

災害救助活動支援のための飛行型情報共有システム

別宮祥太[†] 松岡広明[†] 荒井研一[†] 一藤裕[†] 小林透[†]

概要: 災害時に被災地での通信手段を確保することができれば、被災地での複数の救助隊同士の連絡を補助し救助を円滑にすることができる。我々はドローンを用いた情報共有システムを開発した。ドローンには Wi-Fi 基地局、Web サーバ、WebRTC サーバ、カメラを実装したシングルボードコンピュータを搭載している。使用者はトランシーバ等の専用機材などではなく、個人の所有するスマートフォンを用いる。スマートフォンには通信用の特別なアプリをインストールする必要はなく、標準的にインストールされているブラウザのみで上空のドローンのカメラからの映像や、ドローンを介して他者とテキストチャット、ビデオ通話を行うことができる。これらを可能とするために標準化された Wi-Fi 技術や Web 技術を基にした 3 層通信アーキテクチャを考案した。本研究では試作機を開発し、システムの利用可能範囲、ドローンのカメラからの映像のフレームレート、同時接続数を調査した。また災害時におけるテキストチャットとビデオ通話に関する情報共有の有効性を確認するためにドローンを飛行させ実験を行った。

キーワード: ドローン、シングルボードコンピュータ、3 層通信アーキテクチャ、WebRTC サーバ、情報共有、Web ソケット、災害

Flying Communication Sever in case of a Large Scale Disaster

SHOTA BETSUMIYA[†] HIROAKI MATSUOKA[†] KENICHI ARAI[†]
YU ICHIFUJI[†] TORU KOBAYASHI[†]

Abstract: We have developed a Flying Communication Server, which is a drone, unmanned aerial vehicle (UAV), equipped with a camera module and a single board computer implemented in a Wi-Fi base station, a Web server and a WebRTC server. With this system, even in situations in which the cellular telephony network/public wireless network have been collapsed due to a large-scale disaster, users who have their own private smart devices such as smart phones will be able to share the video of an affected area from the sky, exchange text chat asynchronously, and execute the real-time video communication by using Web browser. In order to make it possible, we proposed three communication layers architecture based on Wi-Fi standard technologies and Web technologies. In this study, we have checked a range of connectivity of the Flying Communication Server such as Wi-Fi distance, frame rate to distribute video stream, and concurrent connection user numbers. We have also evaluated the text chat and the real-time video communication availability. Then, we have confirmed the effectiveness of the Flying Communication Server concerning to information sharing and asynchronous/real-time communication in case of a large-scale disaster.

Keywords: Drone, UAV, Single Board Computer, Three communication layers architecture, WebSocket, WebRTC, Disaster, Information sharing

1. はじめに

スマートフォンやタブレットなどのスマートデバイスの普及に伴い、SNS による情報共有も普及してきた。2011 年の東日本大震災が発生した際、多くの人々が SNS を用いた情報共有を行っていた。この SNS による情報共有の普及が、多くの関連研究が行われるきっかけとなった。例えば、ソーシャルメディアにおいてユーザが興味のある話題を検索しやすくするために視覚的に表現する方法が提案されている[1]。しかし、地震などの自然災害が発生した地域では、中継局が被害を受け携帯での通話やインターネットなどが使用できなくなる。そのため、被災地での情報共有が行えないという問題がある。警察、消防隊、自衛隊、救急隊、自治体などの異なる複数の組織が共同して救助活動を行う

場合、一般的に、それぞれの組織はトランシーバのように携帯での通話やインターネットなどの中継局から独立している特別な装置を使用している。しかし、トランシーバのような装置では聴覚による情報共有は行えるが、映像のような視覚による情報共有が行えない。また、そもそも災害時に必要な機材を用意できるとは限らない。

一方、カメラや複数のセンサを搭載したドローンを使用し、逃げ遅れた人の発見や被災地の被害状況を確認する研究が行われている。例えば、赤外線カメラをドローンに搭載することで逃げ遅れた人を発見することに役立つ研究がある[2]。また、災害により危険なガスが発生している場所や放射能漏れの危険のある場所を無人操作機で調査する研究もされている[3][4]。

しかし、これらの研究ではカメラからの映像を視聴する

[†] 長崎大学
Nagasaki University

ために専用の装置が必要となり、カメラからの映像を視聴できる人が限定されてしまう。現在市販されているドローンは専用のアプリケーションをスマートフォンにインストールすることでカメラの映像を視聴できる[5]。しかしこのような専用のアプリケーションは、事前にダウンロードしておく必要があり、災害が発生しインターネットなどが使用できない状況では専用のアプリケーションをダウンロードすることができない。

これらの問題を解決するために、ドローンを使用した情報共有システム、すなわち、飛行型情報共有システムを開発した[6]。ドローンには Wi-Fi 基地局、Web サーバ、WebRTC サーバ、カメラを実装したシングルボードコンピュータを搭載している。本システムでは、災害により携帯での通話やインターネットなどが使用できない状況において、個人の所有するスマートフォンを使用して被災地の状況を空からの映像で確認できる。また、テキストチャットやビデオ通話を用いた情報共有を行うこともできる。これにより、災害時において警察、消防隊、自衛隊、救急隊、自治体などの異なる複数の組織による救助隊は、個人で所有するスマートフォンを用いて危険な地域の情報や、逃げ遅れた人の情報をリアルタイムで共有することにより、刻々と変化する状況で救助活動を円滑に進めることができる。また災害直後は住宅が倒壊し瓦礫が道路に積み重なり、車での移動ができない状況がある。このような状況においてもドローンは空中を移動するので、地上の影響を受けず救助隊と共に移動できるため有効性が高い。

本システムを実現するために、現在標準化されている Wi-Fi 技術や Web 技術を基にした 3 層通信アーキテクチャを考案した。本システムは Raspberry Pi というシングルボードコンピュータ上に実装されている。本研究では試作機を開発し、試作機を使用してシステムの Wi-Fi 利用可能距離、カメラから映像のフレームレート、ユーザの同時接続数の実験を行った。また、ドローンを飛行させ、テキストチャット、ビデオ通話を使用し災害時における情報共有の有効性を確認するための実験を行った。

2. 関連研究

災害時においてドローンのような無人飛行機を使用する研究は 2 つに分類することができる。1 つ目は自律飛行制御についての研究、2 つ目は災害に強い情報通信ネットワークの構築についての研究である。

1 つ目の研究に関して、災害時における自律飛行制御ドローンがある[7][8]。この研究はドローンにカメラを取り付け、周囲の映像を撮影するものである。撮影された映像はドローンを遠隔で制御しているコンピューターに送られる。ドローンを救援活動の支援に使用するためには自律飛行制御は必要であり、カメラを取り付けることは自律飛行制御に必要であると議論されている[9]。また災害時においてド

ローンを使用した捜索、救助についての研究もある[10]。自律飛行制御は災害時において重要であるが、本研究では災害時における情報共有についての問題に注目しているため、1 つ目の研究には属さない。

2 つ目の研究は 1 つ目の研究よりは本研究に関連している。基地局などを設置することが困難な地域のネットワーク拡大を目的としたドローンのマルチホップ通信の研究[11]、災害時に通信施設が被害を受けた地域の通信のための無人空中基地局についての調査を行った研究[12]、ドローンを無線基地局としたメッシュネットワークを構築する研究[13]、ドローンを基にした IP ネットワークと災害に強いネットワークを提案し、災害で孤立した地域の通信を確保する研究[14]などがある。これらの研究は、ドローンを使用して災害が発生した際に部分的に使用できなくなったネットワーク機能を補完することで、広域な通信環境を確保することが目的である。本研究では、救助隊の救助活動を支援するためにドローンを Wi-Fi 基地局とし、トランシーバのような特別な装置ではなく、広く普及しているスマートフォンのようなスマートデバイスのブラウザだけでカメラの映像やテキストチャット、ビデオ通話などの情報共有を救助活動エリアという局所でリアルタイムに複数人が同時に行えることを目的としている。

3. 利用イメージとシステムの要件

3.1 利用イメージ

図 1 は飛行型情報共有システムの利用イメージを示している。地震などの自然災害で中継局が被害を受け、携帯での通話やインターネットが利用できず、災害の影響で建物が倒壊し瓦礫で道路が使用できない地域で警察、消防隊、自衛隊、救急隊、自治体などの異なる複数の組織による救助隊が逃げ遅れた人などを協力して捜索する状況を想定する。ドローンにはシングルボードコンピュータの Raspberry Pi を搭載しており、Raspberry Pi にはカメラモジュールを取り付けている。Raspberry Pi には Wi-Fi 基地局、Web サーバ、ストリーミングサーバ、チャットサーバ、WebRTC サーバを実装している。

ドローンは専用のコントローラで 1 人が操縦を行う。救助隊の隊員は、それぞれが所有するスマートフォンで災害時にドローンが一時的に構築する Wi-Fi ネットワークに接続し、ブラウザでドローンの Web サーバから JavaScript を含む HTML リソースを取得する。カメラモジュールのストリーミングデータはこの Wi-Fi 基地局から送信され、それぞれの隊員はスマートフォンのブラウザで災害地の状況をドローンのカメラからの映像で確認することができる。またそれぞれの隊員はテキストチャットだけでなく、ビデオ通話で情報共有が行える。この方法により複数の救助隊が緊急時に協力して捜索、救助を行うことができる。



図 1 飛行型情報共有システムの利用イメージ
Figure 1. Usage Image of Flying communication Server

3.2 システムの要件

本システムでは災害で倒壊した建物の瓦礫の上を、ドローンが飛行し、その下で複数の異なる組織による救助隊が活動を行う。そのため、救助隊とドローンに取り付けているサーバとの接続可能距離、カメラ映像から逃げ遅れた人を確認できるための映像のフレームレート、同時にサーバに接続し情報共有できる人数を考慮し3つの要件を挙げた。

要件 1: Wi-Fi の利用可能距離

シングルボードコンピュータに取り付けたカメラモジュールは地上に向けており、カメラモジュールの視野角は約 60° である。一般的なスマートフォンの画面の幅を約 50mm として、画面上で逃げ遅れた人を認識できる大きさを最低 1mm と仮定した。その場合、図 2 のようにドローンと救助隊との距離が 50m は必要であると、Wi-Fi の利用可能距離を 50m とした。

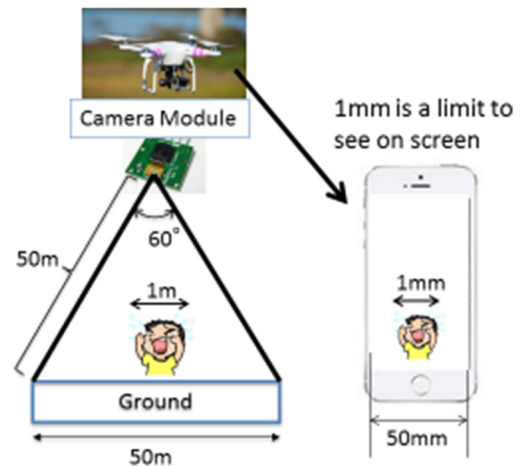


図 2 Wi-Fi 利用可能距離の理由
Figure 2. The Reason of Wi-Fi Available Distance

要件 2: カメラからの映像のフレームレート

図 1 で示した利用イメージではドローンを素早く移動させる必要はない。早くても人が歩行する程度の速さで移動させることを考慮すると、高いFPSの値は必要ではない。FPSとはFrames Per Secondの略で、1秒間に何フレームを送信受信できるかを意味している。FPSの値が高いと映像がなめらかになる。また地上にいる人を映像で確認できることを考慮すると最低5fpsは必要であると、カメラからの映像のフレームレートを5fpsとした。

要件 3: 同時接続数

図 1 で示した利用イメージではドローンに同時に接続できる人数は5つの異なる救助隊を想定している。そのため、システムへの同時接続数は5端末とした。

4. システムの実装

4.1 3層通信アーキテクチャ

図 3 は飛行型情報共有システムのサーバ側 (Flying Communication Server) とスマートフォン側 (Smart Devices)

の通信システムの対応を示している。サーバには Raspbian という OS をインストールしている。飛行型情報共有システムは Wi-Fi 層, HTTP 層, WebSocket 層の3つの層で構成されている。Wi-Fi 層にはアクセスポイント機能 (Hostapd) と DHCP 機能 (Dnsmasq) が実装されている。この2つの機能が Wi-Fi 基地局の基礎となっている。HTTP 層には、Web サーバ機能 (Apache2) と映像配信のためのストリーミングサーバ機能 (UV4L) が実装されている。この2つの機能がドローンの空からの映像を視聴するためのアプリケーションの基礎となっている。WebSocket 層には、チャットシステムのためのチャットサーバ機能 (Node.js), ビデオ通話のための WebRTC サーバ機能 (Node.js) が実装されている。Node.js はサーバ側で利用できる JavaScript であり、サーバとスマートフォンとの間に WebSocket を確立している。このシステムアーキテクチャの特徴は Wi-Fi 層, HTTP 層, WebSocket 層の3つの通信システムの層から構成されていることである。

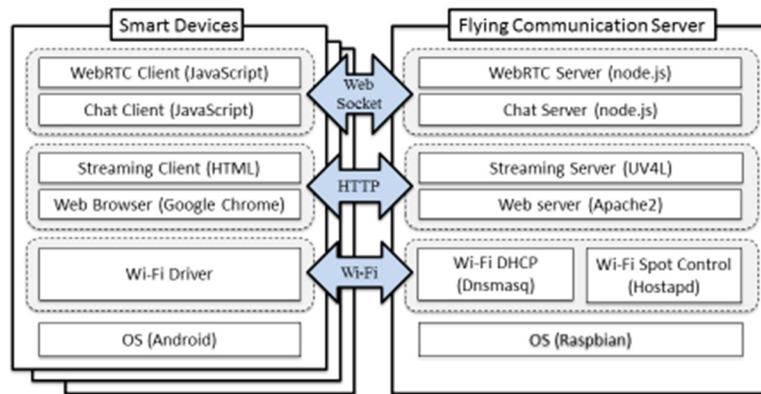


図 3 飛行型情報共有システムの3層通信アーキテクチャ

Figure 3. Three Communication Layers Architecture for Flying Communication Server

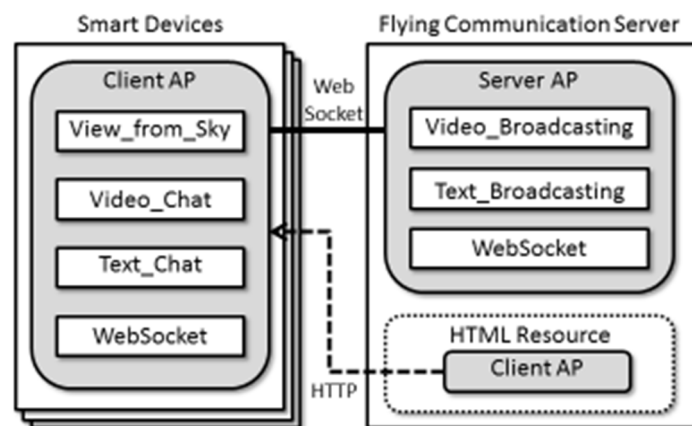


図 4 システム構成

Figure 4. System Configuration

図 4 にシステム構成の詳細を示している。本研究ではスマートフォン (Smart Devices) 用のクライアントアプリケーション (Client AP) を開発した。これにはドローンのカメラからの映像表示機能 (View_from_Sky), ビデオ通話機能 (Video_Chat), テキストチャット機能 (Text_Chat), WebSocket が含まれており, JavaScript で実装されている。サーバ側 (Flying Communication Server) にはサーバアプリケーション (Server AP) を開発した。これにはビデオ配信機能 (Video_Broadcasting), テキスト配信機能 (Text_Broadcasting), WebSocket が含まれている。HTML リソースはスマートフォンのブラウザがサーバにリクエストを要求したときにダウンロードされる。本システム構成により図 1 で示した利用イメージを実現できる。

4.2 試作機のスペック

図 5 は飛行型情報共有システムの試作機と使用したスマートデバイスのスペックである。使用するドローンは市販の DJI Phantom 2 (図 6) を使用した。使用したシングルボードコンピュータは Raspberry Pi 2 Model B で OS は Raspbian をインストールし, カメラは Raspberry Pi 用のカメラモジュールをドローンに取り付けている (図 7)。

Raspberry Pi の電源は Raspberry Pi 用にバッテリーを取り付けるのではなく, ドローンのバッテリーから供給できるようにしている。これは Raspberry Pi 用にバッテリーを取り付けてしまうと重量が増えてしまいドローンの飛行時間を短くしてしまうことを考慮したからである。また Wi-Fi の USB トングルは遠方まで電波が届きやすく, 遮蔽物の影響の少ない 2.4GHz を使用している。スマートデバイスには iOS 端末と Android 端末を使用している。

4.3 操作手順

飛行型情報共有システムの操作手順は 2 ステップある。あらかじめ, Wi-Fi のパスワードと, どの救助隊かを識別するためにログイン用の ID, パスワードを決めておく。

まず初めに, スマートデバイスと飛行型情報共有システムのサーバを Wi-Fi で接続する。次に HTTP 通信と WebSocket を確立する。以下に具体的な操作方法を示す。

- ステップ 1: スマートデバイスの Wi-Fi 選択画面でシステムの SSID を選択し, パスワードを入力する。
- ステップ 2: ブラウザを起動し, アドレス検索欄に “robot.net” を入力する。

Smart Devices			Flying Communication Server	
Hardware	OS	Web Browser	Hardware	Software
<ul style="list-style-type: none"> • iPhone 4s, 5, 5s, 6 • iPad 	<ul style="list-style-type: none"> • iOS (v9.1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Safari (v601.1) 	<ul style="list-style-type: none"> • RaspberryPi 2 B • USB Wi-Fi • RaspberryPi Camera Module 	<ul style="list-style-type: none"> • Raspbian (v4.1.6) • Hostapd (v2.0) • Dnsmasq (v2.62) • Apache2 (v2.2.22) • UV4L (v1.9.5-1)
<ul style="list-style-type: none"> • Nexus7 • AWOS • ZenPad 10 • Sony Xperia Z3+ 	<ul style="list-style-type: none"> • Android (v5.0.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Google Chrome (v39.0.2171.93) 	<ul style="list-style-type: none"> • Raspbian (v4.1.6) • Hostapd (v2.0) • Dnsmasq (v2.62) • Apache2 (v2.2.22) • UV4L (v1.9.5-1) 	

図 5 飛行型情報共有システムと使用したスマートデバイスのスペック

Figure 5. Prototype Specification



図 6 DJI Phantom 2 の上からの写真
Figure 6. DJI Phantom 2 Topside

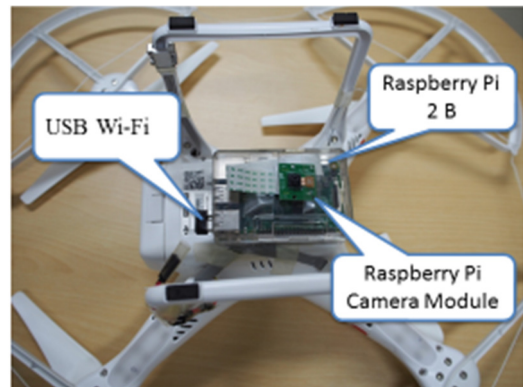


図 7 DJI Phantom 2 に Raspberry Pi 2 を取り付けた写真
Figure 7. Raspberry Pi 2 Model B on DJI Phantom 2



図 8 ログイン画面
Figure 8. Log-in Screen

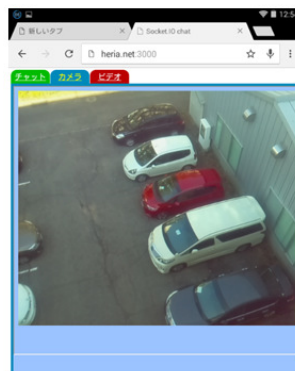


図 9 カメラの映像
Figure 9. Viewing the video from the sky



図 10 テキストチャット画面
Figure 10. Text chat

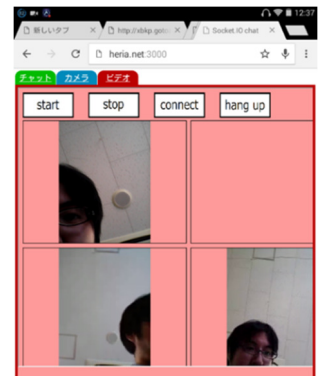


図 11 ビデオ通話画面
Figure 11. Video chat

ブラウザにログイン画面 (図 8) が表示されたら、ユーザを識別するための ID とパスワードを入力する。入力後カメラの映像を表示するタブ (図 9)、テキストチャット画面を表示するタブ (図 10)、ビデオ通話画面を表示するタブ (図 11) の 3 つのタブが表示され、ユーザは目的に応じてタブを選択することができる。ログイン後のタブの変更時に再度パスワードの入力を行う必要はない。また SSID 選択時、ログイン時のパスワード入力自体も不要にすることができる。

5. 実験と評価

3.2 節で示したシステムの要件を評価するために実験を行った。5.1 節と 5.2 節の実験ではスマートフォンの代わりにノートパソコンを使用した。ノートパソコンは Dell LatitudeE5330, OS は Windows 7, ブラウザは Google Chrome を使用した。ノートパソコンを使用した理由は FPS の値が簡単に表示でき、記録を取得するためである。

5.1 Wi-Fi 利用可能距離とフレームレートの関係

Wi-Fi の品質を計測するために、サーバに 1 端末を接続

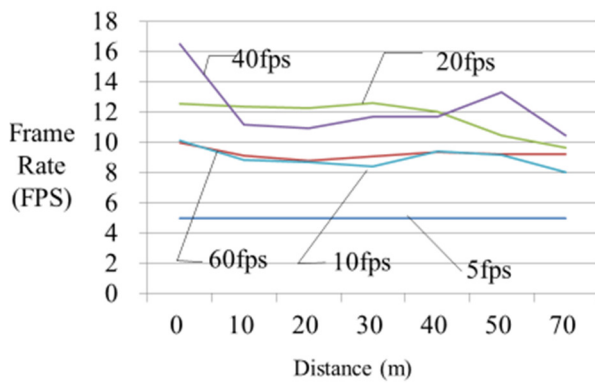


図 12 送信した FPS の値に対する受信した FPS の値
Figure 12. Measured FPS against sending FPS



図 14 実際に飛行させている場面
Figure 14. Real Flying Situation

し 0m, 10m, 20m, 30m, 40m, 50m, 70m のそれぞれの距離で、ノートパソコンで受信した映像の FPS の値を計測した。図 12 は実験結果を示している。FPS の値は Google Chrome の FPS カウンターを使用し計測を行った。横軸はサーバとノートパソコンの距離を表し、縦軸はノートパソコンで受信した映像の FPS の値である。それぞれの線はサーバからノートパソコンに送信している映像の FPS の値である。サーバから送信した FPS の値が 10fps の時、どの距離においても送信した FPS の値に対して同等の値で受信できている。結果より送信する FPS の値は 10fps とする。

5.2 サーバへの同時接続数とフレームレートの関係

5.1 節の結果より送信する FPS の値を 10fps に設定し、サーバへの同時接続数とサーバからの距離の関係を調べた。図 13 が実験結果である。縦軸は受信した FPS の値であり、横軸は距離、それぞれの線は同時に接続した端末の数を表している。5 端末で同時に接続した時に、どの距離からでも 5fps 以上受信できていた。この実験結果より 3.2 節のすべてのシステムの要件を満たしていることを確認した。

5.3 テキストチャットの実験

サーバをドローンに取り付ける前に、テキストチャットのメッセージ交換を行った。結果、問題なく使用できることを確認したので、実際の利用イメージに近い状態での実験を行った。長崎大学文教キャンパス内の体育館でドローンにサーバを取り付け飛行させた状態でテキストチャット

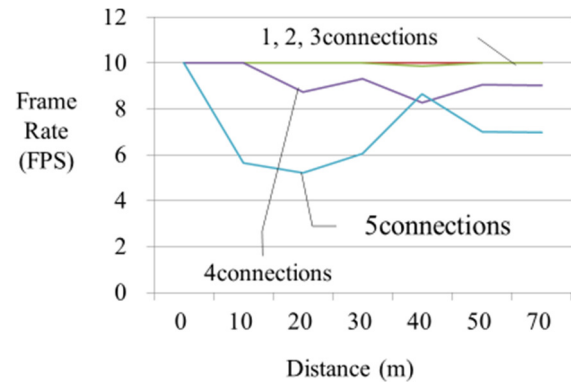


図 13 同時接続数による受信した FPS の値
Figure 13. Measured FPS against Simultaneous Connections

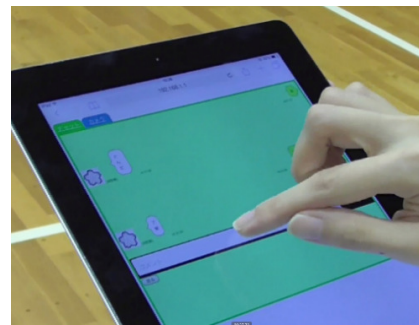


図 15 テキストチャットを行っている場面
Figure 15. Text chat

のメッセージ交換を行った。図 14 は実際に飛行させている場面である。この状態でテキストチャットを行ったが、少しの遅延はあったが問題なく使用できることを確認した (図 15)。

5.4 ビデオ通話の実験

5.3 節と同様にドローンを飛行させる前にビデオ通話を 5 端末で接続できるか確認した。結果、最大 3 端末での映像と音声の共有は、少しの遅延はあるが行うことができた。よって 3 端末で実際にドローンを飛行させた状態で同時接続できるか実験を行った。実験を行った結果、3 端末のビデオ通話は映像、音声共に使用できなかった。また、2 端末のビデオ通話では音声、映像共に使用できたが遅延が大きいため実際に使用するには改良を加えなければならないことが明らかとなった。これはシングルボードコンピュータの性能の限界が原因であると考えられる。さらに、ドローンに付属しているバッテリーを Raspberry Pi の電源供給に使用すると飛行できる時間が短くなり、約 10 分程度しか飛行できないという課題も分かった。今後、システムを継続して稼働させるために複数のドローンを使用した切り替え機構を考える必要がある。

6. おわりに

本研究では、災害時に異なる複数の組織による救助隊の隊員がそれぞれ所有しているスマートデバイスを使用して

情報共有することで救助活動の支援を行うことを目的とした。そのために、ドローンを用いた飛行型情報共有システムの試作機を開発し、現場で使われるための要件を想定し、システムの Wi-Fi 利用可能距離と同時接続数を計測する実験を行った。実験の結果より、3.2 節で定義した Wi-Fi の利用可能距離、カメラからの映像のフレームレート、同時接続数の 3 つの要件すべてを満たすことを確認した。

また、テキストチャットとビデオ通話の実験を行った。実験の結果より、テキストチャットについてはドローンを飛行させた状態でも少しの遅延でメッセージの交換を行えることが確認できた。ビデオ通話については、シングルボードコンピュータの性能の限界が原因でドローンを飛行させた状態でのビデオ通話は使用するのは、現在 2 端末が限界である。しかし、カメラ映像の共有とテキストチャットでのメッセージ交換をほぼリアルタイムで行えるため、異なる複数の組織による救助隊が連携して捜索活動を行うような状況においては問題がないと考える。チャットによるメッセージ交換は文章として画面に表示されているので、例えば、どの救助隊がどういった行動を行っているかを確認できるメリットがある。しかしメッセージ交換だけでは画面を確認し続けなければならないデメリットがあるため、今後はビデオ通話の性能の改善を行いチャットとビデオ通話の両方で情報共有ができるようにする予定である。また実際に使用するにはドローンのバッテリー容量の問題も解決する必要があるで、複数のドローンを使用し、本システムを継続して稼働させるための切り替え機構の導入も行う予定である。

参考文献

- [1] Takako Hashimoto, Tesuji Kuboyama, Basabi Chakraborty, Yukari Shirota, "Discovering Topic Transition about the East Japan Great Earthquake in Dynamic Social Media," Proceedings of Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), pp.259-264, 2012.
- [2] Camara, D., "Cavalry to the rescue: Drones fleet to help rescuers operations over disasters scenarios," Proceedings of IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), pp.1-4, 2014.
- [3] Ming-Chih Chen, Chien-Hsing Chen, Ming-Sheng Huang, Jheng-Yu Ciou, Guo-Tai Zhang, "Design of Unmanned Vehicle System for Disaster Detection," International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol.2015, Article ID 784298, 8 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/784298>
- [4] Boudergui, K., Carrel, F., Domenech, T., Guenard, N., Poli, J.-P., Ravet, A., Schoepff, V., Woo, R., "Development of a drone equipped with optimized sensors for nuclear and radiological risk characterization," Proceedings of 2nd International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA), pp. 1 - 9, 2011.
- [5] Parrot AR. Drone 2.0, <http://www.parrot.com/usa/products/>
- [6] Toru, K., Hiroaki, M., Shouta, B., "Flying Communication Server in case of a Large-scale Disaster," The 6th IEEE International Workshop on Network Technologies for Security, Administration and Protection (NETSAP), 2016.
- [7] Apvrille, L., Roudier, Y., Tanzi, T.J., "Autonomous drones for disasters management: Safety and security verifications," Proceedings of 1st URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT-RASC), pp.1-2, 2015.
- [8] Apvrille, L., Tanzi, T., Dugelay, J.-L., "Autonomous drones for assisting rescue services within the context of natural disasters," Proceedings of XXXIth URSI General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), pp.1-4, 2014.
- [9] Camara, Daniel, "Aerial drones fleet for rescue operations," Proceedings of 1st URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT-RASC), pp.1, 2015.
- [10] Cui, J.Q., Swee King Phang, Ang, K.Z.Y., Fei Wang, Xiangxu Dong, Yijie Ke, Shupeng Lai, Kun Li, Xiang Li, Feng Lin, Jing Lin, Peidong Liu, Tao Pang, Biao Wang, Kangli Wang, Zhaolin Yang, Chen, B.M., "Drones for cooperative search and rescue in post-disaster situation," Proceedings of IEEE 7th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), pp.167-174. 2015.
- [11] Xu Li, Dongning Guo, Huarui Yin, Guo Wei, "Drone-assisted public safety wireless broadband network," Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), pp. 323 - 328, 2015.
- [12] Merwaday, A., Guvenc, I., "UAV assisted heterogeneous networks for public safety communications," Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), pp. 329 - 334, 2015.
- [13] Uchida, N., Kimura, M., Ishida, T., Yoshitaka, S., Norio, S., "Evaluation of Wireless Network Communication by Autonomous Flight Wireless Nodes for Resilient Networks," Proceedings of 17th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS), pp. 180-185, 2014.
- [14] Uchida, N., Kawamura, N., Ishida, T., Shibata, Y., "Proposal of Autonomous Flight Wireless Nodes with Delay Tolerant Networks for Disaster Use," Proceedings Eighth International Conference on of Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), pp.146-151, 2014.