

無線 LAN 環境における複数のモバイル端末を用いたライブ配信システムの提案

小山 天¹ 後藤 佑介¹

概要: 無線通信技術の発達により、無線 LAN 環境において、モバイル端末に搭載されたカメラで撮影した映像をリアルタイムでライブ配信を行う配信者が増加している。複数の撮影者がそれぞれ撮影したマルチカメラによる複数の映像を用いて配信者がリアルタイムでライブ配信を行う従来の配信システムでは、映像を配信用計算機に送信する中継用機材、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、システムを利用するための条件は厳しい。本研究では、無線 LAN 環境において複数のモバイル端末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映像配信機能を利用して、配信者はライブ配信における負担を減少できる。また、端末間でデータを送受信することで、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を切り替えるビデオスイッチング機能を利用して、マルチカメラによるライブ配信を行う。提案システムを用いた性能評価では、送信端末と配信端末との間で発生する遅延時間が短くなることを確認した。また、アンケート形式による評価では、提案システムが有用であることを確認した。

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ストリーミングサービスが広まっている。また、近年では、モバイル端末に搭載されたカメラで撮影した映像をリアルタイムによる配信（以下、ライブ配信）を行うアプリケーションの利用者が増加している。

モバイル端末を用いたライブ配信では、ライブ配信サービスの運営会社が提供する YouTube アプリ [4] や Instagram [5] といったアプリケーション、および運営会社以外のサードパーティと呼ばれる開発者が提供する CameraFi Live [6], Mobcam Live [7], および Astra Streaming Studio [8] といったアプリケーションを用いることで、ユーザはライブ配信を行うことができる。

ライブ配信のアプリケーションを利用してインターネット上で映像を配信する利用者（以下、配信者）は、多くのユーザが興味をもつ高品質な映像を配信したい要求をもっている。ユーザの評価が高い配信形態として、複数の方向から映像を撮影して、映像を切り替えながらライブ配信を行う方法が挙げられる。配信者は、リアルタイムで撮影す

る複数の品質を確認した上で、ユーザが一番興味をもつ映像に切り替えながら配信する。

配信者が複数の映像をリアルタイムに撮影する場合、従来の配信システムでは、複数台のカメラ、配信用計算機に映像を送信する中継用機材、およびライブ配信を行うネットワーク環境が必要となる。この場合、機材の運搬時間が長大化し、機材同士の接続が複雑化するため、配信環境の構築に対する条件は厳しくなる。また、複数の場所で連続してライブ配信を行う場合、配信者はすべての機材を移動して機材間で再度接続する必要があり、負担は大きい。さらに、ネットワーク環境が有線 LAN で、かつ移動先でネットワーク環境を構築できない場合、配信者はライブ配信を行うことができない。以上より、配信者がマルチカメラを用いて容易にライブ配信を行うことは難しい。

本研究では、無線 LAN 環境において複数のモバイル端末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映像配信機能、およびビデオスイッチング機能を実現する。配信者は、配信機材に関する知識の有無に関わらず、少ない負担でライブ配信を行うことができる。

2. マルチカメラを用いたライブ配信

2.1 モバイル端末を用いたライブ配信技術

Mobile Vision Mixer (MVM) [9] は、無線 LAN 環境に

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

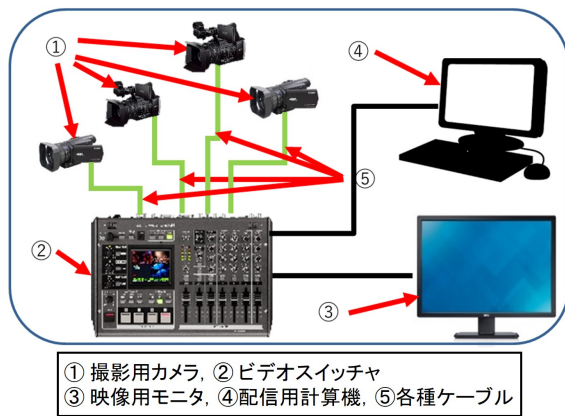


図 1 従来のライブ配信システムの構成

接続した複数のモバイル端末が配信した映像を屋外で編集しながらライブ配信を行うことができるシステムである。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、移動しながら映像を撮影する。配信者は、撮影者に撮影場所を指示し、撮影した複数の映像からユーザに配信する映像を決定する。

Switcher Studio [10] は、iOS デバイスのカメラで撮影した映像のライブ配信を行うことができるアプリケーションである。配信者は、最大 9 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に切り替ええる。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マルチカメラによる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、機材に関する専門的な知識を必要とせず、マルチカメラによるライブ配信を行うことができる。一方で、ライブ配信にカメラとして使用するモバイル端末を他の端末に変更する場合、およびライブ配信で利用しているネットワークに対して端末が追加もしくは離脱する場合をどちらも考慮していない。このため、配信者はネットワークに接続するモバイル端末の配信環境をライブ配信の開始前に決定する必要があり、ライブ配信にモバイル端末の配信環境を変更することは難しい。例えば、MVM [9] のシステムでは、モバイルネットワークを利用できる複数の端末を事前に用意する必要がある。また、Switcher Studio [10] では、同じ Wi-Fi ネットワーク内で端末を接続するため、端末数に応じて十分な帯域幅をもつ Wi-Fi ネットワークを用意する必要がある。

2.2 マルチカメラを用いた従来のライブ配信システム

従来のライブ配信システムの構成を図 1 に示す。マルチカメラによるライブ配信では、配信者は複数のビデオカメラを用いて、複数のビデオソースをミキシングもしくはス

イッチングしながらライブ配信を行う。マルチカメラを用いたライブ配信を行う例として、スポーツ会場、コンサート会場、およびイベント会場といった撮影場所が広く、かつ多角的な視点で複数の被写体を撮影したい場合が挙げられる。しかし、1 台のビデオカメラを用いる簡素なライブ配信に比べ、マルチカメラを用いたライブ配信では使用する配信機材が多く、構成は複雑になる。使用する配信機材として、複数のビデオカメラ、ビデオカメラの映像を確認するためのモニター、複数のビデオソースを統合して出力する映像を決定するビデオスイッチャ、ライブ配信を行うために必要な配信用の計算機、およびこれらの機材同士を接続するための各種ケーブルが必要となる。また、スポーツ会場やコンサート会場においてネットワーク環境が準備されていない場合、ライブ配信を行うために十分な規模のネットワーク環境を構築するため、ネットワーク構築用の機材を準備する必要がある。このとき、配信機材数の増加に応じて、配信機材の運搬、設置、および接続といった作業が増える。このため、ライブ配信の準備において必要となる配信者の負担は増加する。

以上のように、マルチカメラを用いたライブ配信では、ライブ配信前後で発生するユーザの負担に加え、多くの配信機材を使用するために専門的な知識と経験が必要である。このため、ユーザの負担が少なく、手軽にマルチカメラを用いたライブ配信が可能なシステムが必要である。

3. 関連研究

3.1 ネットワーク環境を考慮した映像配信技術

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途切れなく視聴する N-Screen 技術 [11,12] では、各ユーザ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視聴できる。しかし、無線 LAN 環境においてモバイル端末が N-Screen 技術で動画データを共有する場合、すべての端末が同じ Access Point (AP) に接続してチャンネルの帯域幅を共有する。このため、デバイス数の増加に応じて動画再生時の中断が頻繁に発生する。

Kwon ら [13] は、無線 LAN 環境においてモバイル端末数の増加を考慮したスケーラブルなビデオストリーミングの中継手法を提案している。本手法では、Wi-Fi Direct [14] によるネットワークを利用した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における帯域制御を用いることで、動画再生時に発生するモバイル端末の負荷が減少し、再生中の途切れを削減する。

王ら [22] は、無線 LAN 環境においてストリーミング QoS 制御配信システムに関する性能評価を行っている。この研究では、Web カメラで撮影した動画データのライブ配信において、伝送速度を制限する QoS 制御技術を用いている。評価では、動画データの再生時における伝送速度お

よびパケットの欠損率をもとに、システムの有用性を検証している。

3.2 多視点ライブ配信

360度カメラによる多視点ライブ配信に関する研究が注目されている。Takadaらは、ユーザの視点方向に関する情報である Point of View (以下、POV) を用いて、360度カメラのインターネットライブ配信においてユーザの興味が高い POV を検出する手法 [20] を提案している。本手法では、360度カメラによるライブ配信において、ユーザがカメラと正対する方向以外の視点を向いた場合、ユーザの興味が高い情報が映っていると仮定してユーザの POV データを収集し、分析した。

Matsumotoらは、多視点ライブ配信において、配信サーバがユーザの嗜好に応じて動画に文字や背景といったエフェクトを選択して追加する場合に発生する処理負荷を減らす方法として、分散型多視点インターネットライブ放送システム [21] を提案している。本手法では、配信サーバは Elementary Cellular Automaton (ECA) ルールに基づいて、動画の各エフェクトに対してユーザ間の共有可否を分類し、ユーザ間で共有できないエフェクトの追加処理をユーザの端末で行うことで、配信サーバの処理負荷を減少させる。

Kashifらは、同じイベントに参加した複数の撮影者が個別に撮影した各映像を収集し、クラウド上で組み合わせて多視点配信を行う多視点クラウドソーシング配信システム (CMVCS) [23] を提案している。このシステムでは、複数の撮影者による各映像に対して撮影時の GPS 情報、撮影角度、および撮影時間をもとに複数の映像をクラウド上で組み合わせて、多視点ライブ配信の映像を自動で生成する。

多視点配信において、ユーザが現在視聴している視点から配信元のカメラを移動させて別の視点に切り替えるとき、再生映像の途切れや待ち時間が発生する可能性がある。また、複数の映像をバッファリングするため、単一視点の映像に比べて映像配信時のトラフィックは増加する。この問題を解決するため、多視点配信におけるセグメントスケジューリング手法 [24] が提案されている。この手法では、多視点配信の視聴時において、ユーザが現在視聴している視点映像の隣接部分の映像を事前にバッファリングすることで、視点の切替え時に発生する途切れや待ち時間を削減する。

スポーツ中継において多視点映像をユーザ単位で視聴できるシステム [25] では、野球スタジアムといったイベント会場の場内に設置されている既存のカメラに加えて、観客がスマートフォンで撮影した映像を利用して配信する。ユーザは、所望の映像を配信元に要求することで、視点を自由に切替える。

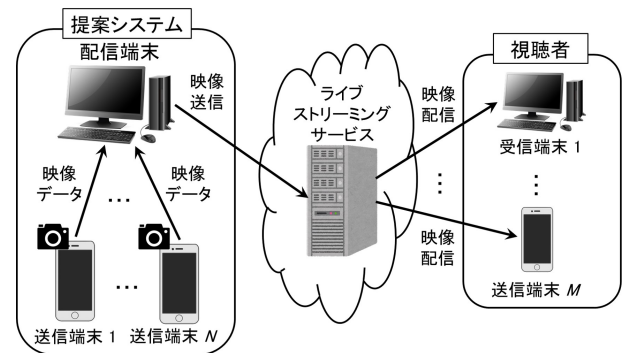


図 2 提案システムによるライブ配信

4. 提案システム

4.1 システム構成

無線 LAN 環境においてマルチカメラを用いたライブ配信システムを説明する。提案システムによるライブ配信の流れを図 2 に示す。提案システムは、送信端末および配信端末の 2 種類のモバイル端末で構成される。送信端末は、端末に搭載したカメラで撮影した映像を配信端末に送信する。配信端末は、複数の送信端末から受信した複数の映像に対して、配信者がビデオスイッチング機能を用いて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、配信端末に接続した送信端末の接続情報を送信端末の IP アドレスと組み合わせて管理する。また、配信者の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、視聴者自身の端末で映像を視聴する。提案システムでは、新規の送信端末を追加することで、配信者はライブ配信中に別の映像を配信できる。

4.2 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 2 種類の機能を実現する。以下で、順番に説明する。

4.2.1 ビデオスイッチング機能

ライブ配信中に、配信端末が複数の送信端末から受信した複数の映像に対して、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。この機能を用いることで、映像の切替えが可能な中継用機材を利用せずに、複数のモバイル端末でマルチカメラによるライブ配信を行うことができる。

4.2.2 ビデオストリーミング機能

配信端末は、送信端末がカメラで撮影して送信した映像をライブストリーミングサービスに送信する。視聴者は、ライブストリーミングサービスに接続することで、ライブ配信による映像を視聴できる。

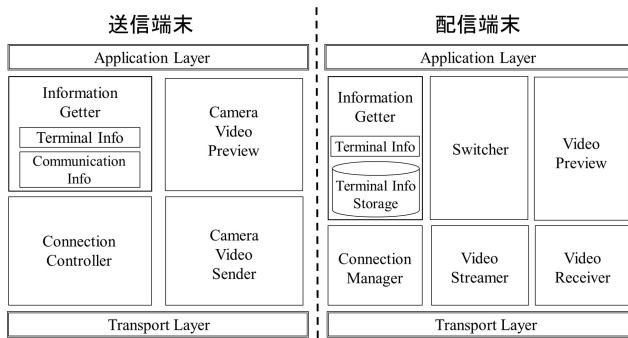


図 3 提案システムにおける端末の実現方式

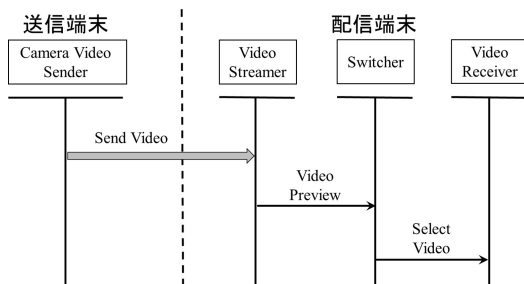


図 4 ビデオスイッチング機能およびビデオストリーミング機能の処理流れ

5. 設計

5.1 実現方式

提案システムで実装する 2 種類の端末の実現方式を図 3 に示す。図 3 において、送信端末では、配信端末との接続に必要な情報を取得して設定する処理、配信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配信端末に送信する処理の 4 種類を実装する。次に、配信端末では、送信端末との接続に必要な情報を取得して設定する処理、送信端末の情報を保存する処理、送信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、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。

5.2 ビデオスイッチング機能

ビデオスイッチング機能の処理流れを図 4 に示す。映像の切替えを行う Switcher は、配信端末で動作する。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た上で、1 種類または複数種類の映像を Switcher で選択する。

5.3 ビデオストリーミング機能

図 4 に示すビデオストリーミング機能の処理流れにおいて、送信端末では、Camera Video Sender を用いて、カメラで撮影した映像を配信端末に送信する。配信端末では、

Video Receiver を用いて、送信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に対して、Switcher で選択した 1 種類または複数種類の映像を組み合わせてライブストリーミングサービスに送信する。

5.4 提案システムにおけるライブ配信の処理手順の例

5.2 節および 5.3 節で述べた機能を組み合わせて、モバイル端末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における処理手順の例を説明する。提案システムを構成する送信端末は 2 台、配信端末は 1 台でシステムを構成する。初めに、配信端末は、送信端末から受信した端末情報をもとに、送信端末と接続処理を行う。次に、送信端末は、カメラで撮影した映像を配信端末に送信する。配信端末は、すべての送信端末が送信した映像から 1 種類もしくは複数種類選択した後、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に映像を送信する。

ライブ配信中は、送信端末、もしくは配信端末から通信を切断することで、配信端末と通信する送信端末を削除できる。また、送信端末から配信端末に接続要求を送り、配信端末が許可することで、配信端末と通信する送信端末を追加できる。

6. 実装

図 5 に、提案システムの構成を示す。送信端末は Android OS を搭載したモバイル端末、配信端末は、ノート型計算機をそれぞれ用いる。表 1 に、送信端末および配信端末の性能を示す。送信端末と配信端末は、ルータを介して無線 LAN 環境で接続する。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配信端末に送信する。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。

送信端末では、映像配信サーバを構築した。また、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は、プログラミング言語 Kotlin [15] で実装した。配信端末では、オープンソースソフトウェアである Open Broadcaster Software (OBS) を用いて、映像の受信処理、表示処理、スイッチング処理、およびライブストリーミングサービスに対する映像配信処理をそれぞれ実装した。

7. 評価

7.1 遅延時間

提案システムによる映像配信において送信端末と配信端末との間で発生する遅延時間を評価する。評価では、送信端末 2 台および配信端末 1 台を用いて、図 6 に示す評価環境を構築した。送信端末および配信端末が用いる映像コンテンツのフォーマットについて、解像度は 640 × 480

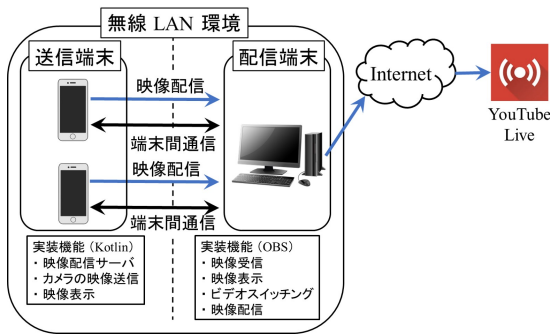


図 5 提案システムの構成

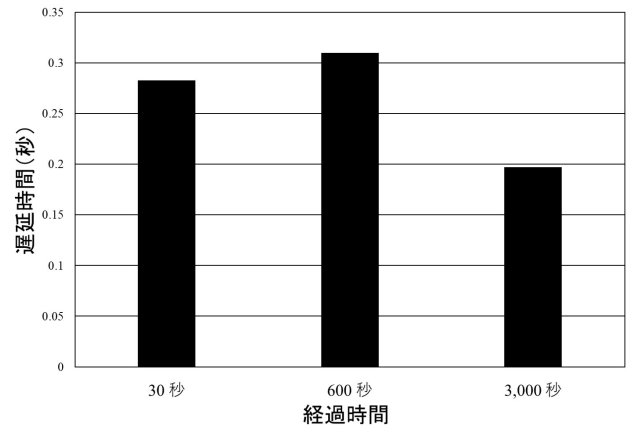


図 7 端末間の映像配信におけるライブ配信開始からの経過時間に応じた遅延時間

表 1 端末の計算機性能

端末の種類	送信端末	配信端末
計算機	HUAWWEI MediaPad M5	Surface Pro 4
OS	Android 9.0	Windows 10 Pro
CPU	HUAWWEI Kirin 960	Intel Core m3-6Y30
クロック	2.4 GHz	1.51 GHz
メモリ	4.00 GB	4.00 GB
無線 LAN 規格	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac



図 6 遅延時間の評価環境

pixel, フレームレートは 30 fps, ビットレートは 700 kbps である。

図 7 に、送信端末と配信端末との間における映像の遅延時間を示す。評価では、送信端末のディスプレイに表示した撮影中の映像、および配信端末のディスプレイに表示した送信端末からの映像との間で発生する遅延時間を測定した。図 7 より、ライブ配信開始からの経過時間が 30 秒のときの遅延時間は約 0.28 秒、600 秒のときは約 0.3 秒、および 3000 秒のときは約 0.2 秒となり、処理時間の経過に応じて遅延時間は長大化しなかった。また、提案システムを用いたライブ配信で発生する映像の途切れについて、測定中は発生しなかった。

7.2 アンケート形式による評価

提案システムによるライブ配信において、映像を視聴す

るユーザの負担を評価する。

7.2.1 評価条件

20 代の男女 4 名の被験者は、提案システムを用いて映像を視聴した後、アンケート形式で回答する。また、提案システムにおける自動接続機能の有用性を検証するため、被験者は提案システムを利用して、送信端末と配信端末の接続、およびこれらの端末間における映像の送受信のみを行う。従って、被験者は、ビデオストリーミング機能を用いた YouTube Live によるライブ配信、および OBS によるビデオスイッチング機能を用いた映像のスイッチング操作を行わない。

なお、提案システムでは、送信端末として Android OS を搭載したモバイル端末 1 台、および配信端末 1 台を使用する。

7.2.2 手順

被験者は提案システムを用いた映像視聴を行った後、アンケートに回答した。映像視聴の手順は、以下の通りである。

- (1) 提案システムを利用して、送信端末と配信端末を接続する。
- (2) 配信端末上で、送信端末が送信した映像の表示を確認する。
- (3) カメラの移動操作を行う。
- (4) 提案システムの利用を終了する。

提案システムの評価に関するアンケートの設問内容を表 2 に示す。設問内容は、従来研究 [17, 18] で行われているアンケートを参考にした。被験者は、質問 1 から質問 4 において、1 から 5 の 5 段階で評価した。例えば、提案システムが有用であると判断した場合、評価の数値は高くなる。また、質問 5 および質問 6 では、提案システムの利用において良かった点と改善点を自由記述でそれぞれ評価した。

表 2 アンケート内容

質問番号	質問内容
質問 1	提案システムで映像を開始するまでの操作 ← とても難しかった とても簡単だった → 1 2 3 4 5
質問 2	提案システムで映像配信開始時に再生された映像の品質 ← とても悪い とても良い → 1 2 3 4 5
質問 3	提案システムによる映像配信開始後のカメラ操作 ← とても難しかった とても簡単だった → 1 2 3 4 5
質問 4	映像配信開始後におけるカメラの移動操作時の品質 ← とても悪かった 全く変わらなかった → 1 2 3 4 5
質問 5	提案システムを実際に映像配信で利用したいか。 ← 利用できない ぜひ利用したい → 1 2 3 4 5
質問 6	提案システム全体で良かった点
質問 7	提案システム全体の改善点

表 3 アンケートの回答結果

質問番号	値					平均
	1	2	3	4	5	
質問 1	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (25.0%)	2 (50.0%)	1 (25.0%)	4.00
質問 2	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (25.0%)	2 (50.0%)	1 (25.0%)	4.00
質問 3	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (25.0%)	2 (50.0%)	1 (25.0%)	4.00
質問 4	0 (0.0%)	1 (25.0%)	1 (25.0%)	2 (50.0%)	0 (0.0%)	3.25
質問 5	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	4 (100.0%)	0 (0.0%)	4.00

7.2.3 評価結果

アンケートの質問 1 から 質問 5 に関する回答結果を表 3 に示す。括弧内の数値は、被験者全体のうち該当する値を回答した被験者の割合を示す。

質問 1, 2, 3, および 5 について、提案システムが有用であるという回答を得た。質問 4 について、カメラワークの移動操作時に映像が乱れたため、映像品質に対する評価は被験者に依りて異なった。

質問 6 について、提案システムの利用において良かった点を以下に示す。

- 配信開始までの操作がシンプルだった。
- ポート番号の確認方法が簡単で分かりやすい。
- 複数端末の映像を切り替えて見られる点良かった。
- 映像の遅延があまり無く、見やすかった。
- カメラ側の操作は単純で、簡単だった。

質問 7 について、提案システムの改善点を以下に示す。

- 起動時に IP アドレスの確認が面倒だった。
- 音声を送信できると嬉しい。
- 配信時の送信端末の情報を配信端末側で検索できる機能があれば、操作性が向上すると考える。

8. 考察

8.1 提案システムの性能

複数の配信者が送信端末および配信端末を個別に操作する場合、送信端末と配信端末との間で遅延時間を考慮してストリーミング処理とスイッチング処理を行う必要がある。遠隔会議における伝搬遅延の影響に関する実験 [19] において、会話速度が速く、発言頻度が多い話者同士による配信の場合、往復の遅延時間は約 0.50 秒である。提案システムにおける評価では、送信端末と配信端末との間の遅延時間は約 0.25 秒であり、スイッチング処理における時間は発生しない。従って、送信端末と配信端末との間で、配信者同士が連携することで、撮影およびスイッチング処理を実行できる。今回のプロトタイプにおける評価は動画像のみの配信で行ったため、今後は音声を含めた配信で遅延時間を測定して有用性を評価する必要がある。

8.2 アンケート結果に基づく提案システムの有用性

アンケートの質問 1 から質問 5 において、被験者は提案システムを用いて、マルチカメラによるライブ配信を実行できることを確認した。提案システムでは、被験者は送信端末を用いて、アプリケーションの起動後に指定された IP アドレスに接続することで、配信端末は送信端末から映像を受信できる。また、配信端末は送信端末との通信を切断することで映像の受信を終了できる。

改善点として、映像配信開始後に被験者がカメラの移動を操作したときに、再生映像の乱れが気になった点が挙げられた。原因として、送信端末から配信端末に映像を送信する場合のフレームレートが低い点、および送信端末がカメラの移動時にピントの自動調節処理を行う場合に端末内の動画像を送信する処理時間が長大化する点が考えられる。この場合、送信端末が配信端末に送信する映像のフレームレートを上げることで解決できると考える。また、提案システムでは音声を送信できない点が挙げられた。このため、提案システムによるライブ配信において、動画とともに音声を同時に配信できるシステムに改良する必要がある。

9. まとめ

本研究では、無線 LAN 環境において複数のモバイル端末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。提案システムの設計では、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 2 種類を設計し、提案システムを実装した。また、提案システムを用いた性能評価では、送信端末と配信端末との間における配信時の遅延時間は約 0.25 秒と短いことを示した。ユーザが提案システムを問題なく利用できることを確認した。また、アン

ケート形式による評価では、多くの被験者が有用なシステムであると回答した。

今後の予定として、動画とともに音声を送受信できる機能の追加、およびより多くの送信端末を用いた評価が挙げられる。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金（基金研究（C））（課題番号：18K11265）の研究助成によるものである。ここに示して謝意を表す。

参考文献

- [1] Twitch (online), < <https://www.twitch.tv/> > (参照 2021-01-31) .
- [2] Live - YouTube (online), < <https://www.youtube.com/live/> > (参照 2021-01-31) .
- [3] Twitch for Mobile (online), < <https://mobile.twitch.tv/> > (参照 2020-02-01) .
- [4] YouTube アプリのダウンロード (online), < <https://support.google.com/youtube/answer/3227660/> > (参照 2021-02-01) .
- [5] Instagram (online), < <https://www.instagram.com/> > (参照 2021-02-01) .
- [6] CameraFi Live (online), < <https://www.camerafi.com/camerafi-live/> > (参照 2021-02-01) .
- [7] Mobcam Live: Google Play (online), < <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mobcrush.mobcam> > (参照 2021-02-01) .
- [8] Astra Streaming Studio: Google Play (online), < <https://play.google.com/store/apps/details?id=miv.astudio> > (参照 2021-02-01) .
- [9] A. Engstrom, G. Zoric, O. Juhlin, and R. Toussi: The Mobile Vision Mixer: A Mobile Network based Live Video Broadcasting System in Your Mobile Phone, Proc. 11st International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '12), No.18, DOI: 10.1145/2406367.2406390 (2012).
- [10] Switcher Studio (online), < <https://www.switcherstudio.com/> > (参照 2021-02-01) .
- [11] 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).
- [12] J. W. Kim, F. Ullah, S.C. Lee, S.K. Jo, H.W. Lee, and W. Ryu: Dynamic Addition and Deletion of Device in N-screen Environment, Proc. 4th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp.118-122 (2012).
- [13] D. Kwon, H. Je, H. Kim, H. Ju, and D. An: Scalable Video Streaming Relay for Smart Mobile Devices in Wireless Networks, PLOS ONE, Vol.11, No.12, DOI: 10.1371/journal.pone.0167403 (2016).
- [14] Wi-Fi Alliance: P2P Technical Group Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification v1.0 (2009).
- [15] Jet Brains (online), < <https://kotlinlang.org/> > (参照 2021-02-01) .
- [16] OBS studio (online), < <https://obsproject.com/ja/> > (参照 2021-01-31) .
- [17] 深田秀実, 小林和恵, 佐藤賢二, 川名英之, 増田智弘: デジタルペンとテーブル型ユーザインタフェースを用いた災害情報管理システムの開発と評価, 日本地震工学会論文集, Vol.12, No.3, pp.1-20 (2012).
- [18] 吉野孝, 山野孝幸: キャラットスケジュール: アバタを用いたカジュアルなスケジュール管理・共有システム, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.1234-1244 (2011).
- [19] 鏡沢勇, 滝川啓, 大久保栄, 渡辺義郎: 衛星通信を利用した画像会議におけるエコーおよび伝搬遅延の影響, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J64-B, No.11, pp.1281-1288 (1981).
- [20] M. Takada, D. Nishioka and Y. Saito: A Detection Method of Viewers' Interests based on POV for 360-degree Internet Live Broadcasting in Mobile Environment, Proc. IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp.367-370 (2019).
- [21] S. Matsumoto, T. Yoshihisa: A Distributed Internet Live Broadcasting System for Multi-Viewpoint Videos, International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol.11, No.2, pp.117-124 (2019).
- [22] 王元元, 寺島慶太, 岳五一: 無線 LAN におけるストリーミング QoS 制御配信システムに関する性能報告, パーソナルコンピュータ利用技術学会論文集, Vol.14, No.1, pp.14-21 (2020).
- [23] K. Bilal, A. Erbad, and M. Hefeeda: Crowdsourced Multi-View Live Video Streaming using Cloud Computing, IEEE Access, Vol.5, pp.12635-12647 (2017).
- [24] 木藤嵩人, 大友伊織, 藤橋卓也, 廣田悠介, 渡辺尚: プログレッシブダウンロード環境におけるマルチビュービデオ配信のためのセグメントスケジューリング手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, Vol.2016, pp.1009-1015 (2016).
- [25] 三浦雄一郎, 橋本浩二: 多視点映像を用いたスポーツ中継個人視聴システムの提案, 情報処理学会第 79 回全国大会講演論文集, Vol.2017, No.1, pp.225-226 (2017).