要求される品質も多様化している。これらの要求に対して適切な品質での配信が必要となる。

異なる品質でのビデオコンテンツの同時配信の手法として、マルチバージョン法、オンライントランスコード法、階層化マルチキャストなどが提案されている [6]。マルチバージョン法は、事前に複数の品質のコンテンツを用意し、ユーザの品質要求や利用可能帯域に合わせてコンテンツを選択的に提供する方法であり、コンテンツを複数用意するために配信サーバのディスク領域を消費するという問題がある。階層化マルチキャスト法では、階層符号化されたコンテンツを IP multicast で配信し、コンテンツの品質はユーザ側で受信する階層の数で調節される。しかしながら、IP multicast は現在のインターネット上では必ずしも広域に利用できない [1] という問題がある。オンライントランスコード法は、コンテンツを配信サーバもしくは中間のノードで、ユーザが要求する品質に変換し配信する方法である。ユーザの品質要求に対して柔軟に対応可能であるが、トランスコード処理を担当するサーバの負荷が問題となる。

P2P 方式での配信においては、既存研究の多くは配信の負荷分散や安定した配信ネットワークの構築を焦点として設計され、ユーザの品質要求の差異は考慮されていない場合が多い。STRACast[5]では、P2P のストリーミング配信においてトランスコーディング機能を導入しているが、専用の変換ハードウェア (メディアコンバータ) の利用を前提としており、動的に変化する配信ネットワークにおいては柔軟性に欠ける。

2.2 配信連続性の確保

P2P 方式による配信では、ノード間での中継によりストリーム配信を行うため、上流側に位置するノードの参加/離脱/障害に伴うネットワーク状態の変化により、配信パスの中断が問題となる。これに対し、配信の連続性を確保するための手法が提案されている。

HostCast[2]では、メッシュ状のネットワークを構成し、配信パス中断後に接続すべき親候補ノードを事前に決定する。この手法では、新たな親ノードへの接続が容易となるが、親候補となっているノードの状態が変化した場合には、再度親候補ノードの選出が必要となる。文献 [3] では、現在の親ノ

ードがネットワークから離脱する際、子ノードが新しい親ノードとの接続を確立した後に親ノードの離脱を許可する。この手法では、配信が中断することはないが、一時的に 2 つの親ノードを持つことになり、受信トラフィックが 2 倍になるという問題がある。HyMoNet[4]では、ノードが配信ネットワークから離脱する際、他のノードへの通知を何も行わない。子ノードは自分への配信が停止していることを確認し次第、新たな親ノードを要請する。この手法では、早急に新たな親ノードを選出し、接続を確立することが必要となる。

3 システム概要

本研究では、ライブビデオ配信において、ビデオを受信するユーザによる P2P 型のツリーネットワークを構築する。システムの概要を図 2 に示す。

3.1 システムの特徴

本研究での提案システムに用いられる手法およびその特徴について以下に述べる。

1) 現実のネットワーク環境の考慮

現在のインターネットは、ISP によるネットワークや、地域情報ハイウェイ、企業・大学・家庭内などに構築された LAN、専用回線など、様々な管理運用組織によるネットワークが相互接続されている。そしてこれらのネットワークでは、利用可能な帯域幅、プロトコル、上り・下り帯域の対称性、IP multicast の利用の可・不可など、ネットワーク環境が大きく異なる。ビデオ配信においては、これらの異なるネットワークに属するユーザに対し、一意にコンテンツを届ける仕組みが必要となる。

既存の P2P に方式によるビデオ配信では、各ユーザの属する物理的ネットワーク環境の違いを隠蔽するため、IP unicast を用いたオーバーレイネッ

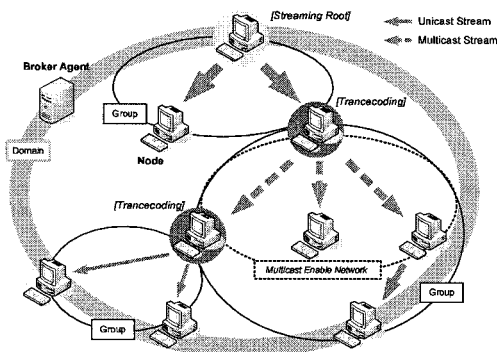


図 1: システム概要

トワークを構築するものが多い。一方で、ライブビデオ配信のような1対多への同時配信においては、IP multicastを用いたほうが、サーバの配信負荷、ネットワークの利用率の点で優位である。

提案システムでは、ノード間の実ネットワーク環境を考慮し、ノード間でIP multicast通信が可能な環境であればIP multicastによる配信を、不可能であれば既存の配信手法同様にIP unicastでの配信を行う。従って、全てをIP unicastで配信する場合と比較して、全体的な配信トラフィックの軽減および新規ノードの参加可能性の向上を図ることが可能となる。

2) ユーザの品質要求の満足

配信コンテンツに対するユーザの多様な品質要求に対応するためには、コンテンツのオンライントランスコーディング手法を導入することが望ましい。しかし、変換専用のサーバを設定したり、専用の変換ハードウェアを用いた場合には、ネットワーク上でトランスコーディング機能をもつノードが限定されてしまい、動的なネットワーク構成において柔軟性を欠くとともに、トランスコーディング処理の負荷が集中することが問題となる。

提案システムでは、ネットワーク上のすべてのノードがトランスコーディング機能を有し、新規のノードから既存のストリームと異なったビデオフォーマットの要求があった場合、ネットワーク上のCPU資源に余裕があるノードが適切なフォーマットにトランスコーディングを行う。これにより、トランスコーディング処理の負荷を集中させることなく、多様なユーザの要求に応じた配信が可能となる。

3) 資源利用の効率化

トランスコーディング処理には単純な中継処理よりもCPU資源が必要となるため、全体としてトランスコーディング処理の回数を可能な限り少なくすることが望ましい。

提案システムでは、同品質の要求のユーザをグループとして管理する。グループ間のストリーム中継時にトランスコーディング処理が発生し、グループ内ではノード間でストリームの中継を行う。これにより、トランスコーディングの回数を必要最低限に抑えることができる。

4) システム情報管理の簡素化

提案システムでは、ユーザノードの他に、"Broker Agent"と呼ばれる仲介ノードが存在する。ノードの参加・離脱の要求、障害発生など、ネットワークが変化するタイミングで、影響を受けるノード

の資源の状態情報を取得し、新たな接続の決定と接続命令の通知を行うことで、ノード間の接続の仲介を行う。ネットワークの状態変化に関わる情報がBroker Agentに通知されることで、配信ネットワークの構成を可能とする。これは、常にすべてのノードを監視するシステムに比べ、必要最低限の情報のみを扱っており、各ノードの負荷や通信量を抑えることができる。また、システム状態に関する情報をユーザノードの分散協調によって管理するシステムに比べ、情報の管理を簡素化でき、一意性を保つことが容易となる。

5) 予備ストリームの配信

P2Pネットワークによるビデオ配信においては、上流ノードの予期しない離脱や障害に伴い、配信パスの中断が起こりうる。この場合、新たな親ノードを選出し、再接続を行う必要があるが、接続が確立されるまでの時間が問題となる。本システムでは、新たな親ノードとの接続が確立されるまでの間、ノードは予備ストリームの配信を受ける。予備ストリームは、一時的な利用を想定し、低帯域なビデオストリームを仲介ノードである"Broker Agent"から配信する。これにより、配信の完全な中断を回避することができ、配信サービスの連続性を確保することができる。

3.2 システムの構成要素

提案システムのネットワークを構成する要素について以下に示す。

- Node
配信ネットワークに参加したユーザがP2Pの構成ノードとなる。配信ネットワークの状態はNodeの参加/離脱/障害発生によって随時変化する。Nodeはビデオストリームの受信/送信、トランスコーディングの機能を持ち、新規にネットワークに参加するNodeは既存のNodeからストリームの中継を受ける。配信にはIP unicastおよびIP multicastが使用可能であり、Node間の実ネットワーク環境に応じて切り替える。
- Broker Agent
Broker Agentは仲介ノードであり、配信ネットワーク情報の把握とNode間の接続の仲介を行う。配信ネットワークにおけるNodeの参加要求・離脱要求・障害情報はBroker Agentに伝えられ、Broker Agentは影響を受けるNodeに再接続などの指示を行う。また、Broker AgentもNodeと同様にビデオストリームの受信/送

信、トランスコーディングの機能を持ち、Nodeの予期しない障害に伴う配信パスの中断が起きた場合、新たな接続が確立されるまでの間、予備ストリームの配信を行う。

3.3 ネットワーク構成

提案システムのネットワーク構成について以下に示す。なお、ビデオサービスを行うネットワーク全体は、以下で定義される“Domain”の複数相互接続により構成される。

- Domain: Contents Delivery Domain
システムにおけるNode群の管理範囲であり、例えば、ISP、地域情報ハイウェイ、企業、学校などに相当する。各DomainにBroker Agentが存在する。
- Group: Same-Quality Demanding Group
配信フォーマットで区分されたNode群であり、同GroupのNodeで配信ツリーの部分木を構成する。Group同士はNodeを介して接続され、Groupから別Groupへの配信時にトランスコーディングが行われる。
- Session: Stream Transport Session
親子Node間のストリーム配信関係を示す。本システムにおける配信セッションの構成を図2に示す。Node間のセッションは単方向のVideo Stream Sessionと双方向のStatus Sessionからなる。Video Stream Sessionはユニキャストまたはマルチキャストによって送信されるビデオストリームである。Status Sessionはお互いのNodeの状態確認のための通信であり、定期的にユニキャストで行われる。これらはビデオ配信が行われる間維持される。また、Nodeのネットワーク参加/離脱要求や、Status Sessionによって確認されたNodeの障害情報などは、発生時にNodeからBroker Agentに通知される。

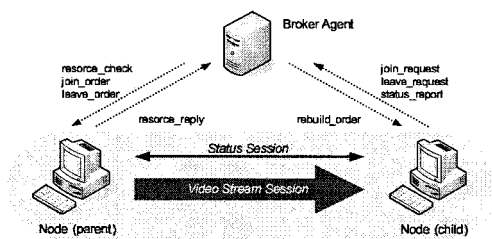


図 2: 配信セッション構成

3.4 ネットワーク構築手法

3.4.1 Node 評価指標

配信ネットワークはNodeの参加/離脱/障害発生によって随時変化し、他のNodeが影響を受ける場合にはNode間の新しい接続確立が必要となる。提案システムでは、配信に必要な余剰リソースを持つNodeを適切な親Nodeと判断する。

ノードを評価するためのリソース値として以下のものを定義する。

- CPU 利用率 [%]
- 上り帯域幅 [bps]
- 下り帯域幅 [bps]

各Nodeは自身の現在の余剰リソースの情報を保持している。Broker Agentはストリームの中継/トランスコーディング処理に必要なリソース値の情報を保持している。Broker Agentは各Nodeのリソース情報を取得し、ストリームの中継/トランスコーディング処理に必要なリソース値と比較し、ストリームの処理が可能であると判断されたNodeを適切な親Nodeと決定する。

3.4.2 Node の参加

Nodeの参加パターンを図3に示す。

- 1) 新規に参加するNode Eは、Broker Agentに参加要求を送る。
- 2) Broker Agentはグループ内に存在するNodeのリソース情報を取得し、新規Nodeに配信が可能なNodeを決定する。
- 3) Broker Agentは決定された親Node Dと新規Node Eに対し接続命令を送る。
- 4) ストリームが送信される。

3.4.3 Node の離脱

Nodeの離脱パターンを図4に示す。

- 1) ネットワークから離脱するNode Dは、Broker Agentに離脱要求を送る。
- 2) Broker Agentはグループ内に存在するNodeのリソース情報を取得し、新たな親NodeとしてNode Eに配信が可能なNodeを決定する。
- 3) Broker Agentは決定された親Node CとNode Eに対し接続命令を送る。
- 4) ストリームが送信され、Node Dは離脱可能になる。

3.4.4 Node 障害時のパス再構築

Node障害時のパス再構築パターンを図5に示す。

- 1) Node Cに予期しない離脱や障害があった場合、親Node A及び子Node Dから障害情報がBroker Agentに伝えられる。
- 2) Broker AgentはNode Dに予備ストリームを送信する。Node Eには予備ストリームが中継される。同時に、上流側のNodeのリソース情報を取得し、新たな親NodeとしてNode Dに配信が可能なNodeを決定する。
- 3) Broker

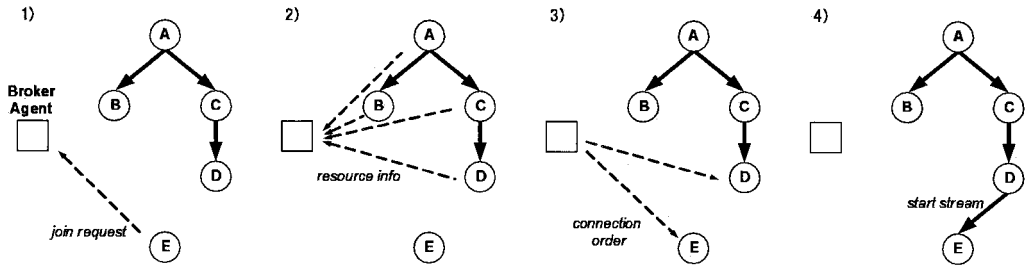


図 3: Node の参加パターン

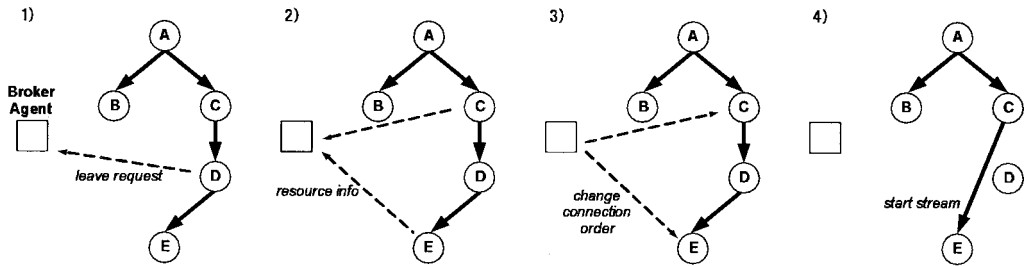


図 4: Node の離脱パターン

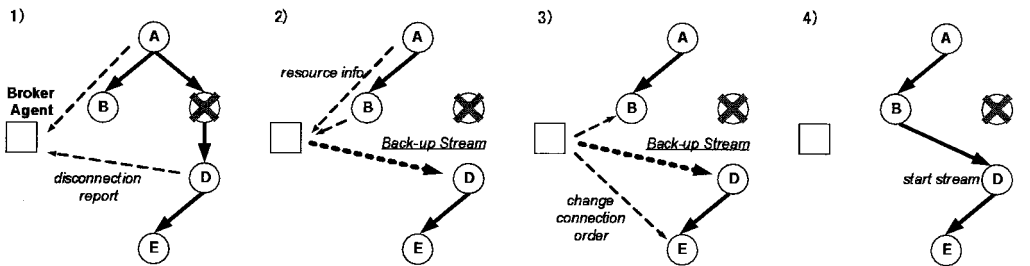


図 5: Node 障害時のパス再構築パターン

Agent は決定された親 Node B と Node D に対し接続命令を送る 4) ストリームが送信され、配信パスが再構築される。

4 システムアーキテクチャ

提案システムにおける Node および Broker Agent のアーキテクチャを図 6 に示す。Node および Broker Agent はほぼ同一のアーキテクチャを持つ。本システムでは、ビデオストリーム送受信およびトランスコーディング機能を実現する機構として、MidField System[7] を使用している。

4.1 MidField System

MidField System[7] は、トランスポート層とアプリケーション層の間に 3 階層・4 プレーンで構成され、アプリケーションに対し、利用者の通信環境や QoS 要求に応じた適切なフォーマットでの相

互通信機能を提供するミドルウェアである。図?? は MidField System のアーキテクチャを示している。Stream Plane では、メディアの同期・変換・フロー制御といったメディア処理を行う。Session Plane では通信セッションの管理を行う。System Plane では、CPU 利用率・ストリーム入出力ビットレートといったシステム資源の管理を行う。また、Event Process Plane では、システム内部で発生する各種のイベント処理を行う。

MidField System では、利用者の通信環境に適したオーディオ・ビデオフォーマットを用いて多地点相互通信を実現するために、ネットワーク上の適切なコンピュータ上でトランスコーディング機能を動作させることができる。WMV(Windows Media Video) フォーマットを利用して、数 100kbps~10 数 mbps の範囲におけるトランスコーディング処理

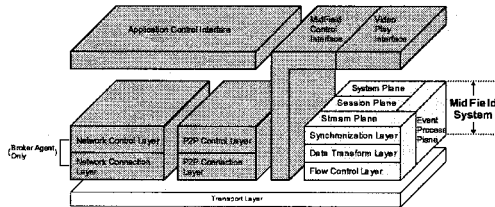


図 6: システムアーキテクチャ

に対応する一方、DV(Digital Video)/HDV(High-definition Digital Video) フォーマットを用いた映像転送にも対応している。通信には TCP/unicast, UDP/unicast, UDP/multicast を任意に使用することができ、中継端末を介したインターネットにおける通信や IPv6 にも対応している。

4.2 P2P アーキテクチャ

本システムでは、MidField System に対し、P2P 通信機能やビデオコントロール機能を新たに設けることで、P2P 方式でのビデオ配信を実現している。

アーキテクチャにおいて、P2P Connection layer では他 Node および Broker Agent との通信を行う。P2P Control layer では接続状態の管理を行う。Interface 群はユーザーインターフェースとして機能する。Broker Agent にのみ Network Connection layer および Network Control Layer が存在する。Network Connection layer は他 Node および他 Broker Agent との通信を行う。Network Control Layer は配信ネットワーク全体の状態情報の管理を行う。

5 プロトタイプシステム

図 7 に示すように、本システムの評価としては、大規模環境を想定し、研究開発テストベッドネットワークである JGN2[9] を用いた評価を行う。各地に設置された複数の PC に対し、それぞれ帯域幅やマルチキャストの利用の可・不可の性質を設定した環境を用意し、本研究のシステムの機能評価を行う。評価項目として、従来型の手法との Node の参加可能数・CPU 使用率・使用帯域幅の比較、グループ管理機能の有無によるネットワーク構成の変化、及び Node の参加・離脱に伴うネットワークの安定性について検証する。

6 まとめ

本稿では、IP unicast と IP multicast をベースとした P2P 配信に、多重ストリーム配信の機能を導入することで、サービスの連続性を保証するこ

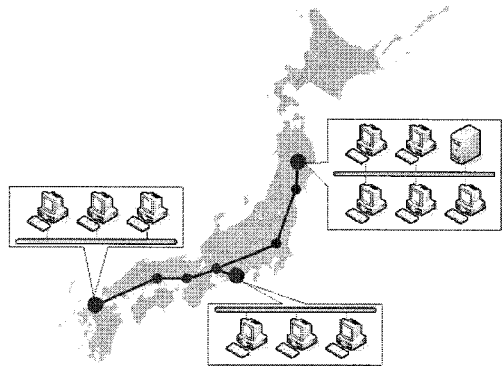


図 7: プロトタイプシステム構成例 (JGN2)

とのできるビデオ配信システム構築の方法論について述べた。

今後は実装と実証実験を行い、提案システムの有効性を評価していく予定である。

参考文献

- [1] Christophe Diot, Brian Neil Levine, Bryan Lyles, Hassan Kassem, Doug Balensiefen: Deployment Issues for the IP Multicast Service and Architecture, IEEE Network Vol.14, num 1, pp.78-88, 2000
- [2] Zhi Li, Prasant Mohapatra: Hostcast: A new overlay multicasting protocol, ICC'03.
- [3] Reza Rejaie, Shad Stafford: A Framework for Architecting Peer-to-Peer Receiver-driven Overlays, ACM NOSSDAV'04, pp.42-47, 2004.
- [4] Bin Chang, Yuanchun Shi, Nan Zhang: Hy-MoNet: a peer-to-peer hybrid multicast overlay network for efficient live media streaming, In IEEE AINA, 2006.
- [5] Takeshi TSUCHIYA, Hirokazu YOSHINAGA, and Keiichi KOYANAGI: STARCAsT: Streaming Collaboration Architecture on Heterogeneous Environment Everywhere, ACM NRBC'04, pp.57-62
- [6] 山岡 修一, 孫 タオ, 玉井 森彦, 安本 慶一, 柴田 直樹, 伊藤 実: 多種多様な端末に対する効率のよいビデオ配信方式情報処理学会研究報告, 2005-DPS-122, pp.315-320,2005.
- [7] 橋本 浩二, 柴田 義孝: 利用者環境を考慮した相互通信のためのミドルウェア, 情報処理学会論文誌, Vol.46 No.2, pp.403-417, 2005.
- [8] 横川 芳隆, 橋本 浩二, 柴田 義孝: ネットワーク環境とユーザ要求を考慮した P2P ビデオ配信システム, 情報処理学会第 69 回全国大会講演論文誌, No.3, pp.309-310, 2007.
- [9] JGN2 HomePage, <http://www.jgn.nict.go.jp/>