情報処理学会研究報告
IPSJ SIG Technical Report

Vol.2011-DPS-146 No.17
Vol.2011-CSEC-52 No.17
2011/3/10

環境適合型
高品位ライブ映像中継システムの実装と評価

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，分散協調型ライブ中継システムの実装と評価について述べる．

Implementation and Evaluation a Distributed Collaborative Broadcasting System for Adapted to User’s Communication Environments

Yasuhiro Kawano[†]　Koji Hashimoto[††]
Yoshitaka Shibata[††]

As broadband network services and video streaming systems become more common, HD (High-Definition) quality stream format has become increasingly popular in live video distribution. Today's video streaming systems are used for a variety of purposes, but those systems require much bandwidth and CPU power for video streams. In this paper, we focus on the design of a relay path selection method on community based resource sharing networks, which is able to select and use suitable stream paths cooperatively in sharing resources. On live video distribution, a candidate relay path list is created when users request to receive live video streams, and the best path is selected. If a new relay node is required, the suitable relay node is placed on a shared terminal in consideration of available resource status. Our experiments by a prototype system show that our method is successful in realization of the suitable relay path selection and live video streaming on shared terminals.

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易くなった．

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．

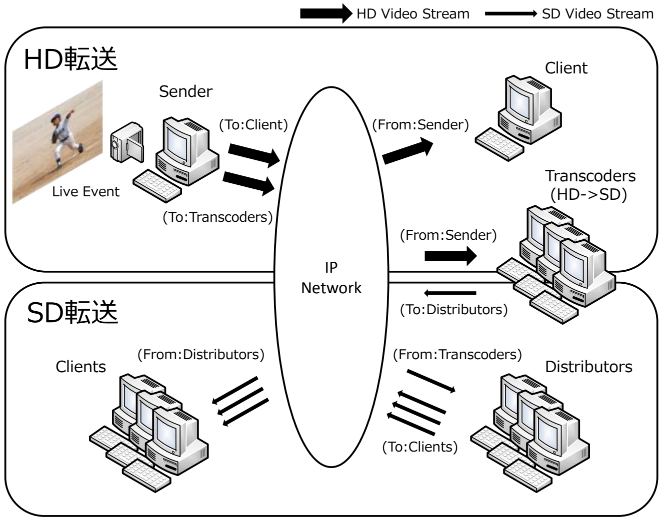


図 1　配信セッション構成例

[†] 岩手県立大学大学院　ソフトウェア情報学研究科
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.

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-DPS-146 No.17
Vol.2011-CSEC-52 No.17
2011/3/10

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．

2. 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 2 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．

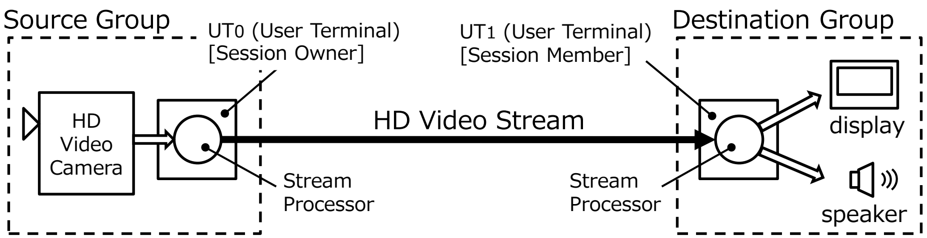
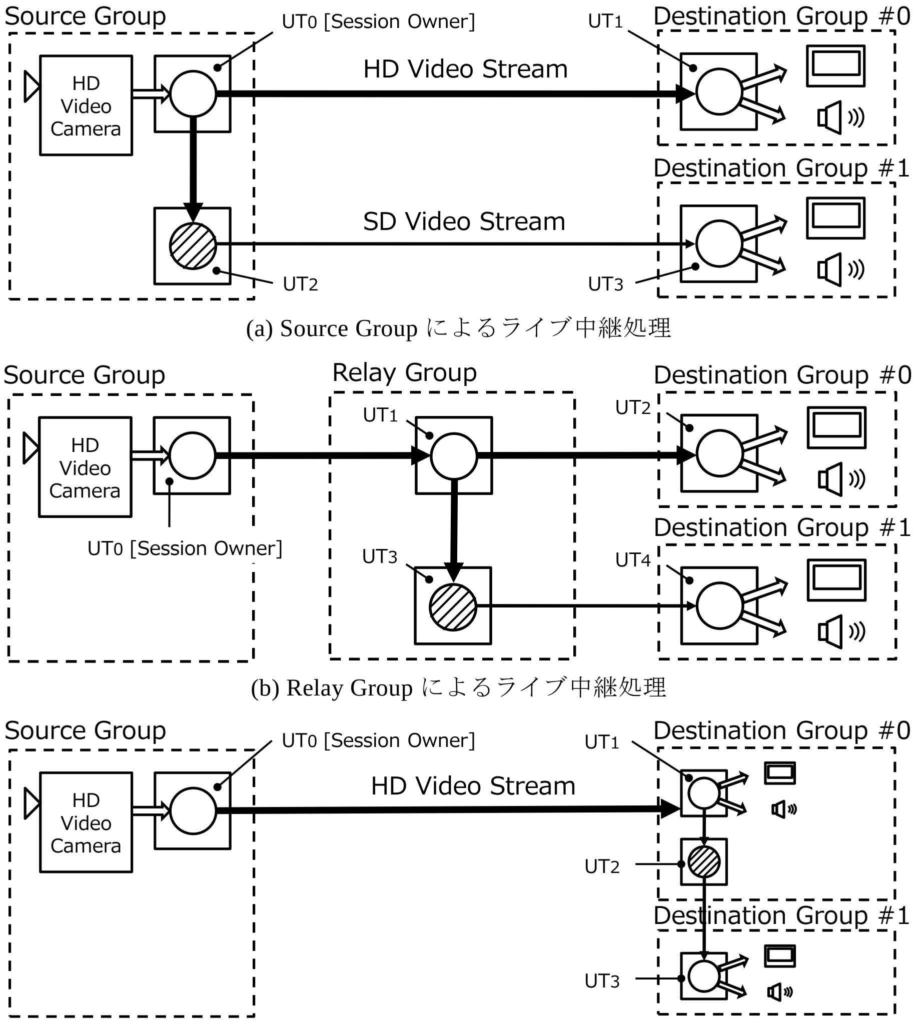


図 2 基本構成

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．そして，Session Member が発行したストリーム受信要求を受け取った 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．



(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 3 ライブ中継の構成例

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

(1) Source Group の利用者端末による中継処理

図 3(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 3(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 3(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 間のコネクション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 3(b)では, Relay Group の UT3 が UT1 からの HD Video Stream を SD Video Stream に変換しながら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 3(c)における Source Group と Destination Group #0 の構成は図 2 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 3(c)では，Destination Group#0 の UT2 が UT1 からの HD Video Stream を SD Video Stream に変換しながら中継を行うことにより, UT3 もビデオストリームを受信することが可能となる．

3.　中継パス選択手法

第 2 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 を, ビデオストリームの中継元である Source Node(Source), ライブ中継処理を行う Distributor(Dist.), ビデオストリームの中継先である Destination Node(Dest.)の 3 種類を定義する．

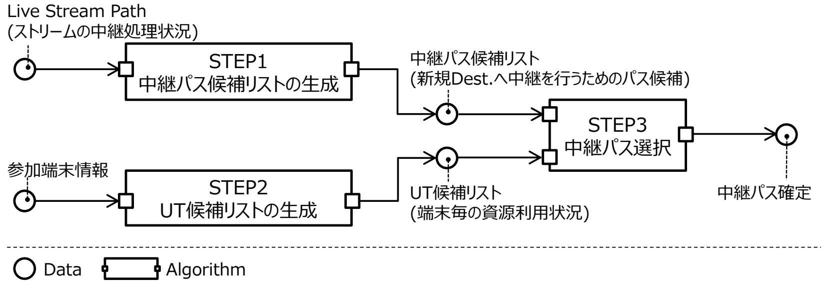


図 4　中継パス選択手順

新規 UT(Dest.)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受信要求を送信する．受信要求を受け取った Session Owner における中継パス選択手順を図 4 に示す．まず, 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，中継元(Source,Dist.,Dest.)から新規 Dest.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各 UT の資源利用状況を含む User Terminal 候補リストを生成する．資源利用状況には，各 UT が利用可能な CPU 利用率と入出力帯域幅が含まれている. Session Owner は, 中継パス候補リストと UT 候補リストをもとに，新規 Dest.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説明する．

(STEP1) 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(Dest.)からのビデオストリーム受信要求を受け取った Session Owner は, Live Stream Path の上流から順に Stream Node を 1 つずつ取り出し，新規 Dest.への中継パス候補を生成する．ここで，取り出した Stream Node から新規 Dest.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 から新規 Dest.へ直接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直接中継が不可能，また，トラン

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

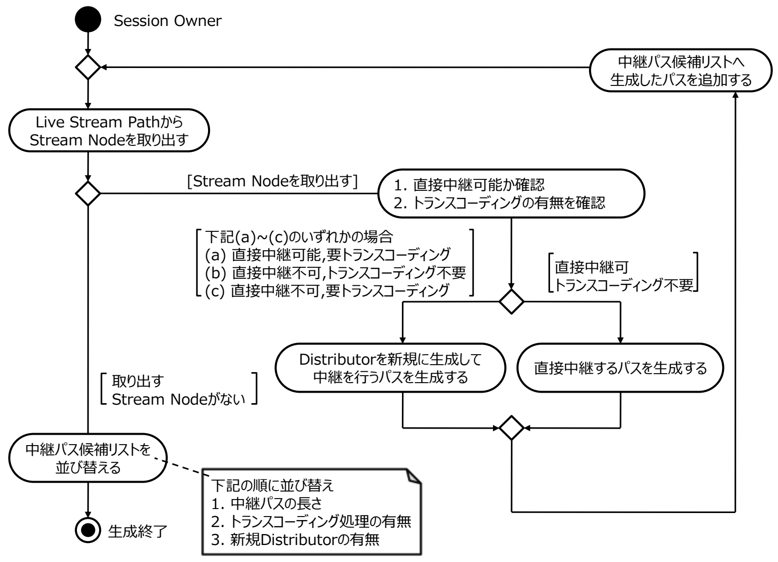


図 5　中継パス候補リストを生成

スコーディングを利用する場合，新規に Dist.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 Dist.には，a)トランスコーディングを行う Dist.，b)新規 Dest.へ中継可能な UT 上で稼働する Dist.，c)新規 Dest.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 Dist.の 3 種類がある．これらの Dist.を，Stream Node と新規 Dest.間に配置することにより通信環境に応じた配信セッション構成を実現する．なお，中継パス候補は各 Stream Node から 1 種類生成される．つまり，中継パス候補の数は, Live Stream Path に存在する Stream Node の個数と一致する. Live Stream Path に存在する Stream Node を全て確認し，中継パス候補を生成し終えたら，次に，ライブ中継処理を利用者の通信環境に適合させるために中継パス候補リストの並び替えを行う．中継パス候補リストの並び替えは，評価値として設けた，1)中継パスの長さ(Stream Node のホップ数), 2)トランスコーディング処理の有無, 3)新規 Dist.の有無に基づいて行う．なお，評価値は，中継遅延の最小化，資源利用の効率化など目的に応じて優先度を変更させる．

(STEP2) 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．

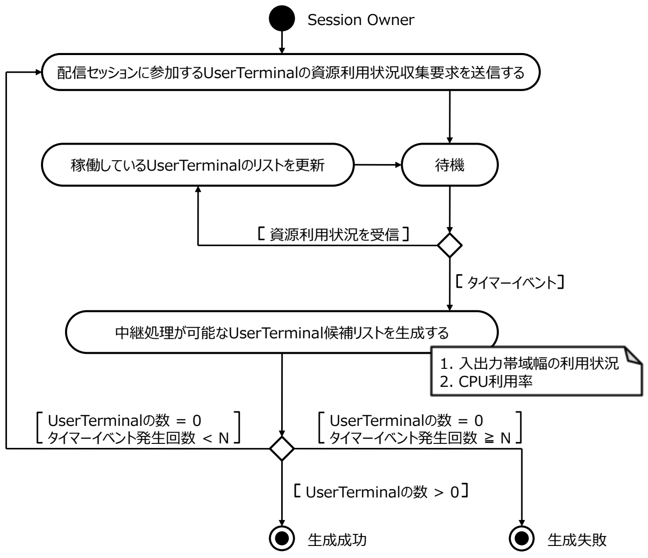


図 6　User Terminal の資源利用状況の収集

(STEP3) 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，新規 Dest.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 Dist.の利用可否を確認する．新規 Dist.を利用する場合, Dist.を稼働させる UT の選択を行う. UT の選択には, 1)新規 Dest.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

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-DPS-146 No.17
Vol.2011-CSEC-52 No.17
2011/3/10

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，新規 Dest.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)中継に必要な入力･出力帯域幅を確保できない，2)新規 Dist.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．

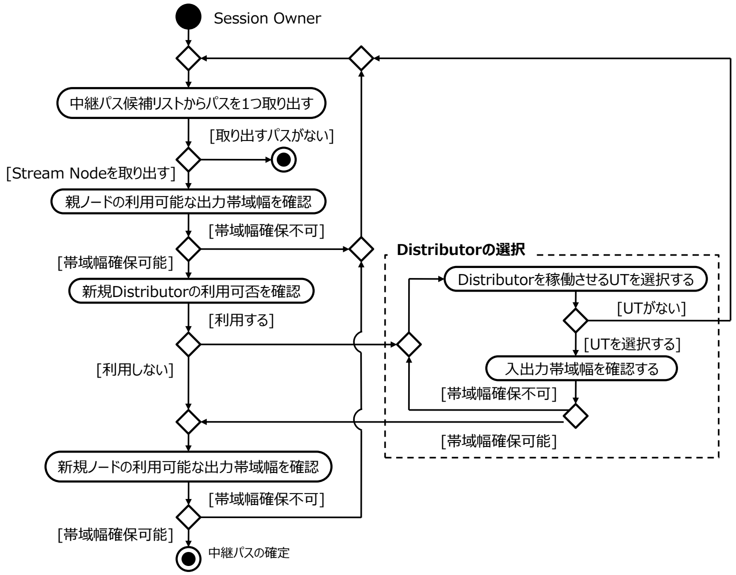


図 7　中継パスの選択

4. プロトタイプシステム

第 3 章で述べた中継パス選択手法を用い，環境適合型ライブ中継を実現するためのプロトタイプシステムを図 8 に示す．本システムの機能は 4 つに大別される．Control Interface は，本システムにおけるユーザインタフェースであり，利用者からのイベントに応じて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，適切な端末にライブ中継処理を割り当てる．Stream Connection Controller では，ストリームの受信と削除要求，中継パスの管理，および映像通信サブシステムである MidField System[7]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実現する MidField System 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新たに設けることで分散協調型のライブ中継を実現する．

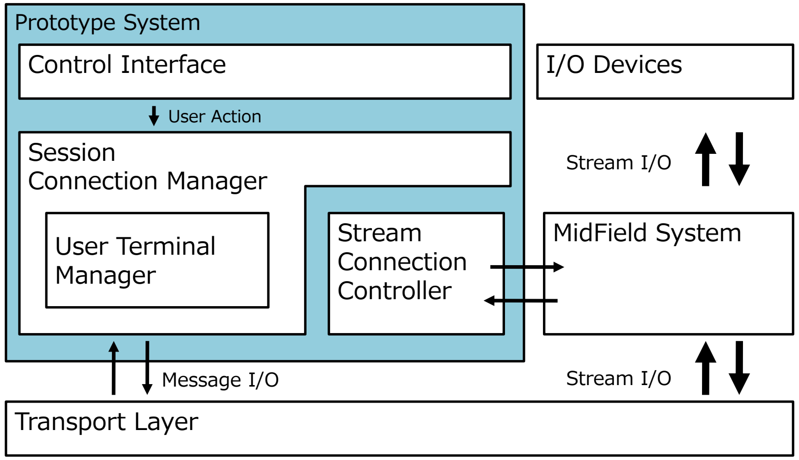
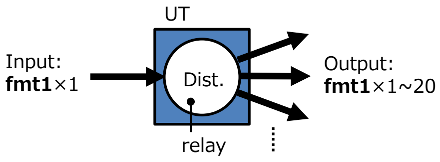


図 8　プロトタイプシステム

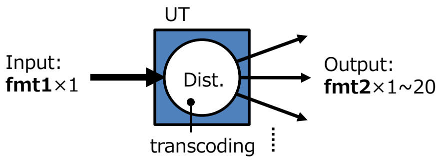
5. プロトタイプシステムにおける基本性能評価実験

基本性能評価実験では，プロトタイプシステムで利用する端末の基本的なライブ中継処理性能を測定した．今回の実験では，性能の異なる端末上に Dist.を配置した場合のライブ中継処理性能を確認するために，評価結果は，図 9 に示すように 3 種類のケースに着目した．また，Dist.として利用した機材は，DELL Studio XPS 1645(CPU: Intel Core i7 Q820 1.73GHz, NIC: Broadcom NetLink Gigabit Ethernet), Lenovo ThinkPad X61(CPU: Intel Core2 Duo T7250 2.00GHz, NIC: Intel 82566MM Gigabit Network Connection)を用意し，それぞれ端末 1，端末 2 と位置付けた．また，撮影機材は Microsoft LifeCam Cinema(1280x720,15fps)を用い，ストリームのフォーマット設定は，fmt1(WMV, VBR, Quality:100, Keyframe:500ms) と fmt2(WMV, VBR, Quality:50, Keyframe:500ms)を用意し，それぞれ HD Video Stream, SD Video Stream と位置付けた．

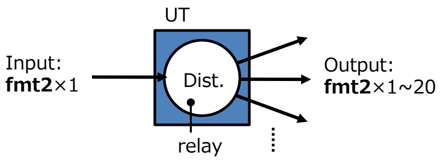
ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan



Case1 Input/Output: fmt1x1/fmt1x1~20



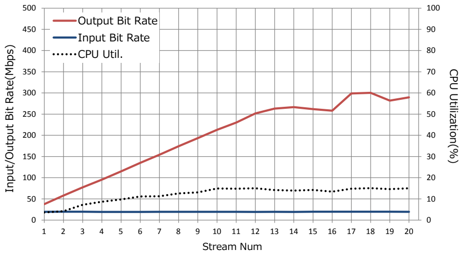
Case2 Input/Output: fmt1x1/fmt2x1~20



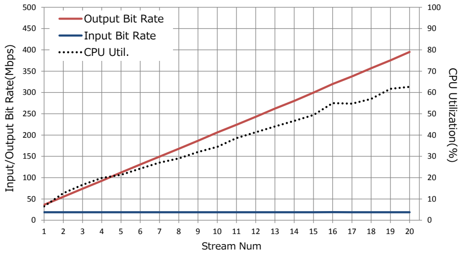
Case3 Input/Output: fmt2x1/fmt2x1~20

図 9　性能評価実験における入出力処理

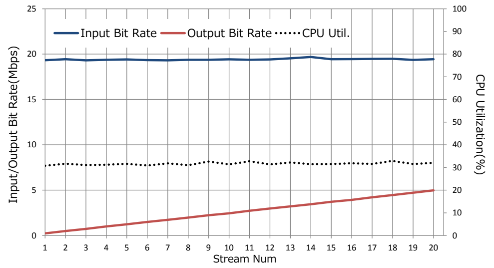
基本性能評価実験結果を図 10 に示す．まず初めに，Case1 の性能評価結果を通して，図 10.Case1 の端末 1 は fmt1 を 12 本(約 250Mbps)，図 10.Case1 の端末 2 は fmt1 を 20 本(約 400Mbps)中継することが可能であった．ここで，端末 1 と 2 におけるストリーム中継可能数の違いは，搭載している NIC の通信性能の差によるものだと考えられる．また，端末 2 の fmt1 中継可能最大数は，CPU 負荷の増加率から，32 本未満であれば中継することが可能であると考えられる．次に，Case2 の性能評価結果を通して，端末 2 でトランスコーディング処理を行った場合，fmt1 をリアルタイムに処理することが出来ないことがわかった．また，図 10.Case2 の端末 1 では，トランスコーディング処理の CPU 負荷は高いが，2 本目以降は分配のみの処理となり，分配数が増えても CPU 負荷の増加率は低いことを確認した．最後に，Case3 に関しては，入力・出力ともにビットレートが低いので, 20 本のストリームを送信するのは，既存の端末でも十分可能であ



Case1　端末 1



Case1　端末 2



Case2　端末 1

図 10　性能評価実験結果

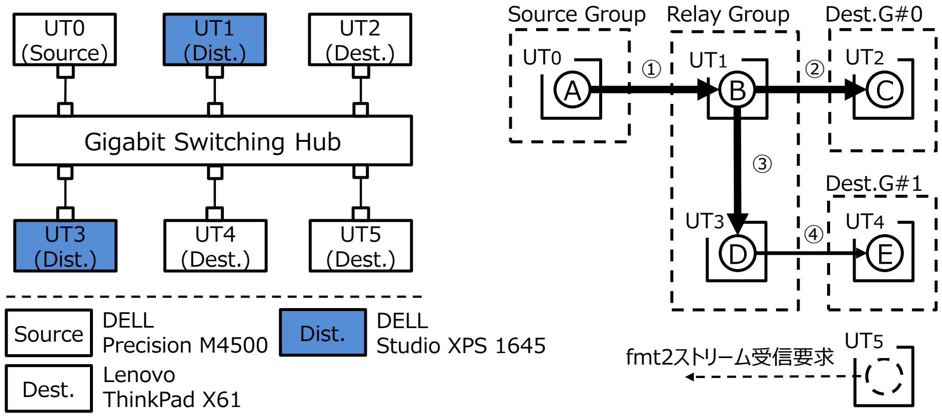
ることを確認した．

性能評価実験を通して, Case1 の端末 1 は, 13 本目以降からパケットロスが発生したため, 1Gbps の NIC を搭載しているものの 250Mbps 程度までしか中継処理が出来ないことを確認した．また，端末 2 は，端末 1 と比較した場合に CPU 利用率の増加が顕著であることを確認した．そして，Case2 の端末 2 は，リアルタイムにトランスコーディング処理を行うことが出来ないことも確認した．したがって，中継パスを選択する際の指標として, CPU 利用率や入出力ビットレート以外に，端末の「属性」を設定する必要があると考えられる．端末の属性は，1)中継処理に適した端末(通信能力が高い NIC を搭載した端末)，2)トランスコーディングに適した端末(処理能力が高い CPU を搭載した端末)が挙げられる．そして，この属性を取り入れた中継パス選択アルゴリズムは今後検討されるべきである．しかしながら，性能評価実験の結果から，中継パス候補に基づいた配信セッション構成機能と，中継パス候補リストの並び替えによる有効性を確認するための実験は行えることがわかったので，機能評価実験を行った．

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

6. プロトタイプシステムの機能評価実験

プロトタイプシステムにおける，中継パス候補に基づいた配信セッション構成機能と，中継遅延の最小化や資源利用の効率化を目的として中継パス候補リストを並び替えた場合の有効性を評価するための実験環境を図 11(a)に示す．1 台の Gigabit Switching Hub に 1 台の Source(UT0)と 2 台の Dist.(UT1,UT3)，3 台の Dest.(UT2,4,5)を接続した環境で，図 11(b)に示す配信セッションを構成した．配信セッションの初期状態構成シナリオは(S1)~(S5)の通りである．



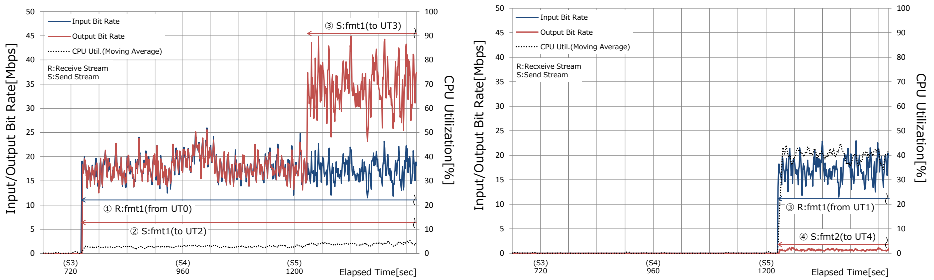
(a)物理構成　　(b)配信セッション構成

図 11　実験環境

(S1)UT0 は fmt2 の送信設定を行う
(S2)UT1 と UT2 が配信セッションに参加
(S3)UT2 が fmt1 受信要求を発行
(S4)UT3 と UT4 が配信セッションに参加
(S5)UT4 が fmt2 受信要求を発行

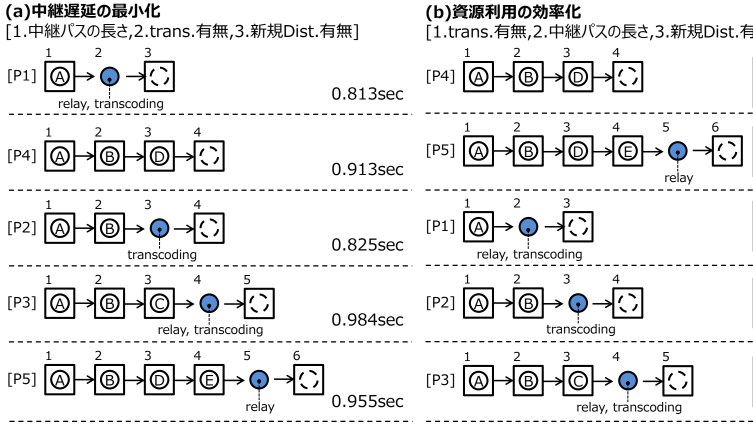
また，機能評価実験で利用した撮影機材とビデオストリームのフォーマット設定は，第 5 章の性能評価実験と同様である．機能評価実験では，映像ソースとしてスポーツの試合中継での利用を想定し，録画されたサッカーの試合を撮影した．

初期状態構成シナリオに基づきプロトタイプシステムを動作させた結果を図 12 に示す．図 12(a)の(S3)から，新規 Dest.(UT2)へ中継可能な UT 上で稼働する Dist.が UT1



(a)CPU 利用率と入出力ビットレート(UT1)　　(b)CPU 利用率と入出力ビットレート(UT3)

図 12　機能評価実験の初期状態



	UT1	UT3(Dist.)
CPU*	5.35%	34.56%
I/O*	18.18/36.35	18.22/1.01

	UT1	UT3(Dist.)
CPU*	4.56%	35.05%
I/O*	17.75/35.48	18.32/0.98

	UT1(Dist.)	UT3
CPU*	37.91%	34.78%
I/O*	18.15/36.81	18.19/0.5

	UT1(Dist.)	UT3
CPU*	38.55%	35.34%
I/O*	18.28/37.08	18.31/0.51

	UT1(Dist.)	UT3
CPU*	37.78%	34.72%
I/O*	35.66/36.16	17.82/0.49

(a)中継遅延の最小化　　(b)資源利用の効率化

図 13　機能評価実験結果

に配置されたことにより，UT1 は UT0 からの fmt1 を受信し，UT2 に中継し始めたことを確認した．図 12(b)の(S5)から，新規 Dest.(UT4)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 Dist.が UT3 に配置されたことにより，UT3 は UT1 から fmt1 を受信し，fmt2 にトランスコーディングしながら UT4 に中継し始めたことを確認した．(S1)~(S5)を通して，プロトタイプシステムにおける中継パス候補リストに基づいて配信セッションを構成する機能の動作が確認できた．ここで，中継パス候補リストの並び替えによる有効性を評価するために，(S1)~(S5)で構成された配信セッションに新規

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan

Dest.(UT5)を追加し, UT0 に fmt2 受信要求を発行した際の動作を確認した.

(a)中継遅延の最小化

中継遅延の最小化を目的として中継パス候補リストを並び替えた場合の実験結果は図 13(a)の通りである. 実験結果から, [P1]が選択されることにより最小中継遅延で中継が可能であることを確認した. また, [P4]や[P2]が選択されることで, [P3]と[P5]より中継遅延を抑えることが確認できる. しかしながら, Stream Node のホップ数が同一の[P4]と[P2]を比較した場合, トランスコーディング処理をしている[P2]の中継遅延が短いことを確認した. これは, [P2]の新規 Dist.が UT1 に配置されたことで, UT のホップ数が[P4]より短くなったことが原因だと考えられる. そして, [P3]と[P5]を比較した場合, [P3]より[P5]の方が Stream Node のホップ数が大きいものの, 中継遅延が短いことを確認した. これは, [P3]ではトランスコーディング処理をしているため, [P5]より中継遅延が長くなったと考えられる.

(b)資源利用の効率化

資源利用の効率化を目的として中継パス候補リストを並び替えた場合の実験結果は図 13(b)の通りである. 実験結果から, [P4]と[P5]はトランスコーディング処理を行わない中継パスのため, [P1]~[P3]と比較した場合, UT1 の CPU 負荷を抑えることが可能であることを確認した. これにより, 負荷分散を考慮した配信セッションの構成が可能であると考えられる.

さらに, 中継遅延の最小化と資源利用の効率化に応じた配信セッション構成が可能であることを確認するために, 中継遅延の最小化における最良のパスである[P1]と, 資源利用の効率化における最良のパスである[P4]の比較を行った. まず, [P1]は fmt1 から fmt2 への変換が必要であり, Dist.に選択された UT1 の CPU 利用率が増加したものの, 中継遅延は[P4]より短いことを確認した. また, [P4]は, 中継遅延は[P1]より長いものの, トランスコーディング処理を行わないため, CPU 利用率を抑えることが可能であった.

以上, 機能評価実験の結果を通して, 提案手法を用いることにより, 利用者の通信環境や目的に応じて配信セッションを構成することが可能であると考えられる. しかしながら, 中継遅延の最小化の実験結果から, Stream Node のホップ数が短い順に並び替えたとしても, 中継遅延順にならない場合があることもわかった. したがって, Stream Node のホップ数だけでなく, 実際に中継処理が行われる UT のホップ数やトランスコーディングにかかる処理時間を考慮して中継パス候補を選択する必要があることがわかった.

7. まとめと今後の課題

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基本構成と, 構成例を述べた. また, 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. さらに, 環境適合型ライブ中継を実現するためのプロトタイプシステムを実装し, 端末上で Dist.を動作させた場合のライブ中継処理性能を確認するために, 基本性能評価実験を行った. そして, 基本性能評価実験を踏まえて, 機能評価実験を行い, 中継パス候補と資源利用状況に基づいて Dist.を配置する端末を選択し, 各端末間でストリームの中継が行われたことが確認できた. また, 中継パス候補リストを並び替えることにより, 利用者の通信環境や目的に応じた配信セッションを構成することが可能であると考えられる.

今後は, 第 5 章や第 6 章での検討項目を踏まえて, より利用者の通信環境や目的に応じた配信セッション構成を可能とする中継パス選択アルゴリズムを考案する. また, プロトタイプシステムは, 利用可能帯域幅の上限値が既知であることを前提としているが, 利用可能帯域幅の上限値を動的に測定する手法[8]を導入し, 測定結果に応じて中継パスを適宜変更する機能の実現も今後の課題である.

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] Koji, Hashimoto.; Yoshitaka, Shibata.: MidField: An Adaptive Middleware System for Multipoint Digital Video Communication, Digital Video, Edited by: Floriano De Rango, Publisher:INTECH, ISBN 978-953-7619-70-1, pp.263-284, Feb. 2010. (http://sciyo.com/books/show/title/digital-video)
[8] Vinay J. Ribeiro.; Rudolf H. Riedi.; Richard G. Baraniuk.; Jiri Navratil.; Les Conttrell.: pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths

ⓒ 2011 Information Processing Society of Japan