

利用者の通信環境に適合する 分散協調型ライブ中継システムの提案

河野康裕[†] 橋本浩二^{††} 柴田義孝^{††}

ブロードバンドネットワークサービスの普及やコンピュータの処理能力向上、および音声や動画圧縮技術の進歩に伴い、一般に普及しているコンピュータを通信端末とした映像の中継が実現しやすくなった。しかしながら、帯域の確保されたネットワーク上で専用機器を用いる場合と比べて、日常的に利用可能な通信環境を用いる場合は、ライブ中継処理を通信環境に適合させることが重要となる。そこで本稿では、利用者の通信環境に適合した配信セッションの構成を可能とする、分散協調型のライブ中継システムを提案する。

A Proposal for a Distributed Collaborative Broadcasting System for Adapted to User's Communication Environments

Yasuhiro Kawano[†] Koji Hashimoto^{††}
Yoshitaka Shibata^{††}

Increase the spread of broadband network services and computer processing power, advances in audio and video compression techniques due to a live broadcast of events is easier by using personal computers. However, when compared to using a dedicated device that is allocated bandwidth on the network, if a communication environment is available on a daily basis, it is important to communicate the process to adapt to the environment. In this paper, we propose a distributed collaborative broadcasting system for adapted to user's communication environments.

1. はじめに

ブロードバンドネットワークサービスの普及やコンピュータの処理能力向上、および音声や動画圧縮技術の進歩に伴い、一般に普及しているコンピュータを通信端末とした映像の中継が可能となり、比較的小規模なコミュニティで開催される各種イベントのライブ中継も実現しやすくなった。

しかしながら、帯域の確保されたネットワーク上で専用機器を用いる場合 [1][2][3] と比べて、日常的に利用可能な通信環境を用いる場合は、ライブ中継処理を通信環境へ適合させることが重要となる。特に HD(High Definition) クラスの高品質な映像ソースを扱う場合 [4][5][6], 中継先の利用者の通信環境に応じて映像フォーマットをリアルタイムに変換する機能や、中継パスを適宜変更する機能が必要であり、これらの機能を適切なコンピュータ上で動作させる仕組みも必要となる。

そこで本稿では、HD 品質の映像ソースを考慮し、利用者の通信環境に適合した配信セッションの構成を可能とする、分散協調型のライブ中継システムを提案する。

2. システム概要

本稿で想定しているコミュニティとは、町内会の集会や、スポーツ少年団の試合といった各種イベントに参加する、日常的にはライブ中継を行わない利用者の集まりである。このような比較的小規模なコミュニティでは、帯域の確保されたネットワークや、専用機器を用いてライブ中継を行うことは容易ではない。したがって、日常的に利用可能な通信端末やネットワークを活用してライブ中継を実現するシステムが有効だと考えられる。その概要を図 1 に示す。ライブ中継の配信セッションは、コミュニティにおいて利用可能な端末(利用者端末)で構成される。各利用者端末は、ビデオストリームの送信/受信の機能を持つ。配信セッションに参加する端末は、既存の端末からストリームの中継を受ける。また、各利用者端末はトランスコーディング機能を持ち、通信環境に応じて適切な配信フォーマットに変換しながら中継を行うことが可能である。

このようなライブ中継を実現するためのシステムアーキテクチャを図 2 に示す。本システムの機能は 4 つに大別される。Control Interface は、ユーザインタフェースであり、ビデオストリームの送信/受信やトランスコーディング機能のコントロールを行う。Session Connection Manager では、配信セッションへの参加/退出の要求や管理を行

[†] 岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究所
Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University.

^{††} 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University.

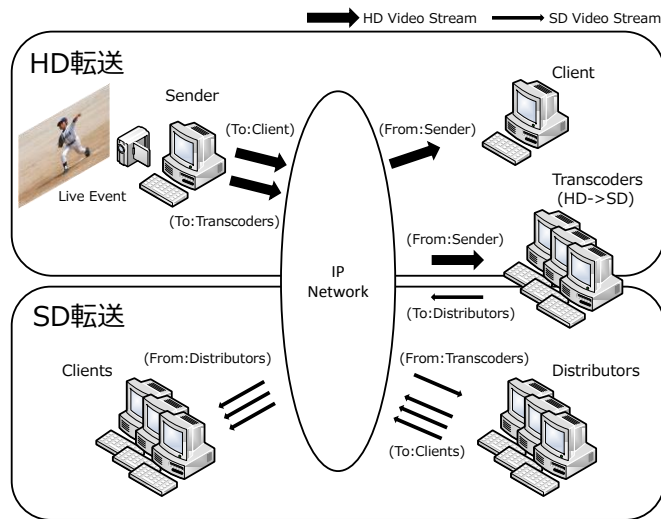


図 1 配信セッション構成例

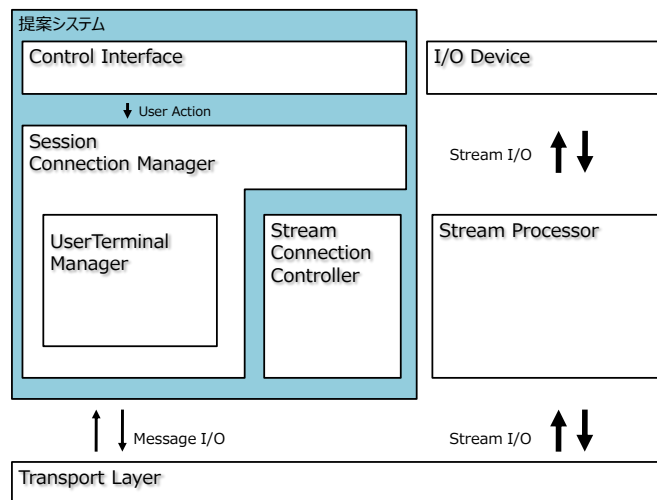


図 2 システムアーキテクチャ

う。User Terminal Manager では、配信セッションに参加している利用者端末の資源利用状況の管理を行う。この資源利用状況に基づいて、適切な端末にメディア処理を割り当てる。Stream Connection Controller では、ストリームの作成と削除要求、および中継パスのコントロールを行う。

本システムでは、ビデオストリーム送信/受信およびトランスコーディング機能を持つ Stream Processor に対し、配信セッションを構成する機能や通信資源を管理する機能を設けることで分散協調型のライブ中継を実現する。

3. 分散協調型ライブ中継の基本構成

本システムにおける配信セッションの基本構成を図 3 に示す。基本構成は、ライブ映像の中継元である Source Group と、映像の中継先である Destination Group 間が User Terminal(UT)を介して接続されている状態である。図中、UT 内の Stream Processor は、メディア処理を行うエンティティであり、図 2 における Stream Connection Controller により制御される。

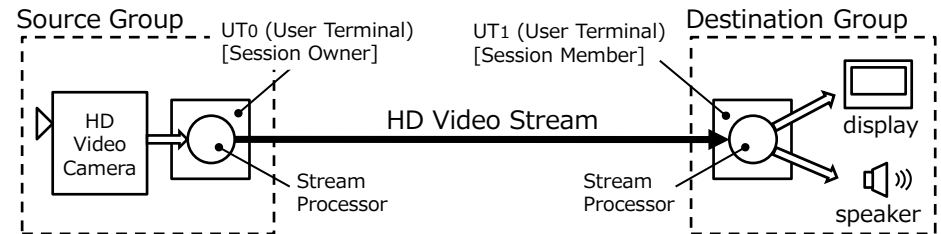


図 3 基本構成

本システムを利用してライブ中継を行う際は、まず、Source Group の UT0 が配信セッションを生成する(Session Owner)。以後、Session Owner は Session Member から通知される、配信セッションへの参加と退出、ストリームの作成と削除要求、中継パスの制御、および通信資源情報の管理を行う。次に、UT1 は Destination Group として配信セッションに参加する。ここで、Session Member は Session Connection Manager の機能により、Session Owner に対して配信セッションへの参加要求を発行する。また、User Terminal Manager の機能により、自身の通信資源情報の通知を行う。その後、Session Member は Session Owner に対して、HD Video Stream を要求する。ここで、Session Member は Stream Connection Controller の機能により、Session Owner に対して、スト

リームの要求を発行する。ストリームの作成要求を受信した Session Owner は、Source Group と Destination Group 双方の通信資源情報を参照することにより、各自の通信環境に応じた中継パスの確立を行う。

(1) Source Group の利用者端末による中継処理

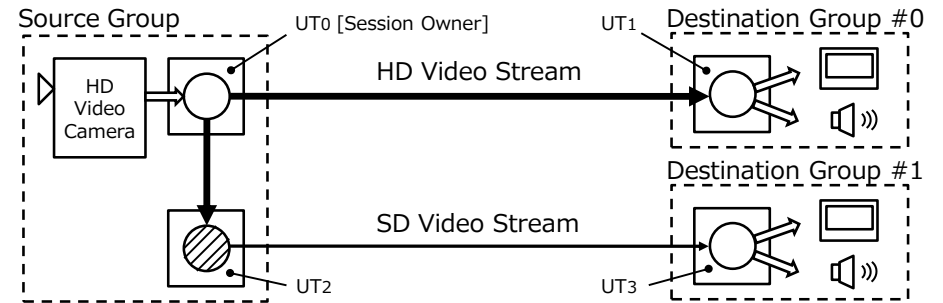
図 4(a)では、UT0 が作成した配信セッションに、UT1 が Destination Group #0 として参加し、HD Video Stream を要求する。次に、Session Owner は、Source Group と Destination Group #0 の通信資源情報を参照して、HD Video Stream を用いた中継を行うための資源を確保できるか確認を行う。この場合、Source Group と Destination Group #0 間のネットワーク帯域が十分に確保できるため、UT0 から UT1 へ HD Video Stream が送信される。次に、UT3 が Destination Group #1 として配信セッションに参加し、HD Video Stream を要求する。ここで、Source Group と Destination Group #1 間のネットワーク帯域が十分に確保できないものとする。この場合、HD Video Stream を用いた中継はできないため、Session Owner では、映像フォーマットとして SD Video Stream を選択する。そして、トランスコーディング処理を行うために適切な UT を選択する。図 4(a)では、Source Group の UT2 がトランスコーディング処理を行うことにより、HD Video Stream は SD Video Stream に変換され、UT3 もビデオストリームを受信することが可能となる。

(2) Relay Group の利用者端末による中継処理

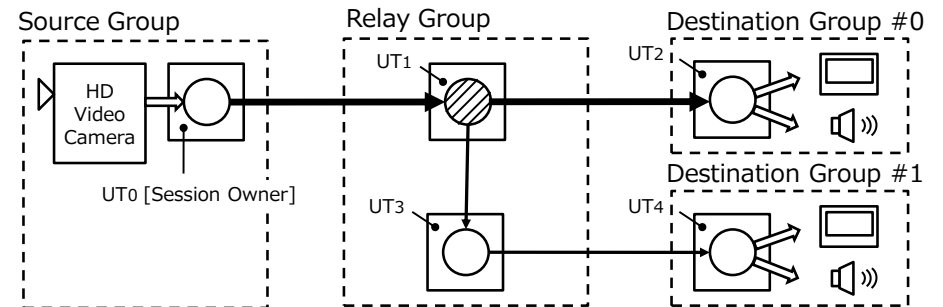
図 4(b)における Source Group と Destination Group #0 は、Relay Group を介して接続されており、HD Video Stream を用いた中継が行われている。Relay Group は、Source Group と Destination Group 間の接続を確立できない場合に用いる。この配信セッションに、UT4 が Destination Group #1 として参加する。次に、Session Owner は、Relay Group と Destination Group #1 の資源利用状況を確認する。ここで、HD Video Stream を用いた中継を行うための資源を確保できないものとする。この場合、トランスコーディング処理を行うために適切な UT を選択する。図 4(b)では、UT0 が送信した HD Video Stream を、Relay Group の UT1 が SD Video Stream に変換、UT3 で中継処理を行うことにより、UT4 もビデオストリームを受信することが可能となる。

(3) Destination Group の利用者端末による中継処理

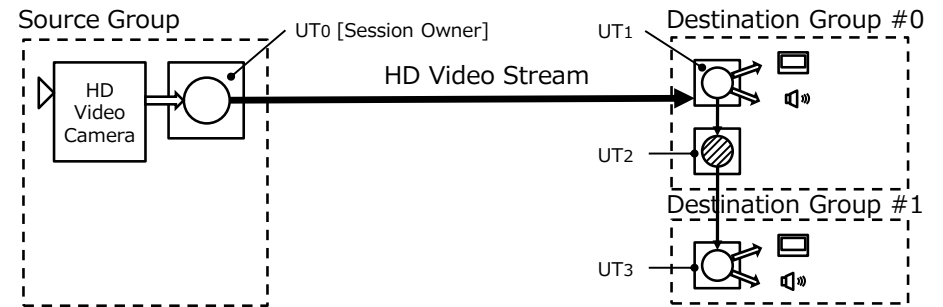
図 4(c)における Source Group と Destination Group #0 の構成は図 3 と同様である。この配信セッションに、UT3 が Destination Group #1 として参加する。ここで、Source Group と Destination Group #1 は、HD Video Stream を用いたライブ中継を行うための資源を確保できないものとする。この場合、Session Owner では、トランスコーディング処理を行うために適切な UT を選択する。図 4(c)では、UT1 が送信した HD Video Stream を、Destination Group #0 の UT2 が SD Video Stream に変換を行うことにより、UT3 もビデオストリームを受信することが可能となる。



(a) Source Group によるライブ中継処理



(b) Relay Group によるライブ中継処理



(c) Destination Group によるライブ中継処理

図 4 ライブ中継の構成例

4. 中継パス選択手法

第3章で述べた配信セッションを実現するために、Session Owner は中継パスを生成する際に利用する Live Stream Path を保持している。Live Stream Path はビデオストリームの中継処理を表す論理的なパスであり、Stream Node から構成される。Stream Node は、ビデオストリームの中継元である Source Node、ライブ中継処理を行う Distributor、ビデオストリームの中継先である Destination Node の3種類を定義する。

新規 UT(Destination Node)がビデオストリームを受信するためには、まず Session Owner にビデオストリーム作成要求を送信する。作成要求を受信した Session Owner は Live Stream Path をもとに中継パス候補リストを生成する。中継パス候補リストには、Destination Node へ中継を行うためのパス候補が含まれる。次に、配信セッションに参加している UT の資源利用状況を収集する。資源利用状況には、各 UT が利用可能な入出力帯域幅と CPU 利用率が含まれている。Session Owner は、中継パス候補リストと UT の資源利用状況をもとに、Destination Node へ中継を行うための適切な中継パスを選択する。

以下、中継パス選択手法について詳細に概説する。

(1) 中継パス候補リストの生成

図5は、中継パス候補リストを生成する際の処理フローを示している。まず初めに、UT(Destination Node)からのビデオストリーム作成要求を受信した Session Owner は、Live Stream Path の上流から順に Stream Node を1つ取り出す。次に、取り出した Stream Node から Destination Node へビデオストリームの中継が可能であるか、そしてトランスコーディングを利用する必要があるか確認を行う。確認の結果、ビデオストリームの中継が可能で、かつ、トランスコーディングを利用しない場合、取り出した Stream Node から Destination Node へ中継を行うパスを中継パス候補リストへ追加する。一方、ビデオストリームの中継が不可能、また、トランスコーディングを利用する場合、新規に Distributor を生成・利用して中継を行うパスを中継パス候補リストへ追加する。生成する Distributor には、a)トランスコーディングを行う Distributor、b)Destination Node へ中継可能な UT 上で稼働する Distributor、c)Destination Node へ中継可能な UT 上で稼働し、トランスコーディングを行う Distributor の3種類がある。これらの Distributor を、Stream Node と Destination Node 間に配置することにより通信環境に応じた中継処理を実現する。Live Stream Path に存在する Stream Node を全て確認し、中継パスを生成し終わったら中継パス候補リストの並び替えを行う。中継パスを並び替えるための評価値として、1)中継パスの長さ、2)トランスコーディング処理の有無、3)新規 Distributor の有無を用いる。

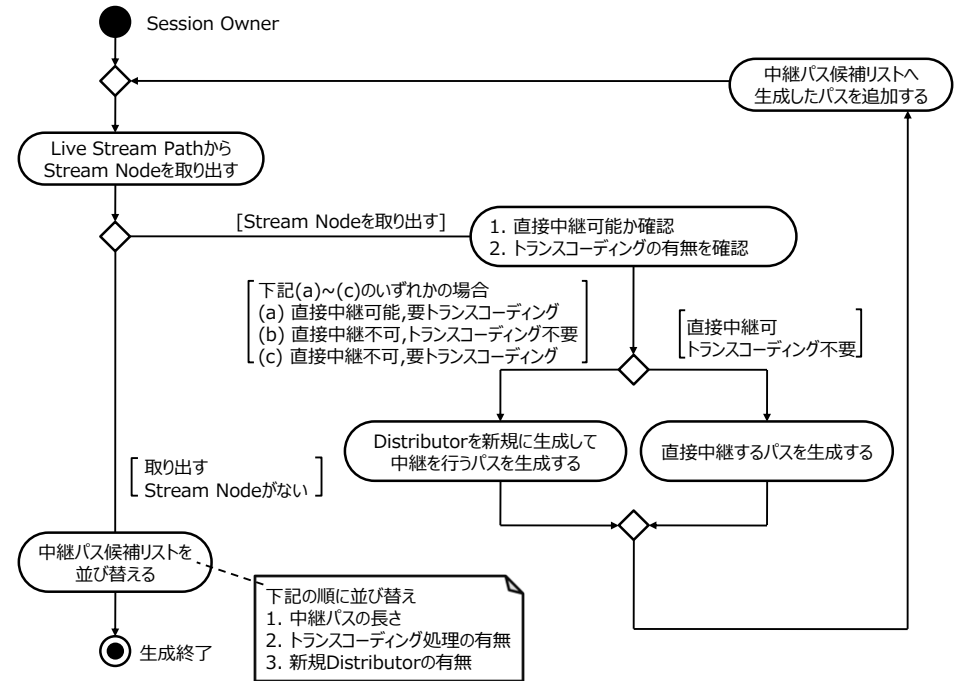


図5 中継パス候補リストを生成

(2) User Terminal の資源利用状況の収集

図6は、配信セッションに参加している UT の資源利用状況を収集するための処理フローを示している。まず初めに、資源利用状況を収集するためのメッセージを、稼働中の UT に送信する。収集要求を受け取った UT は現在の資源利用状況を送り返す。資源利用状況には、各 UT において利用可能な入出力帯域幅の利用状況および CPU 利用率が含まれる。資源利用状況を受信した Session Owner は、各 UT の資源利用状況を要素とする User Terminal リストを生成し、資源利用状況を受信する毎に追加更新する。また、資源利用状況を開始する際に Session Owner はタイマを起動し、タイマイベントを利用して User Terminal 候補リストを User Terminal リストをもとに生成する。もし、タイマイベント発生回数が一定の値(N)未満で、かつ、利用可能な UT が存在しない場合、Session Owner は資源利用状況を収集するための要求メッセージを再度送信する。また、利用可能な UT が存在せず、タイマイベント発生回数が一定の値を超えた場合、中継処理に必要な資源を確保できないと判断し、中継パスの選択は失敗となる。

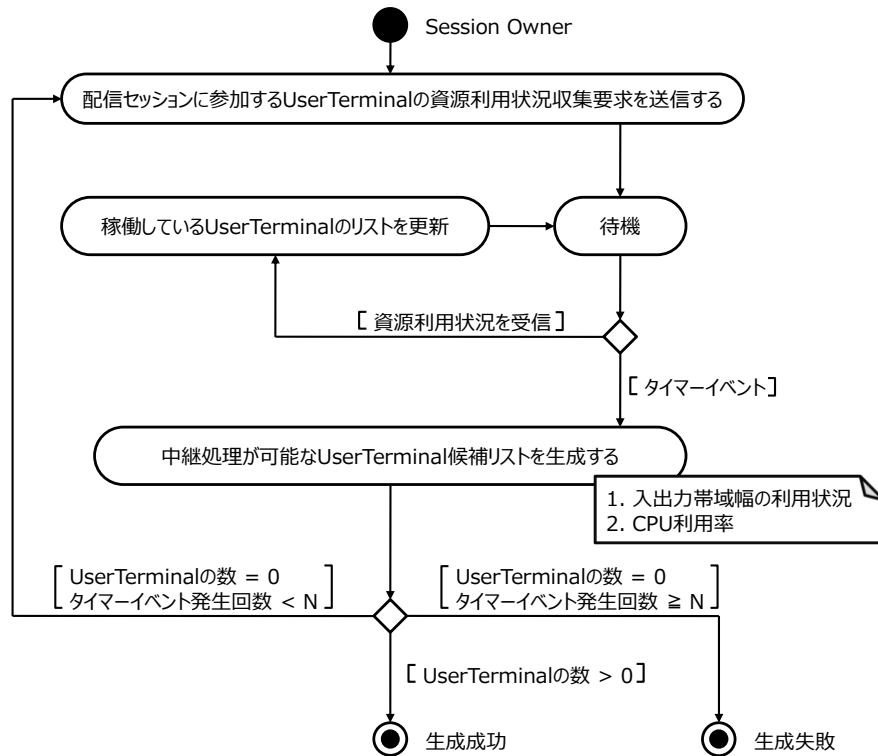


図 6 User Terminal の資源利用状況の収集

(3) 中継パスの選択

図 7 は、中継パスを選択する処理フローを示している。まず初めに、Destination Node の親ノードである Stream Node が稼働する UT の出力帯域幅を確認する。中継に必要な資源を確保可能であれば、次に、新規 Distributor の利用可否を確認する。新規 Distributor を利用する場合、Distributor を稼働させる UT の選択を行う。UT の選択には、1) Destination Node へ中継可能な UT、2) トランスコーディングを利用する UT の 2 種類がある。ここで、トランスコーディングを利用する場合、User Terminal 候補リストの CPU 利用率の低い UT から順番に選択を試みる。選択された UT の入出力帯域幅を確認し、確保可能であれば該当する UT を用いる。最後に、Destination Node が稼働する UT の入力帯域幅を確認し、確保可能であれば中継パスを確定する。もし、1) 中継に必

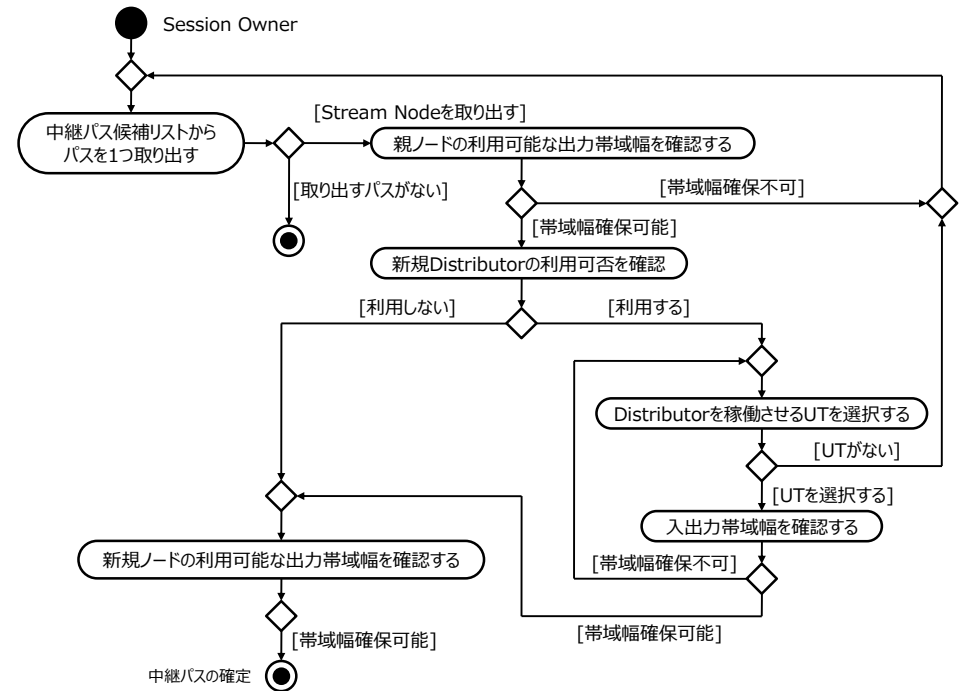


図 7 中継パスの選択

要な入力・出力帯域幅を確保できない、2) 新規 Distributor を稼働させる UT が存在しない場合、取り出したパスを破棄し、新たに中継パス候補リストから中継パスを取り出して確認を行う。

5. 中継パス選択シナリオ

第 4 章で述べた中継パス選択方法を用いた中継パス選択例の概略を示す。図 8(a)では、ネットワーク上で 5 台の UT (UT0~UT4) が稼働している環境で配信セッションを構成している。配信セッションの初期状態として、UT0 は UT1 へ HD Video Stream を中継しており、UT2 は UT1 からの HD Video Stream を SD Video Stream にトランスコーディングしながら、UT3 へ中継している。ここで、UT4 が SD Video Stream 受信要求を行っ

た場合の、Session Owner におけるアクションは(A1)~(A4)の通りである。

- (A1) 中継パス候補リストを生成する
- (A2) 配信セッション内で稼働している UT の資源利用状況を収集する
- (A3) 適切な中継パスを選択する
- (A4) 中継パスに基づいて中継を開始する

以下、アクションに沿った中継パス選択手順を概説する。

(A1) まず、UT4 が Session Owner へ SD Video Stream 受信要求を送信する。受信要求を受け取った Session Owner は中継パス候補リストを生成するために、Live Stream Path を用いる。図 8(a)における Live Stream Path を図 9(a)に示す。次に、A~D の各 Stream Node から E への中継パスを生成する。生成した中継パス候補リストを図 9(b)に示す。中継パスを生成し終えたので中継パス候補リストの並び替えを行う。中継パスを並び替えるための評価値として設けた、1)中継パスの長さ、2)トランスコーディング処理の有無、3)新規 Distributor の有無に基づいて並び替えを行った結果を図 9(c)に示す。

(A2) 次に、Session Owner は資源利用状況を収集するためのメッセージを、稼働中の UT に送信する。その結果、UT0~UT4 の入出力帯域幅の利用状況と CPU 利用率を受け取り、User Terminal 候補リストを生成する。

(A3) (A3)では、図 9(c)と User Terminal 候補リストをもとに中継パスの選択を行う。まず、図中[P1]の A(UT0)は、SD Video Stream の中継が必要であるが、Source Group の出力帯域幅を確保出来ないため、[P1]による中継は失敗となる。次に、[P3]を確認した結果、C(UT2)は SD Video Stream の中継を開始するために必要な出力帯域幅を確保できないため、[P3]による中継は失敗となる。続いて、[P2]の確認をした結果、B(UT1)は SD Video Stream の中継に必要な出力帯域幅を確保することが可能であった。そして、新規 Distributor を稼働させるための UT を確認したところ、E(UT4)へ中継可能であり CPU 利用率が低く、出力帯域幅を確保できる UT1 が選択された。最後に、E(UT4)は SD Video Stream を受信するために必要な入力帯域幅を確保することが可能なので、中継パスを[P3]に確定する。

(A4) Session Owner は上記(A3)で確定した中継パスをもとに、B(UT1)と E(UT4)にメッセージ通知を行う。メッセージを受信した UT1 では、トランスコーディングを利用する Distributor を生成し、HD Video Stream を SD Video Stream にトランスコーディングしながら UT4 へ中継を開始する。新規中継パス追加後の配信セッションの構成を図 8(b)に示す。

今回の中継パス選択例を通して、(A1)では受信要求にともなう中継パス候補リストの生成を確認し、(A2)では UT の資源利用状況の収集を確認した。また、(A3)では、中継パス候補リストと User Terminal 候補リストを用いて、適切な中継パスの選択を確認した。各アクションを行うことにより、利用者の通信環境に応じて、ライブ中継処理を適切な端末上で稼働させることが可能であると考えられる。

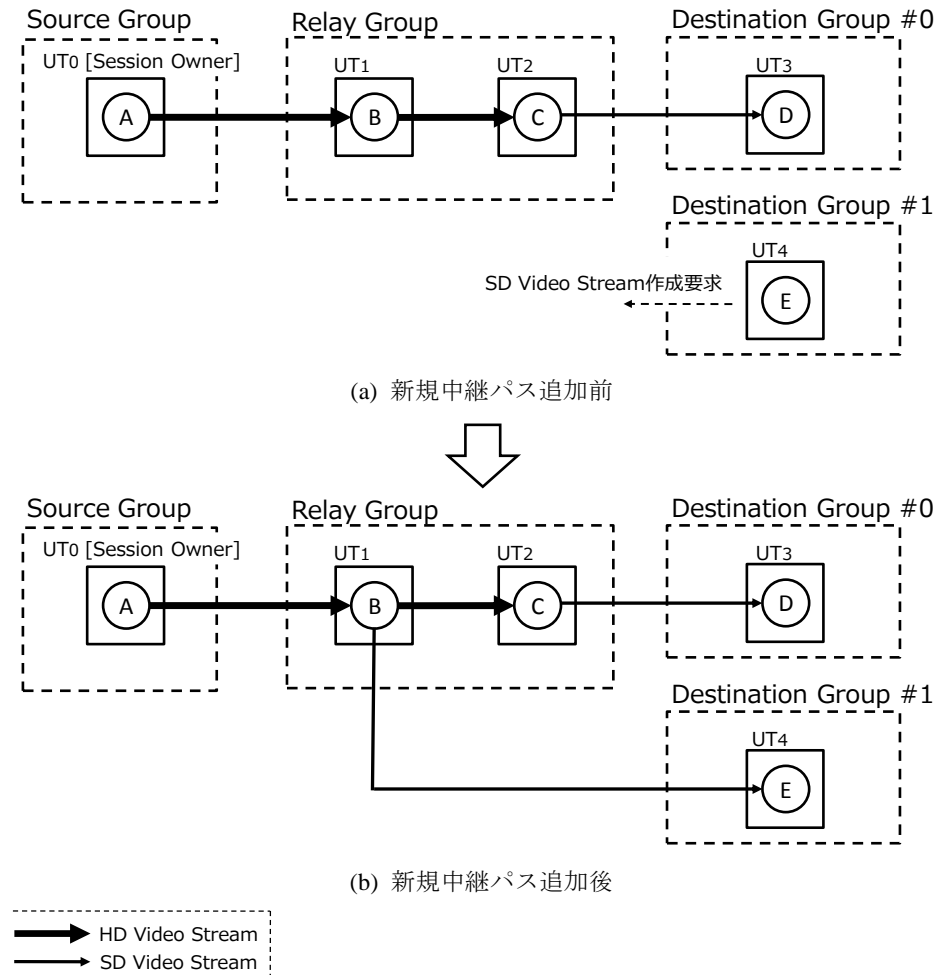
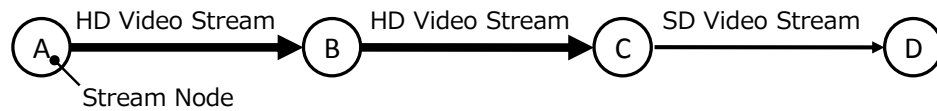
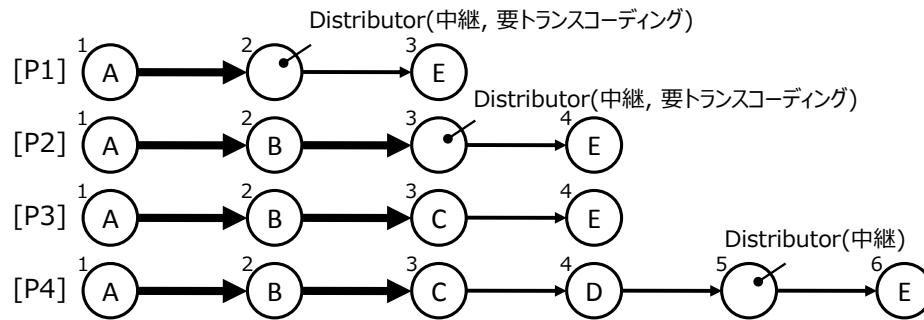


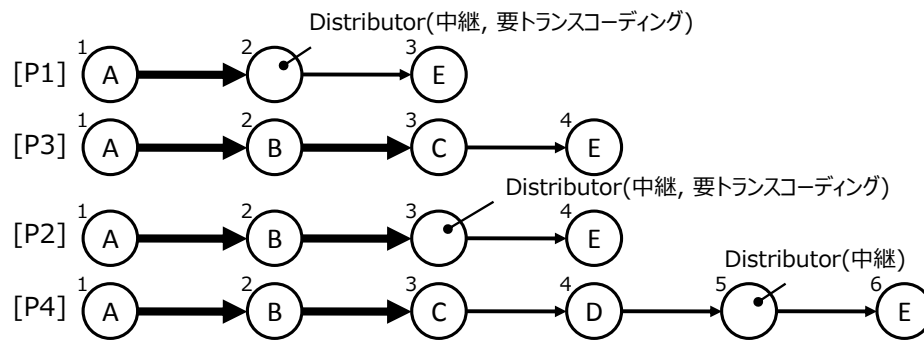
図 8 中継パス選択シナリオ用ライブ中継構成例



(a) Live Stream Path 構成



(b) 中継パス候補の構成例(並び替え前)



(c) 中継パス候補の構成例(並び替え後)

図 9 Live Stream Path 構成

6. まとめ

本システムでは、日常的に利用可能な通信環境を用いて、小規模なコミュニティで開催される各種イベントのライブ中継が容易になることを目標としている。

本稿では、利用者の通信環境に適合した配信セッションの構成を可能とする、分散協調型のライブ中継システムのモデルと中継パス選択手法について概説した。日常的に利用可能な通信環境を用いてライブ中継を行うために、中継パス候補リストと通信資源の利用状況に応じて、ライブ中継処理を適切な端末上で稼働させる仕組みについて検討した。

今後は、配信セッションを構成する Group を管理する仕組みについて検討していく。現在、Session Owner が配信セッションを統括しているが、Group を管理する Group Owner を導入して、Session Owner と相互に配信セッションを管理する仕組みを考案する。また、分散協調型のライブ中継システムを実現するために、ビデオストリーム送信/受信、トランスコーディング機能、および遠隔制御可能なプロトコルを持つ MidField System[7]を用いて実装を進める予定である。

参考文献

- [1] Inlet Technologies, Spinnaker: <http://www.inlethd.com/?q=products/spinnaker>
- [2] NTT-AT : i-Visto : <http://www.i-visto.com/>
- [3] Bodecek, K.; Novotny, V.: From standard definition to high definition migration in current digital video broadcasting, Proceedings of the International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology (ICCGI'07), pp.15-15
- [4] Gharai, L.; Lehman, T.; Saurin, A.; Perkins, C.: Experiences with High Definition Interactive Video Conferencing, IEEE International Conference on Multimedia and Expo, pp.433-436, (2006)
- [5] Andrei, Hutanu.; Yufeng, Xin.; Steven, Thorpe.; Petr, Holub.; Ravi, Paruchuri.; Daniel, Eiland.; Milos, Liska.: Uncompressed HD video for collaborative teaching – an experiment, Proceedings of the 2007 International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, pp.253-261
- [6] Jinyong, Jo.; JongKwon, Chae.; Minsun, Lee.; JongWon, Kim.; OkHwan, Byeon.: Uncompressed High Definition Visual Sharing System towards Interactive Networked Collaboration, Proceedings of the First International Conference on Immersive Telecommunications, 2007
- [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)