

# 無人航空機による災害時向けメッセージ蓄積中継システム

本間 寛明<sup>†1,a)</sup> 山崎 浩輔<sup>†1</sup> 定 知生<sup>†1</sup> 渡辺 伸吾<sup>†1</sup>

2011年に発生した東日本大震災では、40,000人以上が2,000箇所以上の避難所に避難した。避難所では、安否確認や救援物資の調達に向け、通信インフラの確保が極めて重要である。実際には、携帯基地局の倒壊や固定回線の切断などの地震被害から、迅速な通信回線の確保が困難なエリア（孤立地域）が発生した。

以上を教訓とし、大規模災害時の迅速な通信回線確保に向け、無人航空機（UA）を用いたメッセージ中継システムを開発した。本システムを利用することで、基地局復旧を待つことなしに、孤立地域と非孤立地域間でのメッセージ配送が可能となる。さらに、免許が不要である Wi-Fi を、UA と地上間通信に適用出来れば、さらなる迅速な通信回線の復旧が期待出来る。しかし、上空を高速移動する UA と地上間での安定通信は、Wi-Fi では極めて困難であるのが実情である。

そこで本稿では、UA の想定飛行高度における Wi-Fi の環境を測定し、その無線特性を明らかにする。その上で、複数の Wi-Fi チャンネルを同時利用することで、安定した通信の確保が可能であることを示す。

## 1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災では、東北地方をはじめとする人々の生活に甚大な影響を与えた。地震と津波により、交通手段や通信インフラが遮断され、他の地域との通信ができないといった孤立地域が多く発生した。これら孤立地域にいる被害者に対し、通信を含むライフラインを迅速に確保することが重要な課題である。表 1 に災害時に活用可能な復旧システムの特徴を示す。

|             | 小型無人航空機 (UA)                     | 車載基地局                | 衛星携帯電話             |
|-------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|
| サービス開始までの時間 | 災害発生から数時間後                       | 車載基地局現地到着から数時間後      | 震災による通信断絶はなし       |
| サービス提供範囲    | UA 滞空時間依存ながら、半径数 km はカバー可能       | 車で移動できる場所から 1.5km 程度 | ほぼ全エリアをカバー         |
| 利便性・通信端末    | Wi-Fi                            | 通信事業者に依存             | 衛星携帯電話             |
| 備考          | バルク伝送のみ対応可能<br>避難所に UA との通信装置が必要 | 現地までの道路網が必要          | 導入コストが高い<br>普及率が低い |

表 1 災害時復旧システム

通信インフラの復旧は小規模な災害の場合は、基地局装置置換や、衛星車載基地局のように比較的迅速にできるものもあるが、大規模災害のような長距離を結ぶネットワークが数か所切れた場合は、衛星通信のような比較的高額な手段に頼らざるを得ないのが現状である。衛星通信は、衛星局と地上局との距離が長いため、周波数の利用効率が低く、また衛星 1 基あたりのカバーエリアが広く、利用ユーザ数が多い場合には、十分な容量の確保が難しい。そこでこういった広範囲にわたる災害直後に小型無人航空機 (UA: Unmanned Aircraft) を活用することが提案されている [1,2]。UA は荒天などを除き、遠方の交通が途絶された被災地（孤立地域）へも飛行可能で、軽量であれば通信機材を搭載することができる。車載基地局、衛星携帯電話と比

較し、UA 単機では End-to-End の接続が確立した通信で長距離を接続することは難しいが、ショートメッセージや電子メールなどリアルタイムでなくとも通信が成り立つコンテンツであれば、通信事業者によらず災害発生後数時間で通信を成立させることが可能である。また、2012 年の世界無線通信会議において、UA 向けの周波数帯が新規に割り当てられるなど、UA の民間利用への期待が高まっている [3]。

本稿では、まず 2 章で災害時に求められる UA の要求条件を明らかにする。次に、3 章で UA と地上間の通信における問題点を、実験を通じて明らかにする。さらに、複数の Wi-Fi チャンネルを同時利用することで、安定した通信の確保が可能であることを示す。4 章では、筆者らの開発した、孤立地域と非孤立地域間でのメッセージ蓄積中継システムについて詳細を述べる。

## 2. UA を用いた災害時の通信システム

本章では、東日本大震災における実際の被災状況から、災害時の通信システムに求められる要件を明らかにする。特に、避難所で発生した通信要求を確実に配送するという観点から、UA と地上間での Wi-Fi 通信に求められる性能要件について詳細検討を行う。

### 2.1 UA を用いた災害時の通信システム設計

宮城県仙台市の避難所を例に、災害時に必要な通信システムの要件について検討する。

仙台市には指定避難場所（避難のための広場と建物を備えた施設で、私立の小学校、中学校、高等学校が指定）は 193 箇所あり、約 200 人から約 2,500 人規模の避難施設がある [4]。仙台市には、図 1 に示すように 500～1,000m ごとに避難所が指定されている [5]。

<sup>†1</sup> (株)KDDI 研究所  
KDDI R&D Laboratories Inc., Fujimino-shi, Saitama, 356-8502, Japan.  
a) ho-honma@kddilabs.jp



図 1 仙台市における避難所

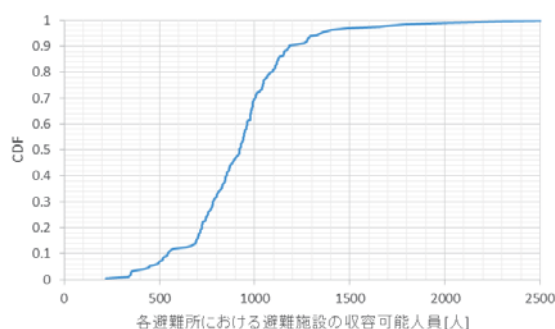


図 2 仙台市の各避難所における避難施設の収容可能人員

図 2 に示すように各避難所の収容人数の中央値は 1,000 人である。1,000 人が安否確認メール（テキスト形式の 22.7kbyte 程度<sup>a)</sup> のメール）を、1 日あたり 1 人 10 通送信すると仮定した場合、1 避難所あたり 200Mbyte 程度の送信データ量となる。これらのデータ量を 1 日で届ける必要がある。

次に、UA を用いて中継できるメッセージのデータ量を示す。UA が避難所上空を巡回し、Wi-Fi により通信する場合を考える。建物などの障害物を回避することを考えると上空 100m 程度を UA が巡回する必要がある。この時、24Mbps 程度の伝送レートが確保できたものとし、1 避難所あたりの送信データ（200Mbyte 程度）を、1 分程度で送信が完了する。また、隣接した避難所との距離が 1,000m、UA の飛行速度が 80km/h であるとした場合、巡回によるデータ受信および隣接の避難所に到着するまでにかかる時間が 2 分程度必要となる。UA の航続時間が長い固定翼機である場合、1 フライトが 2 時間程度であることから 1 フライトで計 50～60 箇所の避難所を回ることができる[6]。つまり 4 フライト行えば概ね仙台市の避難所を回ることができる。1 フライトに 2 時間を要する場合、充電時間を無視すると、UA1 機の場合でも 8 時間程度で仙台市の避難所すべてをカバーすることが可能と考えられる。

a IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document で規定されている E-mail トラフィックモデルの平均送信サイズ

次に、UA と地上装置間との通信の方法について考える。着陸せず無線を用いる場合と、着陸後に有線接続をする場合が想定される。有線を用いる場合、避難所への着陸、有線によるデータ転送、プリフライトチェック、離陸の各工程を実施する必要がある。固定翼の UA における、飛行高度に対する離陸および着陸にかかる時間は、UA の飛行高度を 100m とした場合、いずれも 1 分～2 分程度である。一方、プリフライトチェックは、安全に飛行するために必要な工程であり、バッテリー残量確認、GPS 信号確認、搭載ジャイロ、プロペラ等の動作確認などを行うものである。本工程は、専門知識を備えたオペレータが実施する必要がある。仮に UA が着陸せずに、UA と地上装置間で無線による通信を行った場合には、この時間内で通信可能なデータ量は 3.5Gbyte 程度である。1 避難所あたりメッセージの量が 200Mbyte 程度であることと、災害発生直後など避難所にオペレータを配備することが難しいことから、孤立地域となっている避難所においては、UA を避難所上空に巡回させ、UA と地上装置の間は無線による通信を行うのが妥当と考える。

## 2.2 解決すべき課題

これまで説明した UA を用いた災害時の通信システムを実現する上で、課題は大きく 2 点ある。

### ・UA と地上間での通信問題

UA と地上間では、Wi-Fi を利用することを想定している。通常の Wi-Fi 装置の利用シーンとは異なり通信距離が長い。ため、伝搬損失が大きい。加えて UA は数十 km/h で飛行し、激しく無線品質が変動することから、通信品質を確保できない可能性が高い。

### ・メッセージルーティング問題

UA を用いた通信では、End-to-End の通信が常時行えず、リンクが断続的に確立される。さらに孤立地域のユーザが別の避難所に移動することが考えられる。このような環境において、別の避難所に移動したユーザ端末宛のメールを届けるため、ユーザ端末の位置を管理する必要がある。

前者は 3 章で、後者は 4 章で課題の詳細、及び提案する解決手法について述べる。

## 3. UA と地上間での通信

本章では、筆者らが開発したメッセージ蓄積中継システムにおいて、UA と地上間で安定した通信を確保するための手法を提案し、その有効性を明らかにする。

### 3.1 UA と地上間で想定する問題

本システムでは、地上装置と上空の UA との通信に Wi-Fi を用いている。地上と上空の Wi-Fi 通信において、一般的な地上の Wi-Fi 機器同士の通信とは異なり、以下のような課題が想定され、これらによってスループットの低下が懸念される[7]。

- 上空百数十 m を飛行する UA と地上装置の通信距離が長く、伝搬損失が大きい、また UA の高速移動に伴い、激しく無線品質が変動する。
- 上空百数十 m を飛行する UA からは、地上の広範囲を見渡せるため、地上にある多くの Wi-Fi 機器からの干渉信号を受ける。
- 地上から上空の UA への通信において隠れ端末問題が多発する可能性が高い。

これらの問題を調査するため、まず高所における影響をフィールド測定の結果を元に示す。一般的に Wi-Fi 通信におけるスループット特性に影響する主な要因は、CSMA/CA により得られる送信の機会の度合いや送信時の変調レートであり、多数の Wi-Fi 機器がある環境においては、前記に加えて無線フレームの衝突・再送の発生があげられる。そこで、本節では UA の飛行高度における Wi-Fi 通信を想定し、高所と地上に設置した Wi-Fi 機器を用いた測定を実施し、地上と上空との Wi-Fi 通信の特徴をスループットに影響を与える前記要素の観点から明らかにする。

### 3.2 上空における無線環境

高所での無線環境を調べるために東京タワーの鉄塔内の階段に Wi-Fi 機器を設置した。測定場所を図 3 に示す。左は測定場所、右は測定場所から見た風景である。

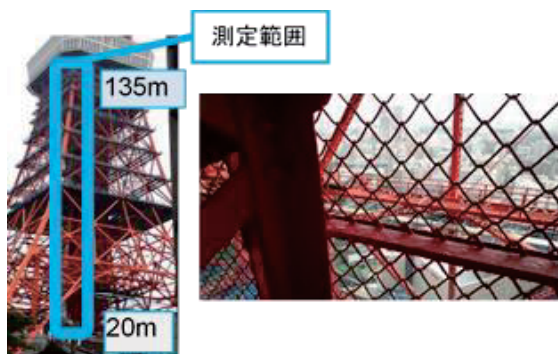


図 3 東京タワーでのフィールド測定場所

高度 20m から 135m まで 16 地点において、無線区間の Wi-Fi フレームをキャプチャした。図 4 に各高度で検出された Wi-Fi アクセスポイント (AP) 数と、データフレーム数の関係を示す。

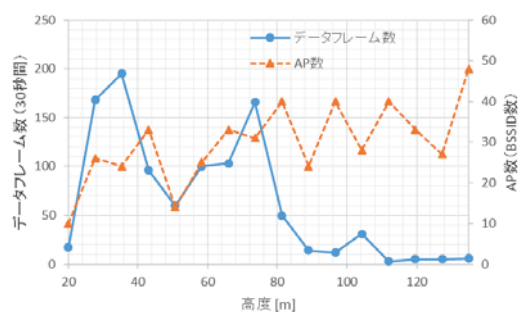


図 4 各高度における AP 数とデータフレームの数

図 4 より AP 数は高度と共に増加するが、受信できるデータフレーム数は高度 80m 付近から減少している。これは、一般的にデータフレームの変調レートは、ビーコンフレームよりも高く、ビーコンフレームより先にデータフレームが復調出来なくなったためと考えられる。データフレームに対してビーコンフレームの送信量は少ないことが一般的であることから、80m 以上の高度における Wi-Fi 機器がキャリアセンスを実施しても Busy と判断されにくく、上空にある Wi-Fi 機器では多くの送信機会を得ることができる。

### 3.3 地上と上空の Wi-Fi 通信

データフレームが復調できない場合やキャリアセンスを行っても Busy と判断されない場合でも、変調レートが高いデータフレームが存在した際には雑音となり、受信信号に加算されるため、受信の際に復調する信号品質が劣化してしまうことが予想される。また、地上と上空で無線環境が異なることから、周囲の環境によるスループットの変動が予想される。復調が出来ないほどの信号レベルの弱いフレームや非 Wi-Fi 機器からの信号などにより生ずるノイズレベルの上昇の影響を調べるために、高所での無線環境測定として東京タワーの展望台である高度 145m 地点に Wi-Fi 機器を設置し、地上の各地点との UDP による 30 秒間の通信実験を実施した。測定場所を図 5 に示す。

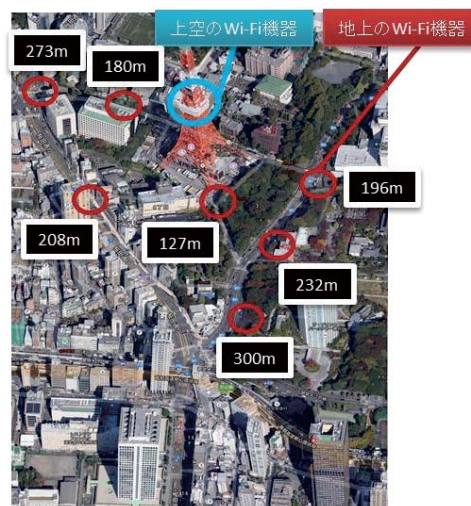


図 5 測定場所

図 6 に上り通信（地上から上空）と下り通信（上空から地上）のそれぞれにおける，データフレームが正しく受信できた際の RSSI と変調レートとの関係を示す。

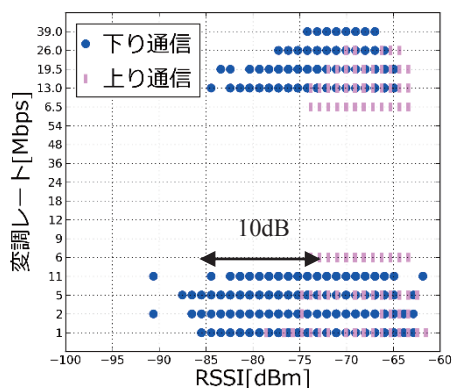


図 6 RSSI と変調レートの関係

下り通信と比べて，上り通信では同一の変調レートに必要な RSSI が 10dB ほど高くなっていることが分かる。これは，上空では，地上にある広範囲の Wi-Fi 機器からの信号を受け，地上に比べて 10dB 程度雑音レベルが上昇し，SNR が低下してしまうためと考えられる。

次に，バンド（2.4GHz と 5GHz）ごとの UDP スループットを示す（図 7）。

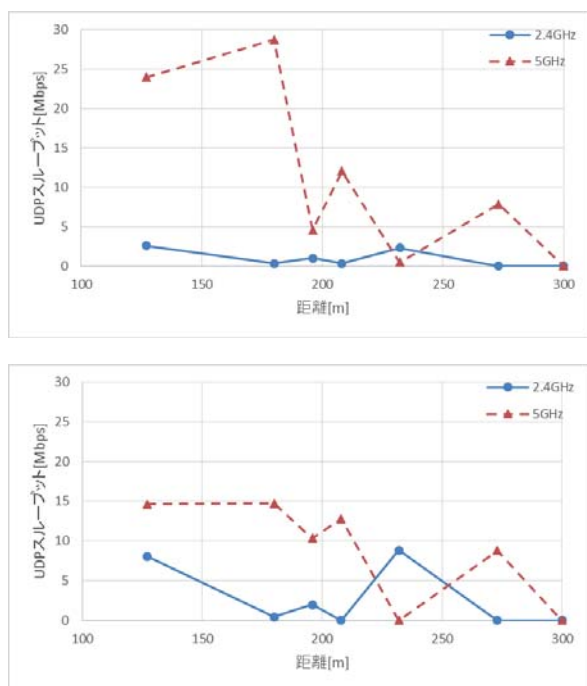


図 7 UDP スループット

（上：上り通信（地上⇒上空），下：下り通信（上空⇒地上）

5GHz の方が 2.4GHz よりも全体的にスループットが高くなっている。これは 5GHz に比べ，2.4GHz は周囲からの干渉を受けていた状態である。しかし受信電力と，周囲の環

境によっては，230m 地点のように，2.4GHz の方が特性の良い場合も存在する。これは帯域を専有できないアンライセンストバンドに起因しており，同一バンド内でも発生する。以上から無線環境の変動に応じて利用するチャンネルを変化させる動的な制御が重要となることが分かる。

### 3.4 通信品質を考慮したマルチリンク通信の提案

前節の測定で，特定のリンクのみを用いた場合には，無線環境によっては，通信速度が大きく低下することがわかった。この問題を解決するために，品質に応じて複数のリンクを使い分けることを提案する。

避難所に設置する地上装置と，UA との通信において，安定した品質を確保するため，複数のリンクを用いで無線伝送する必要があるが，各リンクの通信品質を考慮せずに通信すると，品質が悪いリンクにキューがたまり，パケットロスが発生してしまうことが想定される。そこで，無線の品質に応じてパケットを振り分けることで，効率的に通信を実施する。

以降にマルチリンク通信用 AP/STA を構成する各機能の詳細を示す。

#### 3.4.1 マルチリンク通信用 AP/STA の構成図

本装置は避難所に設置する地上装置と，UA との通信において，安定した品質を確保するため，複数のリンクを用いて無線伝送する装置である。図 8 に提案するマルチリンク通信装置の構成図を示す。

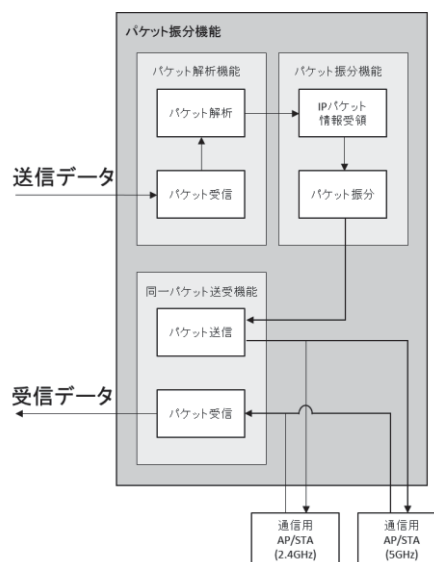


図 8 マルチリンク通信装置の構成図

パケット振分機能によって，通信品質を解析しリンク毎に通信量を動的に変更する。

#### 3.4.2 パケット振分機能

UA が上空を高速移動することから，無線品質が激しく変

動することが想定される．そのため，TCP と UDP パケットを対象に，動的に算出する振分比率に応じ，該当するリンク用の SSID に割当られた VLAN ID を付加し，目的とするリンクに送信する．

#### ① 振分可否判定

無線品質が悪く，通信セッションが確立しないリンクを利用しないようにするため，各リンクで RSSI を測定し，その値で使用可否を判断する．

振分可能：RSSI が使用可能判断値以上になった場合

振分不可能：RSSI が使用不可能判断値未満になった場合

なお，両方の周波数帯が振分可能な場合にのみ振り分けする．振分可能な周波数帯が 1 個の場合は，その周波数帯に対する条件判断を行わない．

#### ② 振分比率算出

以下の式で再送パケット率を算出し，各周波数帯での再送パケット率を比較する事により，振分比率を算出する．

再送パケット率算出式：再送パケット数 ÷ (再送パケット数 + 初送パケット数)

振分比率算出式：現振分比率 + Step (条件 1) / 現振分比率 - Step (条件 2)

条件 1：(リンク 1 再送パケット率 - リンク 2 再送パケット率 - Hys) ≠ 0

条件 2：(リンク 2 再送パケット率 - リンク 1 再送パケット率 - Hys) ≠ 0

Step，および Hys は値を調整する用のオフセット値である．条件の優先度は，条件 1 が条件 2 より上で，何れの条件も満たさない場合は，振分比率の算出は行わない．

なお，再送パケット率の算出に使用する再送パケット数，初送パケット数は，本機能が動作する装置により，以下のパケットが対象になる．

地上装置：AP から STA へのデータパケット

UA：STA から AP へのデータパケット

#### ③ パケット振分

両リンクが利用可能な場合は，無線側に送信するパケットを，送信元のポート単位で，各リンクへ振分を行う．使用中のポートが 1 ポートの場合は，設定ファイルで指定された側のリンクを使用し，ポート数に振分比率を乗じたポート数がリンク 2 で使用するポートとする．パケット振分は何れかのリンクのみが振分可能な際に確立したセッション，または両周波数帯が振分可能な際に確立した最初のセッションに関しては，パケット振分の対象とせず，その後確立したセッションのみ振分比率に応じたパケット振分を行う．

### 3.5 性能評価

前節で提案した手法の効果をフィールド実験により検証する．

#### 3.5.1 実験諸元

本測定では，高度 100m 以上を飛行する UA と地上間との通信を模擬するため，図 9 に示すように，高層ビルの上層階に設置したマルチリンク通信用 STA と，地上に設置したマルチリンク通信用 AP とが見通しになる環境で，高度を 110m に固定して地上側の位置を変えて測定を実施した．



図 9 測定地点

#### 3.5.2 結果

双方向に，30 秒間 TCP 通信を実施した際の結果を示す．図 10 は AP から STA へ，図 11 は STA から AP への通信である．リンク 1 は 104ch で，リンク 2 は 130ch である．

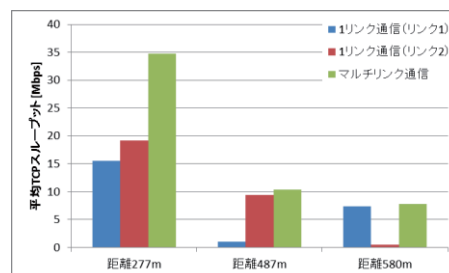


図 10 各地点における TCP スループット (AP->STA)

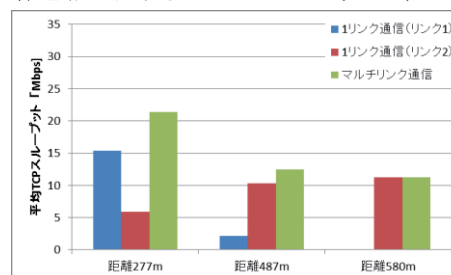


図 11 各地点における TCP スループット (STA->AP)

図 11 では、距離 277m 地点と距離 487m 地点でリンク 1 とリンク 2 の特性が逆転している。また、距離 580m 地点においては、リンク 1 は通信ができなくなっている。これらは、AP 周辺の無線環境が異なることを意味し、AP の場所によって適したリンクがあることを示唆する。一方、マルチリンク通信では片方のリンクが低品質の場合でも、他方のリンクで高品質な通信を行うことができ、高速な通信が可能であることが分かる。

また、遠方の Wi-Fi 機器と通信した際の安定性を評価するために、瞬時スループットの観点からも評価を行った。距離 487m 地点における AP から STA への通信時の瞬時スループットの CDF を図 12 に、距離 580m 地点を図 13 に示す。ここで瞬時スループットとは 1 秒間の平均スループットである。

AP/STA 共に固定しているにもかかわらず、変動していることがわかる。これは周囲のトラフィックや、車などによる遮蔽、反射波などの影響と考えられる。図 12 のリンク 2 や図 13 のリンク 1 のように、AP と STA 間の距離や周辺の Wi-Fi 装置による干渉等により、5Mbps 以下が 90%以上を占める場合でも、マルチリンク通信を行うことで 5Mbps 以下となる確率を 50%以上削減できている。同様に、STA から AP への通信でも、距離 580m 地点のリンク 2 のような低速なリンクを STA が選択したとしても、マルチリンク通信により 5Mbps 以下となる確率を 5%以下に低減することに成功している。

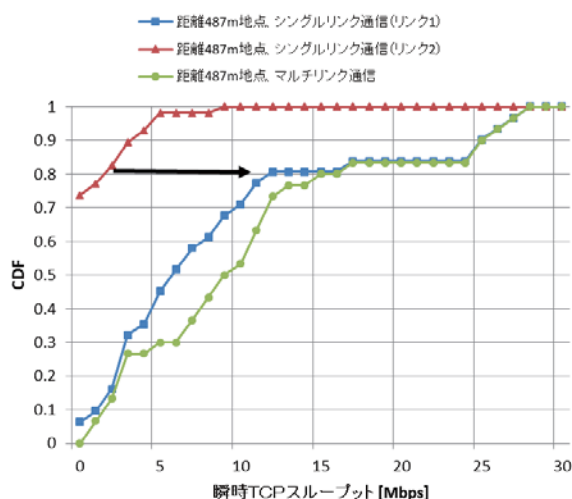


図 12 距離 487m 地点における瞬時 TCP スループットの CDF (AP->STA)

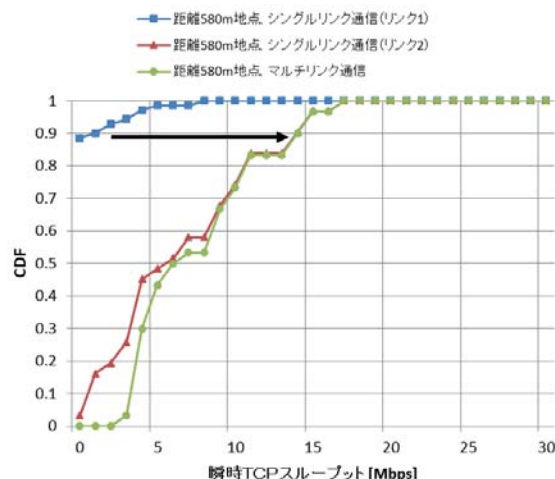


図 13 距離 580m 地点における瞬時 TCP スループットの CDF (AP->STA)

## 4. メッセージ蓄積中継システム

本章では、2 章で述べたユーザへのメッセージルーティング問題の解決法について述べる。

東日本大震災のような大規模災害では、孤立する地域が広く、非孤立地域とは地理的に距離があり、また、短時間で通信・道路インフラの回復が期待できない遠隔地に避難所ができることも想定される。そこで、このような環境において生ずる課題を解決するために、少なくとも UA が飛行に要する時間（15 分～2 時間程度）の遅延に耐えうる通信手法が必要である[8]。

また、UA によるメッセージ蓄積中継技術では、ユーザの移動に加えて、既存システムの基地局に相当する UA も移動するため、どのユーザ端末がどの UA の配下にいるかといった配信経路（ネットワークポロジ）が時々刻々と変化し、かつ断続的につながるネットワークポロジを適切に管理・把握しメッセージを配信する技術が必要である。さらに、限られた UA の資源や飛行時間を有効に活用するためには、目的とする宛先ユーザにメッセージを配信する技術が必要である。また、End-to-End での常時接続が確立されていないため、キャリアメールなど、商用のサービスを用いることができない。

そこで、ユーザ端末および UA の識別子をもとに、ネットワークポロジを時刻情報と共に管理・把握し、宛先とするユーザ端末および経由する UA に対してメッセージを適切に配信する配信経路制御技術が必要である。

### 4.1 システム構成

#### 4.1.1 装置概要

メッセージ蓄積中継システムは、メッセージゲートウェイ、メッセージ集配装置、メッセージ保管装置、Wi-Fi 端末から構成される。メッセージ集配装置とメッセージ保管

装置との無線区間の通信には前章で述べたマルチリンク通信用 AP/STA を用いている．図 14 にシステムの概要を示す．

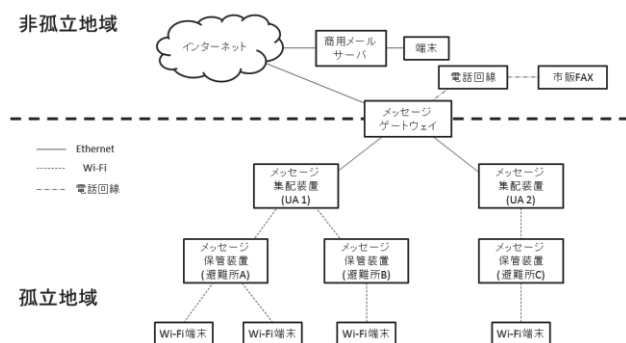


図 14 開発システムの概要

各装置の概要を以下に示す．

- メッセージゲートウェイ

通常のリアルタイムにメッセージを配信できるネットワーク（インターネット）と孤立ネットワークとの相互接続を実現するため、異なる二つのネットワークにおけるメッセージ配信方式を変換する．孤立地域側のネットワーク内の Wi-Fi 端末の接続状況を管理し、メッセージを適切にルーティングする．また、電話回線にも接続し、FAX の送受信を実施する．

- メッセージ集配装置（UA に搭載）

被災者が避難所を異動してもメッセージが届けられるように、Wi-Fi 端末の避難所への接続履歴を活用して、メッセージの配信先を制御する．

- メッセージ保管装置（避難所に設置、地上装置に対応）

Wi-Fi 端末からのメッセージを蓄積し、メッセージ集配装置に対してメッセージを転送する．Wi-Fi 端末の接続履歴を管理する．

- Wi-Fi 端末

メッセージ蓄積中継システムに対応したメールアプリ（以降、災害アプリ）により UA による通信が可能となる．efax を用いた FAX も実現している．

メッセージゲートウェイ、集配装置、保管装置の外観を図 15、図 16 に示す．



図 15 メッセージ集配装置



図 16 メッセージ集配装置（左）、メッセージ保管装置（右）

## 4.1.2 メッセージ蓄積配信機能

図 17 のようにリンクごとのメッセージを蓄積、転送を行なって、メッセージを宛先まで届ける．次の通信ノードとのリンクが確立されていない場合、送信キューにメッセージを蓄積し、リンクが確立された後に、次の通信ノードへと転送を行う．

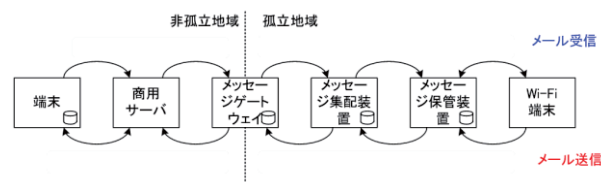


図 17 メッセージ蓄積配信

メッセージを的確に届けるため、被災者がどの避難所にいるかを各メッセージ保管装置は DHCP による接続履歴により管理する．メッセージ保管装置はメッセージ集配装置との通信リンクが確立すると同時に接続履歴情報を送信する．同様にメッセージ集配装置はメッセージゲートウェイに対して自身が保有している最新の接続履歴情報を送ること、各装置はツリー状に端末の情報を管理することができる．

## 4.1.3 アプリ配信機能と災害時用メールアドレス付与機能

前述のとおり、キャリアメールなどの商用のサービスを用いることができない．そのため、本システム内でメッセージの送受信をする専用のメールアドレスが必要である．しかし全員が事前に専用アドレスを取得することは難しく、災害時に専用のメールアドレスを発行し、利用するための仕組みが必須である．

本システムでは利便性確保のため、メッセージ保管装置にアプリを保存しておき、Web ブラウザ接続を行い、アプリをダウンロード、インストールする．接続先の URL は手動入力または NFC で自動的に取得する．アプリの初回起動時にメッセージ保管装置は Wi-Fi 端末からの HTTP リクエストにより MAC アドレスを受け取り、メールアドレスを生成して Wi-Fi 端末へ HTTP レスポンスを通して渡す．受け取った Wi-Fi 端末はアプリにメールアドレスの設定をする．

## 4.1.4 ネットワーク通知機能

災害などでネットワークが孤立した際に、各ノードは孤立していることを認識することができず、またネットワークが孤立状態から復旧した場合も同様に認識することができない．つまり、Wi-Fi 端末が受動的にネットワークの孤立/非孤立の状態を知ることができない．この問題を解決するために、ネットワークが孤立/非孤立状態であることを確認する仕組みが必要である．

本システムでは ISC DHCP をカスタマイズしてネットワークの状態を確認する．孤立ネットワークであることを示す文字列情報をベンダー固有のオプション（オプション 43）で送る．DHCP クライアント側ではベンダー固有のオプションに孤立ネットワークであることを示す文字列が設定されているかを，DHCP 情報の受け取り時に判断し，その情報を保持しておく．図 18 のように Wi-Fi 端末が保管装置から DHCP により IP アドレス取得時に本情報を獲得し，アプリ上に表示する．



図 18 ネットワークステータス確認画面

#### 4.1.5 ルーティング管理機能

ユーザ宛のメッセージを転送するために，ユーザがどの保管装置と接続されているかを管理する必要がある．また，ユーザが別の避難所などに移動し，別の保管装置と接続された場合においても，メッセージがユーザまで伝送されなくてはならない．本システムでは，以下のフォーマットでユーザ端末の情報を管理している．

- ・ MAC アドレス
- ・ 災害時用メールアドレス
- ・ EID
- ・ DHCP 割り当て時間

ここで EID とは，メッセージ保管装置毎に存在する固有の ID である．また，Wi-Fi 端末情報を受信するごとに，当該 Wi-Fi 端末の DHCP 割り当て時刻が保有している情報より新しいものかを判断し，新しければ更新する．これらは，上位の保管装置，集配装置の通信リンクが確立された際にデータ通信より先に上位装置に送信することで，Wi-Fi 端末に正しく送信する．この機能により，ユーザが別の避難所に移動した場合においても，ルーティングを変更し，ユーザの元へメッセージを配送する．

## 5. おわりに

大規模災害などによる通信・道路インフラが断絶した遠隔の被災地の通信を早期に復旧することを目的に，UA を用いた通信システムを検討している．

本稿では，上空数百メートルを航行する UA と地上間での Wi-Fi 通信における課題として，地上間の通信に比べて隠れ端末となりやすいこと，そのため上空側では雑音レベルが高くなることをフィールド測定の結果から示した．また複数の Wi-Fi リンクを同時に利用することで，高度 110m 地点と地上間における通信の安定化を確認した．また，断続的につながるネットワークを経由してメッセージを届けるために，UA を利用したメッセージ蓄積中継システムを開発した．

今後，装置の小型化を実施後，実際に UA 等に搭載し無線環境の測定，提案手法の効果を確認する．また，被災者宛のメッセージを送信出来るような仕組みを導入する．これらを確認，解決していき災害時に役に立つシステムとして改良を実施していく．

## 謝辞

本研究開発は，総務省平成 26 年度「無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び共用技術の研究開発」の成果の一環です．

## 参考文献

- 1) Carlos, A, et al.: UAV Aerial Imaging Applications for Post-Disaster Assessment, Environmental Management and Infrastructure Development, ICUAS, pp.274-283 (2014).
- 2) Gurkan, T, et al.: Design Strategies of Unmanned Aerial Vehicle-Aided Communication for Disaster Recovery, HONET, pp.115-119 (2012)
- 3) WRC-12 より  
<https://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=conferences&mlink=wrc-12&lang=en>
- 4) 仙台市ホームページより  
[https://www.city.sendai.jp/kurashi/shobo/bosai/1188545\\_1387.html](https://www.city.sendai.jp/kurashi/shobo/bosai/1188545_1387.html)
- 5) せんだいくらしのマップより <http://www2.wagmap.jp/sendacity/>
- 6) 三浦龍 他: 対災害ワイヤレスメッシュネットワーク ーテストベッドの概要ー, 信学技法, No.2, RCC2013, pp.21-26 (2013)
- 7) 小峯敏彦 他: 無人航空機による耐遅延型メッセージ蓄積配信システムの飛行高度に関する一検討, 信学技法, No.436, SAT2013, pp.5-9 (2013).
- 8) 小峯敏彦 他: 無人飛行機による耐遅延型メッセージ蓄積配信システムの提案, 信学ソ大, B-3-17 (2013)