

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

今雪 聡太¹ 後藤 佑介¹

概要: ライブストリーミングサービスの普及により、モバイル端末に搭載されたカメラで撮影した映像のライブ配信を行うユーザが増加している。ユーザが複数地点からカメラで撮影した映像をライブ中継で配信する場合、複数のカメラで撮影した映像をライブ中継で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ため難しい。本研究では、複数のモバイル端末でアドホック通信を用いてライブ中継を実現する映像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設計、実装することで、ユーザはライブ配信における負担が減少し、より簡易に配信できる。また、端末間通信の一部でアドホック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。さらに、提案システムのプロトタイプを構築し、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から視聴者端末で視聴できることを確認した。

1. はじめに

Ustream [1] および YouTube [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の普及により、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、複数地点からカメラで撮影した映像をライブ中継で配信する場合、複数のカメラで撮影した映像をライブ中継で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のネットワーク環境が必要となる。また、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する。さらに、機材同士の接続が複雑になるため、配信の運用における手間が増加する。以上より、ライブ中継による映像配信を実現することは難しい。

本研究では、ライブ配信におけるユーザの負担を削減し、より簡易に配信するため、複数のモバイル端末でアドホック通信を用いてライブ中継を実現する映像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設計、実装する。また、端末間通信の一部でアドホック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、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することで、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できる。

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 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た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ることで、ライブ配信を容易に行うことができる。一方で、ライ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、および端末を追加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

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

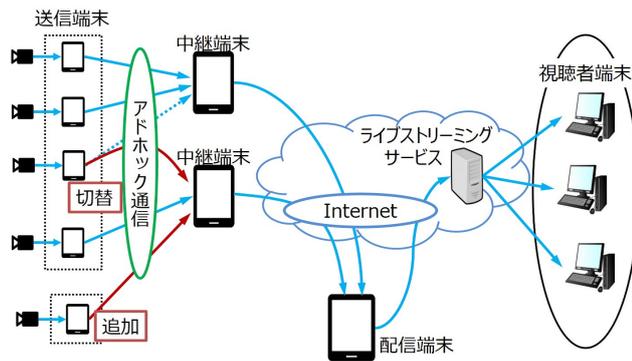


図 1 提案システムの構成

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 課題

筆者は、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 [5] を提案してきた。このシステムは、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、ライブ中継機能の動的構成を可能とし、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。

これまでの研究で、筆者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映像配信システムのプロトタイプを構築してきた。本研究では、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て、課題として挙げた機能を実現するシステムの設計、実装を行う。

3. 提案システム

3.1 システム構成

本章では、モバイル端末を用いたライブ中継を実現する映像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 種類の端末で構成される。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で行う通信は、端末間で直接通信を行うアドホック通信を用いる。アドホック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、配信者はライブ中継の運用における負担を削減できる。配信端末は、複数の中継端末から映像を受信し、受信した映像からスイッチングによっ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。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、視聴者端末で映像を視聴できる。また、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、各端末から端末の種類および接続先となる端末の情報を収集し、他の端末に送信する。

ライブ配信中に別の映像を配信するため、新規の送信端末を追加する場合を考える。新規の送信端末は、配信端末から中継端末に関する情報を受信することで、ライブ配信を中断することなく所望の中継端末と接続できる。このとき、配信端末からすべての中継端末の情報を受信するため、新規の送信端末は、アドホック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ユーザの負担を削減するため、提案システムでは 3 種類の機能を実装する。以下で、順番に説明する。

3.2.1 自動接続機能

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機能（以下、自動接続機能）を実装する。自動接続機能では、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、アドホック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する複数の映像から配信端末に送信する映像を切り替えることができる。また、配信端末も同様に、ライブ配信中に、複数の中継端末から受信する複数の映像から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を行うことができる。

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、送信端末はカメラを受信し、中継端末に映像を送信する。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、配信端末がライブストリーミングサービスに映像を送信することで、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、ビデオストリーミング機能を提案システムに適用することで、モバイル端末を用いたライブ中継が可能になる。

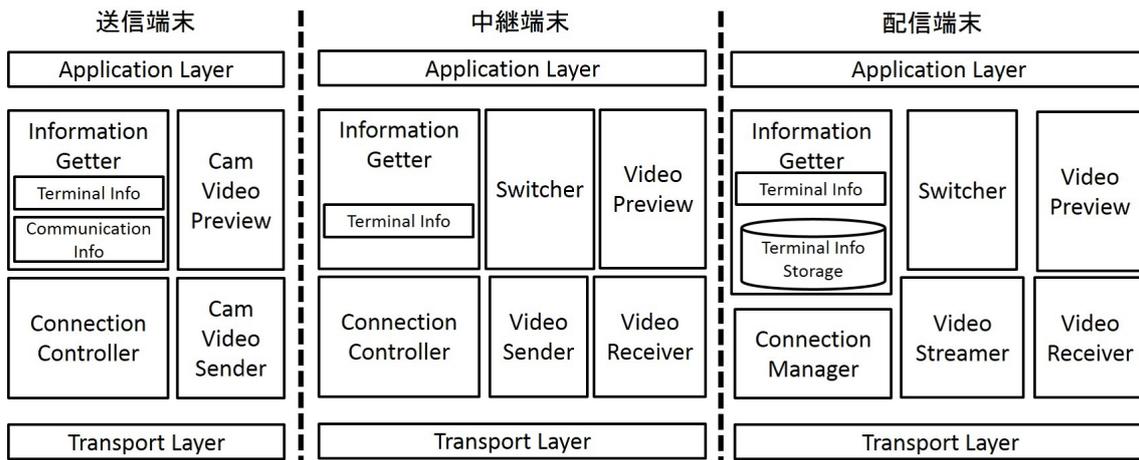


図 2 提案システムにおける端末の実現方式

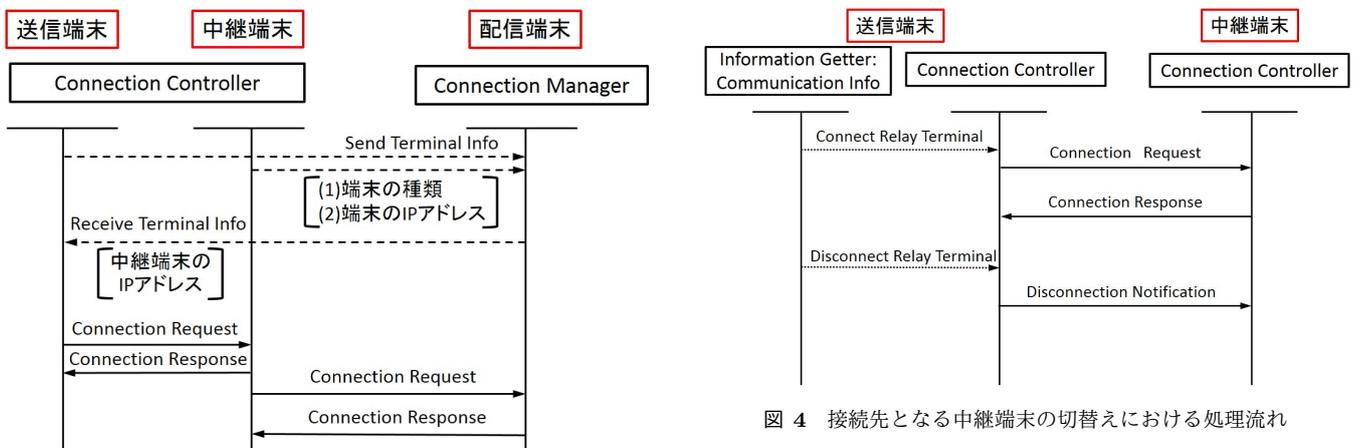


図 3 端末情報に基づく自動接続における処理流れ

図 4 接続先となる中継端末の切替えにおける処理流れ

送信する処理, 受信した映像をプレビューで表示する処理, 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. 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設定および取得する処理, 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設定および取得する処理, 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設定および取得する処理, 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信する処理, ライブストリーミングサービスに映像を

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, 事前に設定した他の端末との接続に用いる自身の端末の情報 (以下, 端末情報) を送信する。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。次に, 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, アドホック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, Information Getter において, 送信端末とアドホック通信が可能なすべての中継端末から端末間の通信状態を定期的に取得する。通信状態は, 送信端末と中継端末における Received Signal

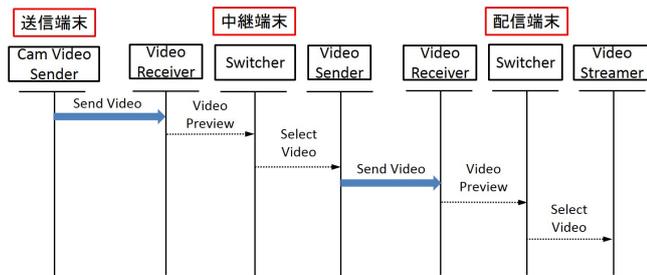


図 5 ビデオスイッチング機能およびビデオストリーム機能の処理流れ

Strength Indication (RSSI) に基づく。RSSI とは、無線 LAN 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。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アドホック通信可能な範囲内に存在する場合、送信端末は、Connection Controller を用いて中継端末との接続を中止する。送信端末は、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、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。

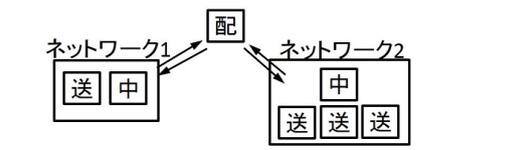
4.4 ビデオストリーミング機能の処理流れ

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、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、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、モバイル端末のアドホック通信によるライブ中継を実現する。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

手順1



手順2

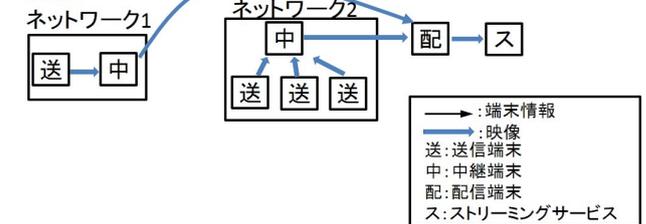


図 6 提案システムを用いたライブ配信における処理手順の例

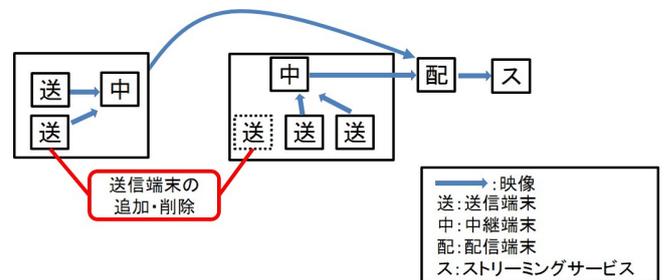


図 7 送信端末の接続先となる中継端末の切替えにおける各端末の処理

トワーク 2 では中継端末 1 台と送信端末 1 台で接続する。

手順 1 において、配信端末は、ネットワークに接続するすべての端末の接続情報（以下、端末情報）を受信し、各端末に送信する。また、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、無線アドホック通信で中継端末に映像を送信する。また、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、自動接続機能で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 に移動することで、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、ライブ配信中に端末を動的に追加および削除できる。

5. 実装

5.1 プロトタイプシステムの概要

図 8 に、提案システムのプロトタイプにおける各端末

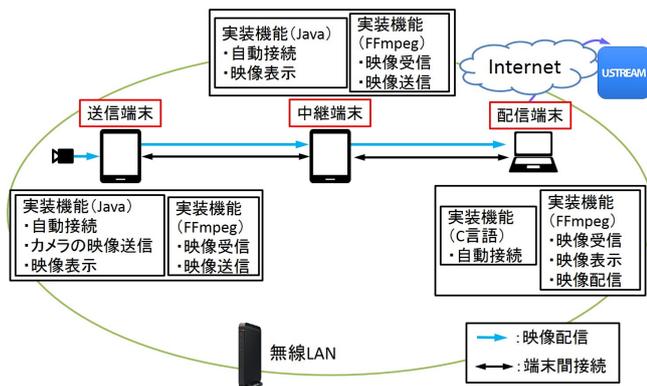


図 8 提案システムのプロトタイプにおける各端末の機能



図 9 プロトタイプシステムの動作例

表 1 端末の性能

端末の種類	送信端末	中継端末	配信端末
計算機	ASUS Z380M	ASUS Z380M	ASUS Vivobook E200HA
OS	Android 7.0	Android 6.0	Windows 10
CPU	MediaTek MT8163	MediaTek MT8163	Intel Atom x5-Z8300
クロック	1.3 GHz	1.3 GHz	1.44 GHz
メモリ	2.00 GB	2.00 GB	2.00 GB
無線 LAN 規格	IEEE 802.11a/b/g/n	IEEE 802.11a/b/g/n	IEEE 802.11ac/n/a/g/b

の機能を示す。送信端末および中継端末は Android 端末各 1 台、配信端末はノート型計算機 1 台を用いて、各端末は無線 LAN 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。プロトタイプシステムにおいて、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を Java 言語で実装し、FFmpeg [6] 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 を用いて映像の受信処理、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。また、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 Ustream [1] に映像を送信する。

ライブ配信における端末の動的な追加・削除を行う機能、およびビデオスイッチング機能については、今回実装したプロトタイプシステムの性能評価の結果をもとに、今後実装する予定である。

5.2 プロトタイプシステムの動作確認および基礎評価

実装したプロトタイプシステムの動作確認を行った。動作確認時のプロトタイプシステムを図 9 に示す。今回の実験では、カメラの映像を送信端末から中継端末および配信端末を介して Ustream に送信し、Ustream から受信した映像を視聴者端末で視聴できることを確認した。また、プロトタイプシステムにおいて、送信端末から配信端末までの映像遅延は約 0.8 秒、および Ustream で視聴する場合における映像遅延は約 11.0 秒であった。本評価では、送信端末から中継端末および、中継端末から配信端末の合計 2 ホップで映像を送信したが、遅延は短かった。今後は、端末の台数を増加させた場合、および送信端末と中継端末をアドホック通信した接続した場合における遅延の変化を評価する必要がある。

また、プロトタイプシステムでは、映像の送受信処理およびプレビュー表示の処理における負荷が高くなるのが分かった。特に、Android 端末である中継端末から配信端末に送信した映像のプレビュー表示で途切れを確認した。今後は、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するため、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。

6. まとめ

本研究では、ライブ配信にかかる負担を削減してより簡易にライブ配信を行うため、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を提案した。はじめに、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設計、実装した。さらに、提案システムのプロトタイプを構築し、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 Ustream から視聴者端末で視聴できることを確認した。

今後は、送信端末と中継端末でアドホック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予定である。

参考文献

- [1] Ustream: Live Streaming, Online Video & Hosting Services (online), < <http://www.ustream.tv/> > (参照 2017-12-11) .
- [2] YouTube (online), < <https://www.youtube.com/live/> > (参照 2017-12-11) .
- [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: Home (online), < <https://www.switcherstudio.com/> > (参照 2017-12-11) .
- [5] 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).
- [6] FFmpeg (online), < <https://ffmpeg.org/> > (参照 2017-12-11) .