

モバイル環境における端末間直接通信を用いたマルチカメラによるライブ配信システムの提案

今雪 聡太¹ 後藤 佑介¹

概要：モバイル端末の普及および無線通信技術の発達により、モバイル端末に搭載されたカメラで撮影した映像のリアルタイム配信（以下、ライブ配信）を行うユーザが増加している。複数のユーザが各地点で撮影した映像を用いてマルチカメラによるライブ配信を行う場合、現状の配信システムでは、映像を配信用計算機に送信するための中継用機材、およびライブ配信を行うために十分な帯域幅をもつネットワーク環境が必要となり、実現は難しい。本研究では、モバイル環境において端末間直接通信を用いたマルチカメラによるライブ配信システムを提案する。提案システムでは、複数のモバイル端末による端末間の自動接続機能、および映像配信の中継機能を実現することで、ユーザはライブ配信における負担が減少する。また、端末間直接通信を行うことで、データ配信で使用する帯域幅の増加を抑える。さらに、ライブ配信中に映像の切替えを行うビデオスイッチング機能を実現することで、マルチカメラによるライブ配信を行う。今回、提案システムのプロトタイプを構築し、実現した機能を用いて、複数のモバイル端末のカメラで撮影した映像をライブストリーミングサービスで視聴できることを確認した。

1. はじめに

スマートフォンやタブレット端末といったモバイル端末の普及や無線通信技術の発達により、Twitch [1] および YouTube Live [2] に代表されるインターネットを利用したライブストリーミングサービスが広まり、モバイル端末に搭載されたカメラで撮影した映像のリアルタイム配信（以下、ライブ配信）を行うユーザが増加している。例えば、コンサートやスポーツの会場で、複数のユーザが各地点で撮影した映像を用いてマルチカメラによるライブ配信を行う場合、現状の配信システムでは、映像を配信用計算機に送信するための中継用機材、およびライブ配信を実現するためのネットワーク環境が必要となる。また、複数地点からの映像を使ったライブ配信では、配信に必要な機材数が多くなるため、機材の運搬にかかる時間が長大化し、機材同士の接続における手間が増加する。以上より、現状では、マルチカメラによるライブ配信を実現することは難しい。

本研究では、マルチカメラによるライブ配信において、ユーザの負担を削減し、より簡易にライブ配信を行うため、モバイル環境において端末間直接通信を用いたマルチカメラによるライブ配信システムを提案する。提案システムでは、複数のモバイル端末による端末間の自動接続機能、

映像配信の中継機能、およびビデオスイッチング機能を実現することで、マルチカメラによるライブ配信を行う。また、端末間直接通信によるデータ配信を行うことで、ネットワーク上で使用する帯域幅の増加を抑える。

2. 関連研究

2.1 ライブ配信のためのシステムおよびアプリケーション

モバイル端末を用いた複数のカメラによるライブ配信について、モバイルネットワークに接続した複数のモバイル端末から配信された映像を屋外で編集しながらライブ配信を行うシステム [3] が挙げられる。このシステムでは、ユーザに配信する映像を決定するディレクタが遠隔で撮影者に指示し、撮影者は 3G ネットワークに接続したモバイル端末を用いて、移動しながら所望の映像を撮影する。

Switcher Studio [4] は、iOS デバイスのカメラで撮影された映像のライブ配信が可能なアプリケーションである。配信者は、最大 4 台の iOS デバイスを Wi-Fi ネットワークに接続することで、ユーザに配信する映像をライブ配信中に切り替えることができる。また、Wi-Fi ネットワークに接続することで、配信者は屋内だけでなく屋外で複数のカメラを用いてライブ配信を行うことができる。

複数のカメラや中継用機材を用いた映像配信が困難な配信者は、これらのシステムおよびアプリケーションを用いて、ライブ配信を容易に行うことができる。一方で、ライ

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Nature Sciences and Technology,
Okayama University

ブ配信中にカメラとして使用しているモバイル端末を他の端末に変更する場合、および使用中の端末ネットワークに対して追加もしくは離脱する場合を考慮しておらず、ネットワークに接続するモバイル端末の配信環境は、ライブ配信の開始前に決定する必要がある。このため、ライブ配信中にモバイル端末の配信環境を変更することは難しい。

2.2 ネットワーク環境を考慮した映像中継に関する研究

スマートフォン、タブレット型端末、およびラップトップ型計算機といった複数のモバイル端末で動画データをシームレスに視聴する方法として、N-Screen 技術が注目されている [5,6]。N-Screen 技術とは、複数のデバイスが同じコンテンツをダウンロードすることで、複数のユーザが同時にコンテンツを体験できる技術である。例えば、スマートフォンやタブレット型端末を用いて、複数のユーザがテレビ映像を同時に視聴できる。しかし、Wireless Local Area Network (WLAN) 内で N-Screen 技術を備えたモバイル端末が動画データを共有する場合、デバイス数の増加に応じて動画再生の中断が頻繁に発生する。これは、すべての端末が Access Point (AP) に接続し、無線チャネルの帯域幅を共有することで、各モバイル端末のスループットが低下するためである [7-11]。

Kwon らは、スケーラブルビデオストリーミング技術に注目し、モバイル端末を用いた WLAN における端末数の増加を考慮したビデオストリーミングの中継方法 [12] を提案している。提案方式は、Wi-Fi Direct [13] を利用した WLAN とは異なるネットワーク上におけるビデオストリーミング、および動画データのダウンロードレートの制御をそれぞれ行うことで、モバイル端末におけるスループットの低下を防ぐ。これにより、WLAN においてモバイル端末の接続数が増加しても再生中の途切れが少ないビデオストリーミングを実現している。Wi-Fi Direct は、ソフトウェア AP 機能を用いて端末を WLAN の AP として利用することで、端末同士の直接接続を実現する技術である。

本研究では、モバイル環境における端末間通信の一部で直接通信を利用し、端末間で映像を送受信することで、提案システムにおいてネットワーク上で使用する帯域幅の増加を抑える。これにより、ネットワーク環境が無い場所でライブ配信を行う場合でも、複数の映像を送受信するために十分な帯域幅を確保したネットワーク環境を構築する必要が無く、配信者は容易にライブ配信を行うことができる。

2.3 課題

筆者らの研究グループでは、これまでにライブ配信の準備および運用にかかる負担を削減するシステム [14,15] を提案してきた。これらのシステムは、配信側の複数端末間で動的に接続する自動接続機能、配信中に映像の切替えを

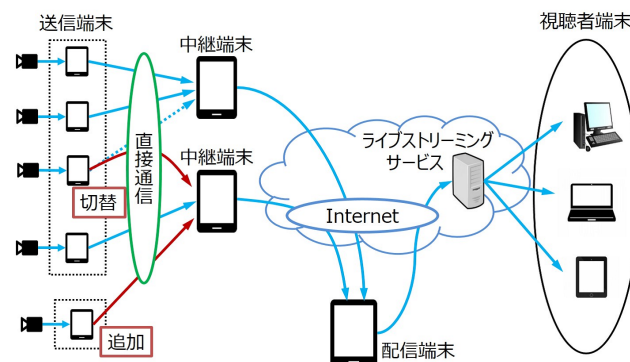


図1 提案システムの構成

行うビデオスイッチング機能、およびモバイル端末を用いて映像の送受信とストリーミングサービスによる配信を行うビデオストリーミング機能の3種類で構成されている。これらの機能を組み合わせることで、ライブ中継機能を動的に構成でき、配信者はライブ配信の準備および運用にかかる負担を削減できる。

論文 [14] の研究では、ライブ中継の処理性能が高いノート型計算機を用いて、ライブ配信システムのプロトタイプを構築した。論文 [15] の研究では、実際の利用環境を想定して、ノート型計算機に比べて処理性能が低いモバイル端末を用いたシステムの設計、実装を行い、プロトタイプを構築した。しかし、論文 [15] の研究では、カメラの映像を送信する端末が1台で構成されており、マルチカメラによるライブ配信に対応していなかった。また、送信端末からの映像を中継する中継端末において、映像の送受信処理およびプレビュー表示の処理で発生する負荷が高くなった。このため、モバイル端末で映像を途切れなく中継できる機能を実装し、映像の送受信処理、およびプレビュー表示の処理を改良する必要がある。本研究では、複数の送信端末と映像の切替えを行うビデオスイッチング機能により、マルチカメラによるライブ配信に対応したプロトタイプを構築する。

3. 提案システム

3.1 システム構成

本章では、モバイル環境における端末間直接通信を用いたマルチカメラによるライブ配信システムについて説明する。提案するシステムの構成を図1に示す。

本システムは、送信端末、中継端末、および配信端末の3種類で構成される。送信端末は、カメラで撮影した映像を中継端末に送信する。中継端末は、複数の送信端末から映像を受信し、受信した映像から選択した映像を配信端末に送信する。送信端末と中継端末の間は、直接通信を用いる。直接通信を利用することで、複数の映像を送受信するために十分な帯域幅を確保したネットワークを構築する必要が無く、配信者はライブ配信の運用における負担を削減でき

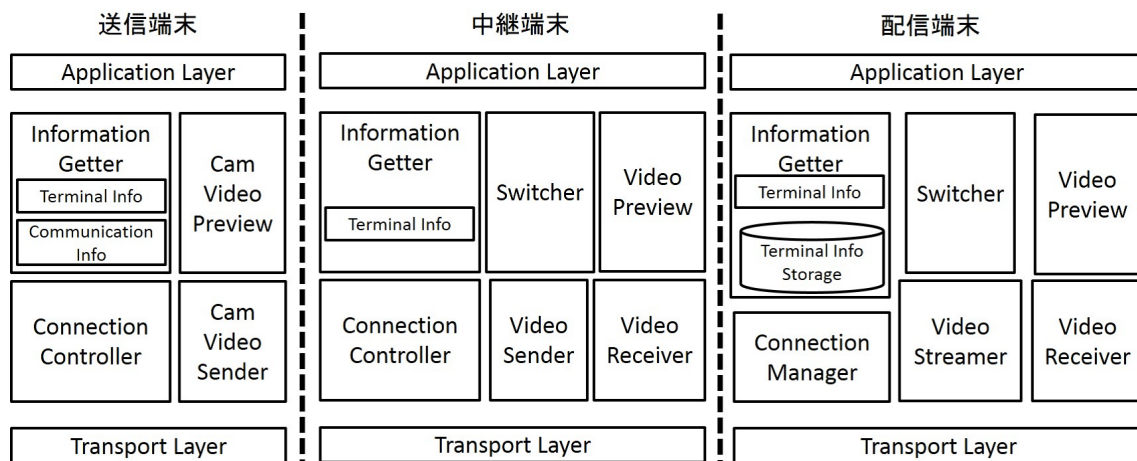


図 2 提案システムにおける端末の実現方式

る。配信端末は、複数の中継端末から映像を受信し、受信した複数の映像のうち、配信者がスイッチングにより選択した映像をライブストリーミングサービスに送信する。このとき、配信端末はネットワーク上で端末間の接続を管理するため、各端末から他の端末との接続に用いる自身の端末情報を収集し、他の端末に送信する。

ライブ配信を視聴するユーザ（以下、視聴者）は、ライブストリーミングサービスからインターネットを介して、自身の端末で映像を視聴できる。

また、提案システムでは、新規の送信端末を追加することで、ライブ配信中に別の映像を配信する。新規の送信端末は、中継端末に関する情報を配信端末から受信することで、ライブ配信を中断せずに所望の中継端末と接続できる。このとき、新規の送信端末は、配信端末からすべての中継端末の情報を受信するため、直接通信が可能な範囲に存在する任意の中継端末に接続できる。

3.2 提案システムを構成する機能

ライブ配信における配信者の負担を削減するため、提案システムでは3種類の機能を実現する。以下の項で、順番に説明する。

3.2.1 自動接続機能

自動接続機能では、映像の送信、中継、および配信を行う複数の端末を動的に接続することで、ライブ配信中にネットワークに接続する端末を他の端末に変更したり、ネットワーク範囲外の端末を新たに追加できる。また、端末間の直接通信を用いて送信端末と中継端末を接続することで、映像配信およびデータの送受信において一定の帯域幅を確保する必要がなく、ネットワーク全体の負荷を削減できる。

3.2.2 ビデオスイッチング機能

ビデオスイッチング機能では、ライブ配信中に、中継端末が複数の送信端末から受信した複数の映像のうち、配信端末に送信する映像を切り替えることができる。同様に、

配信端末がライブ配信中に複数の中継端末から受信した複数の映像のうち、ライブストリーミングサービスに送信する映像を切り替えることができる。提案システムでは、ビデオスイッチング機能を用いることで、映像のスイッチングが可能な中継用機材を導入すること無く、複数のカメラによるライブ配信が可能である。

3.2.3 ビデオストリーミング機能

ビデオストリーミング機能では、送信端末はカメラで撮影した映像を中継端末に送信する。また、中継端末は送信端末から受信した映像を配信端末に送信する。さらに、配信端末が映像をライブストリーミングサービスに送信することで、インターネットを介して視聴者端末に映像を配信する。以上のように、提案システムでビデオストリーミング機能を実現することで、モバイル端末を用いた映像の中継、およびライブ配信が可能になる。

4. 設計

4.1 実現方式

提案システムで実装する3種類の端末の実現方式を図2に示す。図2において、送信端末では、他の端末との接続に必要な情報を取得して設定する処理、他の端末と通信を行う処理、カメラの映像をプレビューで表示する処理、およびカメラの映像を中継端末に送信する処理の4種類を実装する。

次に、中継端末では、他の端末との接続に必要な情報を取得して設定する処理、他の端末と通信を行う処理、複数の送信端末から映像を受信する処理、配信端末に映像を送信する処理、受信した映像をプレビューで端末の画面上に表示する処理、および受信した複数の映像から送信する映像を選択する処理の6種類を実装する。

最後に、配信端末では、他の端末との接続に必要な情報を取得して設定する処理、他の端末の情報を保存する処理、他の端末と通信を行う処理、複数の中継端末から映像を受

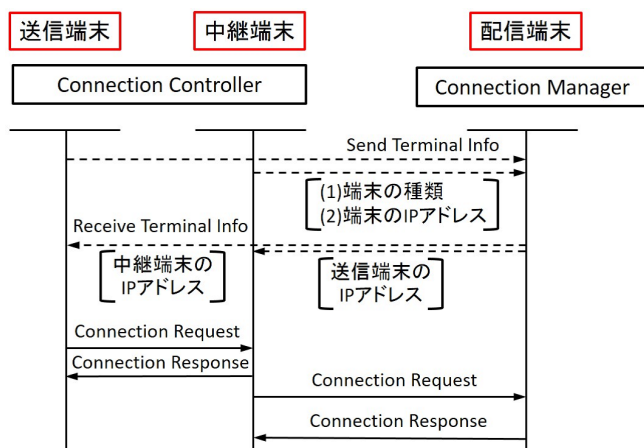


図3 端末情報に基づく自動接続における処理流れ

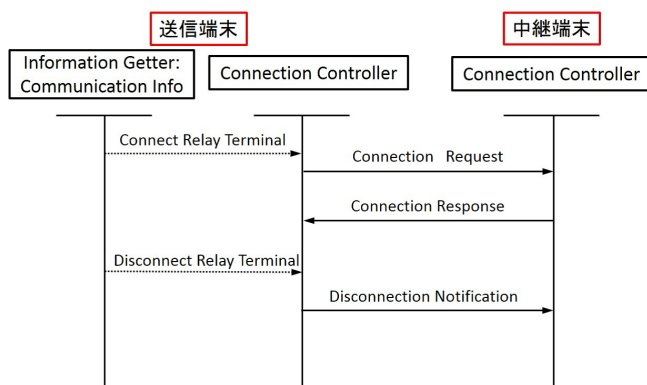


図4 接続先となる中継端末の切替えにおける処理流れ

信する処理、ライブストリーミングサービスに映像を送信する処理、受信した映像をプレビューで端末の画面上に表示する処理、および受信した複数の映像から送信する映像を選択する処理の7種類を実装する。

4.2 自動接続機能の処理流れ

送信端末、中継端末、および配信端末が自動接続を行うための処理流れを図3に示す。送信端末および中継端末は、Connection Controllerを用いて配信端末とそれぞれ通信を行い、事前に設定した端末情報を送信する。端末情報は、自身の端末が送信端末であるか、配信端末であるかという情報、および自身の端末のIPアドレスで構成される情報である。配信端末は、送信端末および中継端末から受信した端末情報をTerminal Info Storageに保存し、Connection Managerを用いて、映像配信で必要となる情報を各端末に送信する。また、送信端末および中継端末は配信端末から受信した情報を用いて映像の送信先となる端末にそれぞれ接続する。

次に、直接通信が可能な範囲で送信端末が映像配信先となる中継端末を切り替える場合、送信端末と中継端末における処理流れを図4に示す。送信端末は、自身の端末と直接通信が可能なすべての中継端末から端末間の通信状

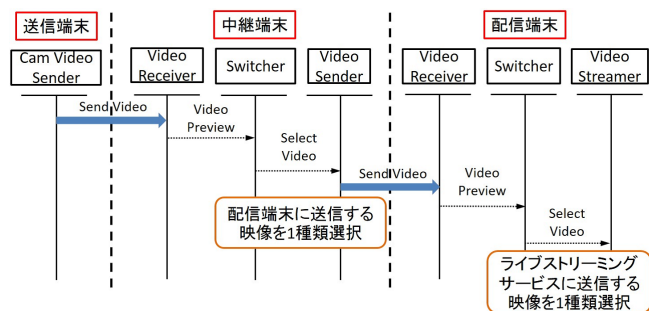


図5 ビデオスイッチング機能およびビデオストリーム機能の処理流れ

態を定期的に取り得する。通信状態は、送信端末と中継端末におけるReceived Signal Strength Indication (RSSI)に基づく。RSSIとは、無線通信における受信信号強度であり、RSSIの値が大きいほど通信状態が良い。直接通信が可能な範囲内に、送信端末が接続する中継端末のRSSIの値より大きい別の中継端末が存在する場合、送信端末はConnection Controllerを用いて中継端末との接続を中止する。この後、RSSIの値を利用して、接続を所望する中継端末の近くに移動することで、送信端末は接続先となる中継端末を切り替えることができる。

4.3 ビデオスイッチング機能の処理流れ

中継端末および配信端末で映像の切替えを行うビデオスイッチング機能の処理流れを図5に示す。映像の切替えを行うSwitcherは、中継端末および配信端末で動作する。中継端末および配信端末は、受信した複数の映像をVideo Previewで端末の画面上にすべて表示し、表示した複数の映像から1種類を選択する。

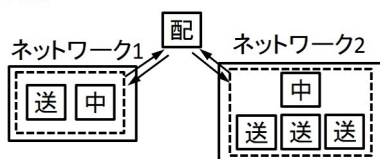
4.4 ビデオストリーミング機能の処理流れ

図5を用いて、送信端末から中継端末および配信端末を介して、ライブストリーミングサービスに映像を送信するビデオストリーミング機能の処理流れを説明する。送信端末では、Cam Video Senderを用いて、カメラで撮影した映像を中継端末に送信する。中継端末では、Video Receiverを用いて、送信端末から映像を受信する。また、中継端末は、Video Senderで受信した複数の映像からSwitcherで選択した1種類の映像を配信端末に送信する。配信端末では、Video Receiverを用いて、中継端末が送信した映像を受信する。また、配信端末は、Video Streamerで受信した複数の映像から、Switcherで選択した1種類の映像をライブストリーミングサービスに送信する。

4.5 提案システムを用いたライブ配信の処理手順

4.2, 4.3, および4.4節で述べた機能を組み合わせることで、モバイル端末の直接通信を用いたマルチカメラによるライブ配信を実現する。提案システムを用いたライブ配信

手順1



手順2

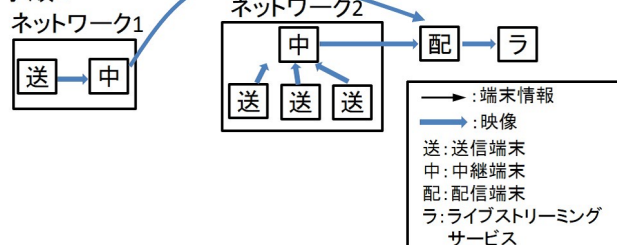


図 6 提案システムを用いたライブ配信における処理手順の例

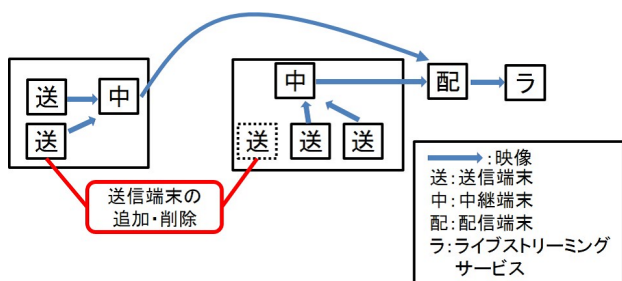


図 7 送信端末の接続先となる中継端末の切替えにおける各端末の処理

における処理手順の例を図 6 に示す。図 6 の例では、送信端末 4 台、中継端末 2 台、および配信端末 1 台でシステムを構成する。ネットワーク 1 では中継端末 1 台と送信端末 3 台、ネットワーク 2 では中継端末 1 台と送信端末 1 台でそれぞれ接続する。

手順 1 において、配信端末は、送信端末および中継端末から端末情報を受信し、各端末に送信する。手順 2 において、各端末は、配信端末から受信した端末情報をもとに、送信端末と中継端末、および中継端末と配信端末との間で映像の送信を開始する。送信端末は、直接通信を利用して、中継端末に無線で映像を送信する。中継端末は、インターネットを介して配信端末に映像を送信する。中継端末が複数の送信端末から複数の映像を受信している場合、中継端末は、配信端末に送信する映像を 1 種類選択する。

次に、ライブ配信中に送信端末が接続する中継端末を切り替える場合における処理の例を図 7 に示す。図 7 において、送信端末が接続先の中継端末を切り替える場合、自動接続機能を用いて送信端末の接続先をネットワーク 2 からネットワーク 1 に変更することで、ネットワーク 2 の中継端末からネットワーク 1 の中継端末に接続先を切り替える。以上より、ライブ配信中に、ネットワーク上で端末を動的に追加、および削除できる。

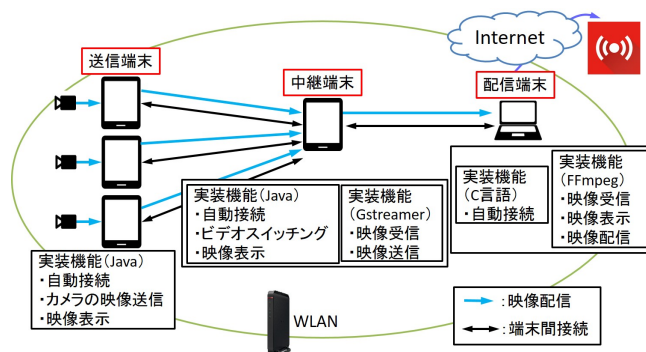


図 8 提案システムのプロトタイプにおける各端末の機能

表 1 端末の性能

端末の種類	送信端末 1,2	送信端末 3	中継端末	配信端末
計算機	ASUS Z380M	HUAWEI MediaPad M5	HUAWEI MediaPad M5	ASUS Vivobook E200HA
OS	Android 7.0	Android 8.0	Android 8.0	Windows 10
CPU	MediaTek MT8163	HUAWEI Kirin 960	HUAWEI Kirin 960	Intel Atom x5-Z8300
クロック	1.3 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	1.44 GHz
メモリ	2.00 GB	4.00 GB	4.00 GB	2.00 GB
WLAN 規格	IEEE 802.11 a/b/g/n	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac

5. 実装

5.1 提案システムのプロトタイプの概要

図 8 に、提案システムのプロトタイプにおける各端末の機能を示す。送信端末は Android 端末 3 台、中継端末は Android 端末 1 台、配信端末はノート型計算機 1 台を用いて、各端末は WLAN で接続する。また、表 1 に、送信端末、中継端末、および配信端末の性能を示す。

提案システムのプロトタイプにおいて、送信端末では、自動接続機能における処理の一部、カメラで撮影した映像の送信処理、および映像の表示処理を Java 言語で実装した。中継端末では、自動接続機能における処理の一部と映像の表示処理、およびビデオスイッチング機能を Java 言語で実装し、Gstreamer [16] を用いて映像の受信処理、および送信処理を実装した。配信端末では、自動接続機能における処理の一部を C 言語で実装し、FFmpeg [17] を用いて映像の受信処理と映像の表示処理、およびライブストリーミングサービスによる映像配信処理を実装した。

実装した自動接続機能における処理の一部では、各端末の起動後に、送信端末と中継端末、および中継端末と配信端末がそれぞれ動的に接続できる。送信端末は、端末に搭載されているカメラで撮影した映像を中継端末に送信する。配信端末は、インターネットを介して、ライブストリーミングサービスである YouTube Live [2] に映像を送信する。

ライブ配信中に端末を動的に追加および削除する機能は、今回実装した提案システムのプロトタイプにおける性能評価の結果をもとに、今後実装する。

6. まとめ

本研究では、マルチカメラによるライブ配信で発生する負担を削減し、より簡易にライブ配信を行うため、モバイル環境における端末間直接通信を用いたマルチカメラによるライブ配信システムを提案した。はじめに、モバイル端末環境におけるマルチカメラによるライブ配信を実現するための課題を挙げた。また、配信側の複数端末間で動的に接続する自動接続機能、ライブ配信中に映像の切替えを行うビデオスイッチング機能、およびモバイル端末を用いて映像の送受信とストリーミングサービスによる配信を行うビデオストリーミング機能の3種類を実現するシステムを実現した。さらに、提案システムのプロトタイプを構築し、ビデオスイッチング機能により、複数の送信端末のカメラで撮影した映像が中継端末および配信端末を介して、ライブストリーミングサービスであるYouTube Liveから視聴者端末で視聴できることを確認した。

今後の予定として、送信端末と中継端末で直接通信を行う機能の実装、送信端末と中継端末の通信状態に応じて接続先を切り替える機能の実装、屋外における提案システムの実証実験、およびより多くのモバイル端末でネットワークを構成したシステムによる実証実験を行う。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・基盤研究(C)(18K11265, 16K01065)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Twitch (online), < <https://www.twitch.tv/> > (参照 2018-8-3) .
- [2] Live - YouTube (online), < <https://www.youtube.com/live/> > (参照 2018-8-3) .
- [3] Engstrom, A., Zoric, G., Juhlin, O., and Toussi, R., "The Mobile Vision Mixer: A Mobile Network based Live Video Broadcasting System in Your Mobile Phone," Proc. 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM'12), No.18, DOI: 10.1145/2406367.2406390 (2012).
- [4] Switcher Studio (online), < <https://www.switcherstudio.com/> > (参照 2018-8-3) .
- [5] Yoon, C., Um, T., and Lee, H., "Classification of N-Screen Services and its Standardization," Proc. 14th International Conference on Advanced Communication Technology, pp.567-602 (2012).
- [6] Kim, J. W., Ullah, F., Lee, S. C., Jo, S. K., Lee, H. W., and Ryu W., "Dynamic Addition and Deletion of Device in N-screen Environment," Proc. Fourth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp.118-122 (2012).
- [7] An, D., Kim, Y., Yoon, H., and Yeom, I., "Partition and Cooperation for Crowded Multi-rate WLANs," Wireless Personal Communications, Vol.79, No.2, pp.1511-1538, DOI: 10.1007/s11277-014-1943-4 (2014).
- [8] Kwon, Y., Fang, Y., and Latchman, H., "A Novel MAC Protocol with Fast Collision Resolution for Wireless LANs," Proc. INFOCOM'03, pp.853-862 (2003).
- [9] Heusse, M., Rousseau, F., Guillier, R., and Duda, A., "Idle Sense: An Optimal Access Method for High Throughput and Fairness in Rate Diverse Wireless LANs," Proc. ACM SIGCOMM 2005, pp.121-132, DOI: 10.1145/1080091.1080107 (2005).
- [10] Yang, X. and Vaidya, NH., "A Wireless MAC Protocol using Implicit Pipelining," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.5, pp.258-273, DOI: 10.1109/TMC.2006.27 (2006).
- [11] Ting, K. C., Jan, M. Y., Hsieh, S. H., Lee, H. H., and Lai, F., "Design and Analysis of Grouping-based DCF (GB-DCF) Scheme for the MAC Layer Enhancement of 802.11 and 802.11e," Proc. 9th ACM/IEEE International Symposium on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (2006).
- [12] Kwon, D., Je, H., Kim, H., Ju, H., and An, D., "Scalable Video Streaming Relay for Smart Mobile Devices in Wireless Networks," PLOS ONE, Vol.11, No.12, e0167403, DOI: 10.1371/journal.pone.0167403 (2016).
- [13] "Wi-Fi Alliance," P2P Technical Group Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification v1.0 (2009).
- [14] 今雪聡太, 橋本浩二, "ライブ中継機能の動的構成を可能とするアドホック映像通信システム," 情報処理学会第79回全国大会講演論文集, 第3巻, pp.467-468 (2017).
- [15] 今雪聡太, 後藤佑介, "モバイル端末のアドホック通信によるライブ中継を実現する映像配信システムの提案," 情報処理学会研究報告, Vol.2018-DPS-173, No.10, pp.1-6 (2018).
- [16] GStreamer: open source multimedia framework (online), < <https://gstreamer.freedesktop.org/> > (参照 2018-8-3) .
- [17] FFmpeg (online), < <https://ffmpeg.org/> > (参照 2018-8-3) .