

## 無線イーサフォンによる音声通信システムの構成

村瀬 穂貴\* 小高 知宏\* 黒岩 丈介\*\* 白井 治彦\*\*\*

### Voice Communication System Using the Wireless Etherphone

Hotaka MURASE\*, Tomohiro ODAKA\*, Jousuke KUROIWA\*\* and Haruhiko SHIRAI\*\*\*

(Received February 24, 2017)

In this article, we propose a disaster communication system using ad-hoc mesh network. In this system, we use the Etherphone which is communication technology using only the data link layer and the physical layer of OSI reference model. In previous research it was shown that the wireless Etherphone can perform ad-hoc communication. However, it is not shown that voice communication can be performed with the wireless Etherphone. It shows that voice communication is possible with the wireless Etherphone.

**Key Words** : Etherphone, Disaster Communication, Ad-hoc network, Mesh Network

#### 1. はじめに

近年の日本においては、2011年の東日本大震災や、2016年の熊本地震など地震災害が多発している。これらの大規模な災害が発生した場合、安否確認や救助活動などのために情報伝達手段の確保が重要である。しかし、これは災害の規模が大きくなるほど困難になる。

普段、我々が利用している通信ネットワークは、大きく分けて2種類のネットワークによって成り立っている。1つ目は、ユーザーの端末と最寄りの電話局や基地局などの間を接続するアクセスネットワークである。これは、旧来の電話に用いられるメタル線や、近年のFTTHサービスに用いられている光ファイバーのような有線によるものと、携帯電話や無線LANなどの無線によるものがある。2つ目は、電話局や基地局などを相互に接続する基幹ネットワークあるいは、バックボーンである。これは、光ファイバーを用いた

有線によるものが用いられている。このような通信ネットワークは平常時において、我々に安定して高速な通信環境を提供している。しかし、地震等の災害発生時には状況が変わる。それはアクセスネットワークが通信可能であったとしても、基地局や基幹ネットワークに物理的な損壊が発生したり、停電により電力供給が無くなったりすることで、通信不能になる可能性があるからである。また、基地局や基幹ネットワークに物理的な損壊が無い場合でも、災害発生直後には、発生地域に内外から接続要求が集中することになる。そのため、輻輳状態になり通信を行えなくなってしまう。こうなってしまうと、遠方に済む家族の安否確認などはもちろん、生命に関わる重要な連絡さえもできなくなる可能性がある。

このような災害時における通信の問題を解決するために、様々な手法に関する研究が行われている。そのなかでも、アドホックネットワークを利用した災害時通信に関する研究が多数行われている。アドホックネットワークとは、移動端末によって一時的に形成され、固定的なインフラや集中管理機構がない無線ネットワークのことである<sup>[1]</sup>。本研究においても、アドホックメッシュネットワークを利用した災害時通信システムを対象に研究を行った。

一般に、アドホックネットワークの研究において

\* 大学院工学研究科 原子力・エネルギー安全工学専攻

\*\* 大学院工学研究科 知能システム工学専攻

\*\*\* 工学部技術部

\* Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course,  
Graduate School of Engineering

\*\* Human and Artificial Intelligence Systems Course,  
Graduate School of Engineering

\*\*\* Technical Division

は、AODV や DSDV といったプロトコルを拡張する研究が行われている [2][3]。一方、本研究では、福井大学が特許を有する通信技術であるイーサフォンを利用した災害時通信システムを検討する。イーサフォンは、OSI 参照モデルにおける第 2 層以下のイーサネットの機能のみを用いる通信技術である。先行研究において、無線イーサフォンを用いてアドホック通信を行うことが可能であると示されている [4]。しかし、これが音声通信に使用できることは示されておらず、また、実際の環境を想定した大規模ネットワークで使用できることも示されていない。そこで本研究では、この 2 点の内、無線イーサフォンによる音声通信を想定した実験を行った。

本論文では、2 章で災害時通信システムの概要と、イーサフォン通信技術を用いた構成について述べる。3 章では、イーサフォン無線通信端末の構成について述べる。4 章では、今回行った実験の方法と結果について述べる。5 章では、実験結果に対する考察を述べる。最後に、6 章でまとめを述べる。

## 2. イーサフォンによる災害時通信システムの構成

### 2.1 災害時通信システムの概要

本研究における災害時通信システムは、地震、津波、洪水、台風などの広域にわたる大規模な災害の影響によって、常用する通信インフラが使用できなくなった場合に、それを代替する応急的通信インフラのことである。災害時通信システムにおいて、使用不能になった通信ネットワークに対して、代替的に構築したネットワークのことを災害時通信ネットワークと呼ぶこととする。

伝達する情報の内容は、災害が発生した際の警察や消防による被災者の捜索・救助、緊急通報や避難誘導、被害情報の収集、連絡、復旧活動支援、被災者同士の安否確認などが挙げられる。この通信インフラは、被災地で破壊され利用できなくなった通信インフラを修復するわけではない。常用の通信インフラが完全復旧するまでの一時的な通信インフラである。したがって、常用のインフラとは求められる性質が異なる。ネットワーク構築にかかるコストが安価であることや、ネットワーク構築や通信に手間がかからないといった即応性、二次災害による被害を受けにくいという耐障害性、ネットワークを維持する電力が少なく済むことが求められる。

このような需要を満たすために、先行研究では、主にアドホックネットワークやメッシュネットワークと呼ばれるネットワーク形態が用いられる。これらの

ネットワーク形態では、広くコンピュータ間などの無線通信に用いられる IEEE802.11x や Bluetooth などの通信技術をベースに使用する。その上で、通信の際にはアクセスポイントやルーターを用いず、目的ノードまでマルチホップ通信を行う。しかし、それらの無線マルチホップ通信では、最適化されたルーティングプロトコルを用いる必要があり、手間がかかる。また、情報の伝達内容や伝達頻度、利用目的や利用規模によってネットワークの構成方法は様々である。そこで本研究では、設定不要で、簡単に通信可能なイーサフォン通信技術を利用する無線通信端末を制作し、災害時における代替的なネットワークとしてモバイルアドホックネットワークを構築する。モバイルアドホックネットワークについて図 1 に示す。

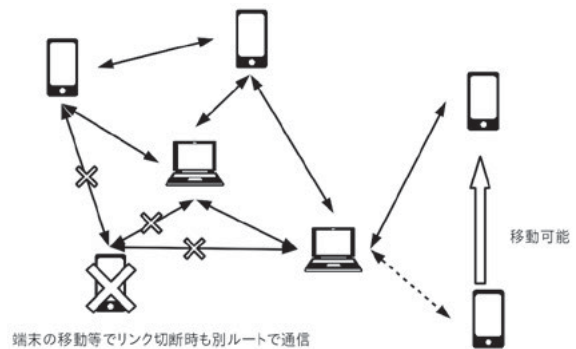


図 1 モバイルアドホックネットワーク

### 2.2 イーサフォン通信の概要

本研究で用いるイーサフォン通信技術について説明する。イーサフォンとは、福井大学が特許を有する通信技術(特許第 4110251 号)のことである [5]。イーサフォンは、TCP/IP などのプロトコルを用いず、OSI 参照モデルにおける第 1 層物理層と第 2 層データリンク層に相当する機能のみを用いる通信技術である。イーサフォンの様々な特徴の中で一番の利点は通信設定なしにネットワークを構成し、接続できることである [6]。一般に、コンピュータ間のデータ通信を行う場合には、TCP/IP などのプロトコルが用いられる。TCP/IP プロトコルは、エラー訂正やフロー制御などの高度な機能を有しており、強力なネットワーク管理が可能である。しかしその一方で、扱うパケットの構成が複雑になるという短所も持っている。イーサフォンは、利用範囲を近距離かつ閉鎖的に限定することで複雑な TCP/IP プロトコルを用いず、独自のプロトコルで通信する。このプロトコルをイーサフォンプロトコルと呼ぶ。さらにイーサフォンプロトコルをアド

ホック通信用に拡張したものをイーサフォンアドホックネットワークプロトコルと呼ぶ。イーサフォンは、イーサネットの機能を基盤とする技術である。そのため、イーサフォンプロトコルは Ethernet II フレームのフレーム構成を元としている。イーサフォンアドホックネットワークにおけるフレームの構成を図2に示す。

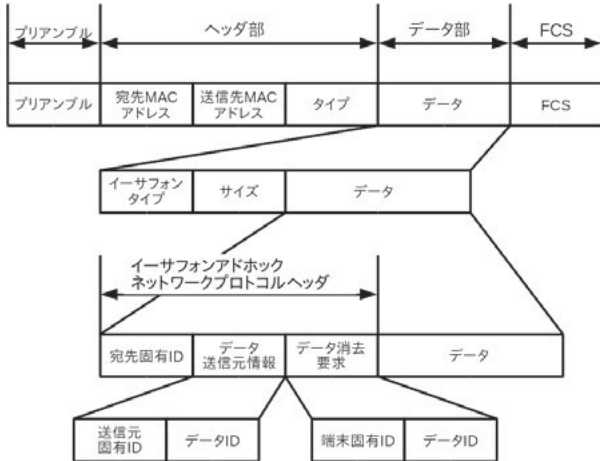


図2 イーサフォンアドホックネットワークプロトコルのフレームフォーマット

図中の上から、Ethernet II フレーム、イーサフォンプロトコル、イーサフォンアドホックネットワークプロトコルの各フレーム構成である。

イーサフォン通信の前提条件は以下のようにまとめられる。

- 各ノードの無線通信端末は固有の ID を持つ
- 全てのノードはお互いの MAC アドレスと固有 ID を把握している
- データ ID はデータに付与する固有の ID
- データ ID は全て利用可能状態にしてシステムをスタートする

通信の全体的な流れについて説明する。データを送信していないとき、各端末はデータを受信するためにネットワークを監視している。ある端末がデータを送信すると、通信可能範囲にある全ての端末がそれを受信する。受信したデータが、自分宛てのデータではなく、一度も転送したことがない場合、ブロードキャストによって周囲の全ての端末に対してデータを転送する。また、受信したデータが、自分宛てではなくても、転送したことがある場合はそれ以上転送せず、受信したデータを破棄する。そして、受信したデータ

が自分宛てであった場合は、受信したデータを受け取り、そこで通信を終了する。

### 2.3 音声通信の原理

音声は、アナログデータであり、これをそのままイーサフォンで伝送することはできない。音声をイーサフォンで伝送できるようにするためには、アナログデータである音声をデジタルデータに変換しなければならない。これを A/D 変換という。A/D 変換は、3つの段階から構成されている。順番に、標本化、量子化、符号化である。この節では、これらの段階を踏んで音声をデジタルデータに変換する原理を説明する。また、最後に、変換したデータのサイズがどのように求められるか説明する。

#### 2.3.1 音信号の標本化

標本化とは、時間的に連続な信号を一定時間ごとに区切り、その時間ごとの信号の振幅を標本として取り出す操作のことである。この操作のことは、サンプリングとも呼ばれる。標本化した際の時間間隔のことを、標本化周期または、サンプリング周期と呼ぶ。標本化周期は、 $T_s$  [s] で表される。また、単位時間あたりの標本数のことを標本化周波数または、サンプリング周波数と呼ぶ。標本化周波数は、 $F_s$  [Hz] で表される。これは式 (1) となる。

$$F_s = \frac{1}{T_s} \quad (1)$$

標本化の際に、注意しなければならないこととして「標本化定理」が挙げられる。標本化定理とは、連続な信号を標本化する際、信号に含まれる最高周波数の2倍以上で標本化すれば、元になった信号が復元可能になるという法則のことである。つまり、信号を復元するには、最高周波数を  $F_{max}$  とすると、式 (2) が成り立つ必要がある。

$$F_s \geq 2F_{max} \quad (2)$$

一般に、人間の耳の可聴領域は、50Hz から 20kHz であると言われている。これを再現するためには、20kHz の2倍で、40kHz 以上の標本化周波数が必要になる。

#### 2.3.2 音信号の量子化

量子化とは、標本化後の信号の振幅成分を、あらかじめ定められた有限個の値に近似する操作のことである。量子化の際に、信号を何段階に量子化するかを、量子化ビットまたは、量子化レベルなどと呼ぶ。

また、量子化の際に発生する誤差のことを、量子化誤差と呼ぶ。

量子化ビット数が大きくなるほど、量子化誤差は小さくなる。しかし、量子化ビット数が大きくなることは、データサイズが大きくなることにもつながる。

### 2.3.3 音信号の符号化

符号化とは、量子化で決定した信号の値を、時間経過に沿って2進数に変換する操作のことである。符号化によって音声をデジタルに変換することを、コーデックと呼ぶ。

PCM(Pulse Code Modulation)は、最も基本的で単純な符号化手法である。しかし、PCMのように量子化されたデータをそのまま符号化すると、データ量が大きくなるため圧縮される場合が多い。

### 2.3.4 音声通信のデータ量

音声通信のデータ量は、標準化周波数と量子化ビット、チャンネル数を用いて求めることができる。チャンネル数とは、音声出力の系統数のことであり、モノラルなら「1」、ステレオなら「2」として計算すれば良い。データ量は、単位時間あたりに出力されるデジタルデータのビット数のことである。よって、データ量は、チャンネル数と標準化周波数と量子化ビット数の積で求めることができる。

今回の目標とする電話品質の音声は、ADPCMと呼ばれる符号化手法によって、32kbpsで表現される。

## 3. イーサフォン無線通信端末の構成

### 3.1 無線通信端末の構成

本研究で制作する無線イーサフォン通信端末は、主な処理をBeagleBone Blackで行う。BeagleBone Blackについての詳細は次節で述べ、ここでは端末全体に関する構成を述べる。

BeagleBone Blackは、イーサネット接続用にRJ-45コネクタを備えている。しかし、無線LAN通信のデバイスは実装されていない。ただし、USBポートが用意されており、USBホスト機能が実装されている。そのため、端末間の無線通信には、インターフェース変換ドングルであるUSB無線LANアダプタを接続し、無線通信が行える状態にする。そして、音声入力用のマイクと出力用のスピーカーは、拡張I/Oポートに接続する。イーサフォン無線通信端末のブロック図を図3に示す。

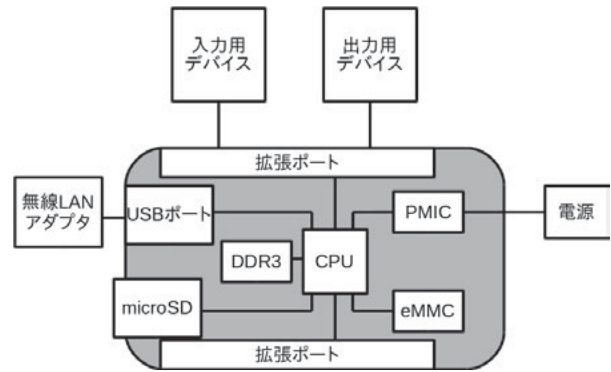


図3 イーサフォン無線通信端末のブロック図

本研究では、送信・中継・受信の機能を持つイーサネット無線通信端末を実装した。

### 3.2 BeagleBone Black

BeagleBone Blackは、小型のシングルボードコンピュータである。BeagleBone Blackを図4に示す。

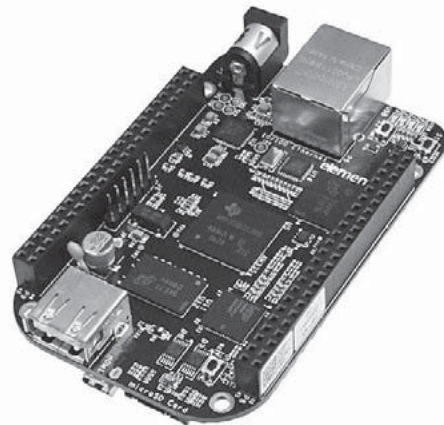


図4 BeagleBone Black

<http://akizukidenshi.com/img/goods/C/M-09914.jpg>

また、主な仕様を表1に示す。

BeagleBone Blackは、beagleboard.orgによってオープンソースハードウェアとして開発されており、日本でも簡単に入手できる。SoC(System-on-a-chip)にARM Cortex-A8 1GHzのTI AM335xを採用しており、主記憶として512MBのDRAMを搭載している。

SoCとは、ある装置やシステムの動作に必要な機能の全てを、1つの半導体チップに実装する方式のことである。ターゲットとなる装置により構成は異なるが、マイクロプロセッサを核に、各種のコントローラ回路やメモリなどを統合したチップが多い。一般的には、半導体チップは機能ごとに提供されるため、



表1 BeagleBone Black の主な仕様

項目	内容
CPU	Sitara AM3358BZCZ100 1GHz,2000 MIPS
グラフィック	SGX530 3D,20M Polygons/S
主記憶	512MB DDR3L 800MHz
補助記憶	4GB,8bitEmbedded MMC
イーサネット	10M/100Mbps Ethernet, RJ45
USB	USB2.0 ホスト,mini USB クライアント
映像出力	micro HDMI
音声出力	HDMI(ステレオ)
I/O ピン	2 × 46
電源	5V 電源アダプタ,USB 給電
消費電力	約 210m~460mA/5V
サイズ	86 × 53mm

プラスチック基板に複数のチップを実装する必要がある。SoCでは、この複数のチップに分かれていた機能を統合し、一つのチップとして提供する。これにより、装置の小型化や製造コストの低減、配線の省略による高速化、部品点数の削減による消費電力の節減などのメリットが期待できる。

BeagleBone Black は、手のひらに乗るような非常に小さなボードである。また OS には、標準の OS の他に Ubuntu や Debian などの LinuxOS も利用できる。そのため、比較的簡単に汎用的なシステム開発が可能である。近年、様々なシングルボードコンピュータが開発・発売されており、その中でも Raspberry Pi が有名である。しかし、プロセッサの速度、拡張ポートの数などで BeagleBone Black が勝っていることから、先行研究では、こちらが利用されている。本研究でも、この点と使用実績を考慮して BeagleBone Black を用いることにする。

### 3.2.1 無線 LAN アダプタ

本研究では、無線 LAN アダプタとして、図 5 の WLI-UC-GNM(BUFFALO 社製)を用いることとした。

WLI-UC-GNM の仕様を、表 2 に示す。

アクセス方式は、インフラストラクチャーモードとアドホックモードの両方に対応している。本研究では、アドホックモードを使用する。



図 5 無線 LAN アダプタ WLI-UC-GNM

<http://buffalo.jp/export/sites/buffalo.jp/product/wireless-lan/client/wli-uc-gnm/parts/images/lineup/1.jpg>

表 2 無線 LAN アダプタ WLI-UC-GNM の仕様

項目	内容
インターフェース	USB2.0/1.1
準拠規格	IEEE802.11n 技術 / IEEE802.11g / IEEE802.11b 準拠 ARIB STD-T66(2.4GHz 帯)
伝送方式	OFDM 方式,DS-SS 方式,単信(半二重)
周波数範囲	2412-2472MHz(1-13ch)
データ転送速度(規格値)	IEEE802.11n : 最大 150Mbps IEEE802.11g : 最大 54Mbps IEEE802.11b : 最大 11Mbps
アクセス方法	インフラストラクチャーモード,アドホックモード
電源	5.0V(USB より給電)
消費電力	最大 2.5W
外形寸法	W16×H20×D9mm
動作環境	温度 0~40 度,湿度 20~80 % (結露なきこと)

## 4. 音声通信の実験

### 4.1 前提条件

今回の実験では、イーサフォン無線通信端末を3台用意した。これらのイーサフォン無線通信端末は、それぞれ送信用、受信用、中継用として使用する。ここでは送信用の端末を端末A、受信用の端末を端末B、中継用の端末を端末Cとする。イーサフォン無線通信端末の無線通信の方式は「アドホックモード」に設定する。次に、アドホックモードに設定した端末同士で通信を行うために、ESSID(Extended Service Set Identifier)を一致させておく。ESSIDとは、IEEE802.11シリーズの無線LANにおいて、ネットワークを識別するために付けられる識別子の1つである。ESSIDには、最大32文字までの英数字を任意に設定できる。今回は、ESSIDを「etherphone-network」としてそれぞれの端末に設定した。

実験は、端末ABの2台のみの場合と端末ABCの3台の場合について行い、直接通信する端末は見通し10m離して実験を行った。3台で実験した際の配置を図6に示す。

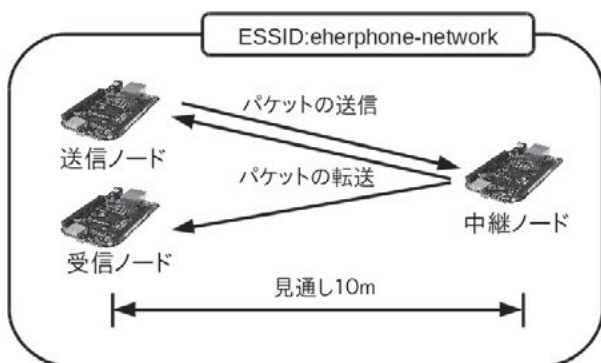


図6 端末3台での実験の配置図

### 4.2 実験

音声通信の可否を定量的に示すために、伝送速度を計測する実験を行った。まず、送信したデータと受信したデータを比較し、正しく伝送されるか実験した。その結果、端末2台間、3台間ともに100%損失なく伝送することができた。この結果を受けて、イーサフォン無線通信端末の伝送速度を計測する実験を行った。

伝送速度を計測する際には、送信するパケットが十分に大きくなければ、正しく計測することができない。あまり、データ量の大きくないパケットの場合、通信で伝えたいデータとフレームのヘッダ部の大きさ

の差が小さくなる。その状態で計測を行っても、実際にどれだけのデータを送信することができるのか正しく計測することができない。したがって、データ部には、できるだけ大きなデータを挿入する必要がある。Ethernet IIフレームの最大サイズは、1,518Byteであり、そのデータ部は、最大1,500Byteの値を取る。しかし、本研究においては、Ethernet IIフレームのデータ部にイーサフォンプロトコルや、イーサフォンアドホックネットワークプロトコルを挿入して通信を行っている。そのため、データ部を1,500Byte全て利用することはできない。イーサフォンアドホックネットワークプロトコルのデータ部は、最大1,474Byteのデータを挿入できる。今回の実験では、簡単のため、1,400Byteのテキストデータを用いることとした。これは、送信するフレーム全体のサイズと比較して十分に大きな値であると言える。1,400Byteのテキストデータを連続で100回送信し、通信が終了するまでにかかった時間を測定する試行を10回行った。

### 4.3 結果

端末AB間の結果を図7に示し、端末ACB間の結果を図8に示す。それぞれのグラフにおいて、横軸は試行を表している。図7、図8の両者で、図(a)の縦軸は到達時間で、単位は[s]である。図(b)の縦軸は、到達パケット数で、単位は[個]である。図(c)の縦軸は、伝送速度で、単位は[Byte/s]である。また、各結果の平均値を表3に示す。

表3 各結果の平均値

項目	端末 AB 間	端末 ACB 間
到達時間 [s]	8''47	15''47
端末 C の到達パケット [個]	-	93.0
端末 B の到達パケット [個]	97.9	85.6
伝送速度 [kByte/s]	16.3	7.7

## 5. 考察

イーサフォン無線通信端末を用いた通信の伝送速度を測定する目的で、データを送信してかかった時間を計測する実験を行った。この実験では、イーサフォンアドホックネットワークプロトコルのデータ部に1,400Byteのデータを挿入し、それを連続で100回送信する実験を行った。そして、送信用端末が送信を開始してから、受信用端末の受信が完了するまでの

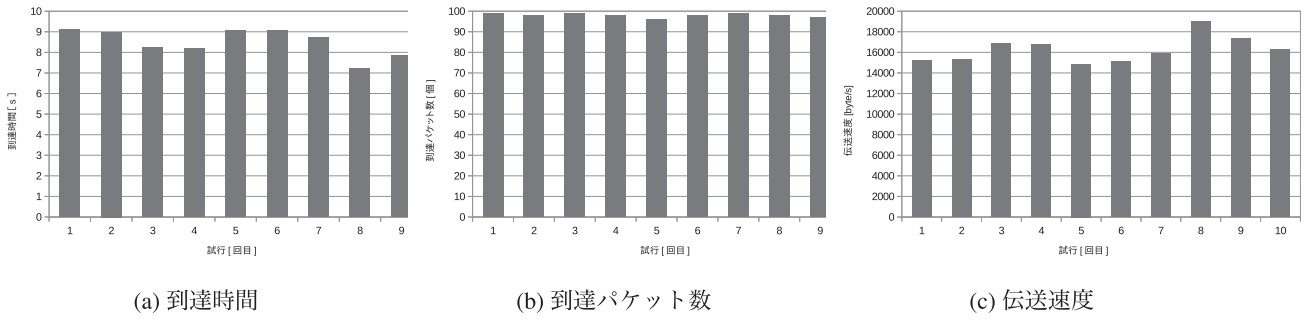


図7 端末 AB 間の結果

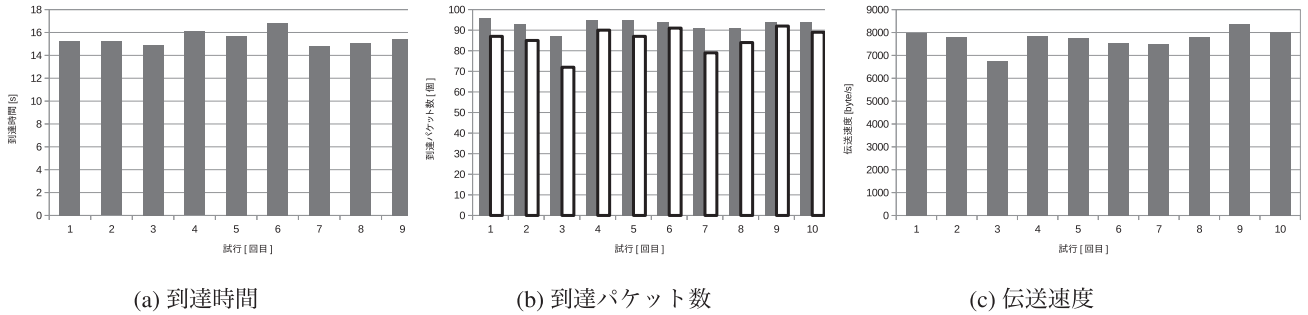


図8 端末 ACB 間の結果

時間を計測した。また、その際、同時に記録した到達パケット数なども利用して、伝送速度を導出した。前述の通り、パケットを送信することで伝送速度を求める場合、できるだけデータ量の大きなパケットになるように設定しなければならない。それは、送信したパケットの伝送にかかる時間から、各プロトコルのヘッダフィールドの分のデータ量の影響を最小化するためである。イーサネットフレームのヘッダとイーサフォンプロトコルのヘッダ、イーサフォンアドホックネットワークプロトコルのヘッダフィールドの合計サイズは、40Byteである。これに対して、今回の実験環境でデータ部に挿入したデータは、1,400Byteであるため、十分に大きなデータを使用していると言える。そのため、この実験方法は妥当であったと考える。

2台での通信の際は、平均で97.9個のパケットが宛先まで到達し、伝送速度は16.3kByte/sであった。3台での通信の際は、平均で85.6個のパケットが宛先まで到達し、伝送速度は7.7kByte/sであった。伝送速度に関しては、現在一般的に用いられている固定電話の音質が32kbpsつまり、4kByte/sであることから、十分に音声通信に利用できると考えられる。しかし、2台で通信をした場合と比べて、3台で通信した場合はパケット到達数、伝送速度ともに結果が悪くなっていることが分かる。つまり、このままネットワークの規模を大きくした場合、思ったような通信ができないという問題が起きると考えられる。

3台の実験の際、結果が2台の場合と比べて極端に悪い理由について考察する。この実験の際には、中継用の端末Cに到達したパケットの数も計測した。この数値に注目する。端末Cへのパケットの到達は、送信元から1ホップ目の到達という意味で、端末2台での通信の実験結果と比較することができる。端末Cへの到達パケット数は、平均93.0個であり、約7%のパケットが損失していることが分かる。これは、2台での通信の平均97.9個のパケットが宛先に到達し、約2%のパケット損失率という結果と比べて明らかに悪化している。この2つの結果が出た端末の条件の違いは、パケットを中継したか、受け取って通信を終了したかの違いである。つまり、中継の際の処理がボトルネックとなって、伝送速度を低下させていると考えられる。よって、中継処理の軽減やバッファサイズの拡大を行い、状況の改善を図る必要があると考えられる。また、それによって、より大規模なネットワークにおいても期待通りに動作すると考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、先行研究で制作されたイーサフォン無線通信端末の性能評価を行った。先行研究では、イーサフォンアドホックネットワークプロトコルを実装した。実装されたイーサフォン無線通信端末は、送信・受信・中継の処理を取り込み、1台の端末で送信・受信・中継の一連の処理が行える様にした。その上で、

作成した通信端末を使用して、3台のイーサフォン無線通信端末を用いた通信実験を行った。その中で、イーサフォン無線通信端末が動作すること、イーサフォンアドホックネットワークプロトコルが利用できることに関して確認が行われた。しかし、その端末が音声通信に対応できるかという点や、実際の仕様を想定した多数のノードを用いた検証は行われなかった。そのため、本研究では、作成したイーサフォン無線通信端末が音声通信に対応できるかということを主題に評価を行った。

まず、端末2台間で16.3kByte/s、端末3台間で7.7kByte/sの伝送速度を得た。これは、固定電話の音質を十分確保できる速度であり、音声通信に用いることができる可能性を示せた。ただし、パケット損失率から中継処理がボトルネックとなって伝送速度を下げている可能性が高いことがわかった。そのため短期課題としては、中継処理の負荷軽減が必要であると考えられる。

中長期課題としては、これまでイーサフォン無線通信端末3台での検証しか行われていないことが挙げられる。実際の災害時通信システムとしての運用では、100台単位の端末を用いた大規模なネットワークが必要である。そのため、より現実的に則した検証とするため、端末数を増やした状態で検証を行っていくことが必要であると考えられる。また、災害時通信システムにおいて本研究で検討を行っていない重要な問題として、消費電力の問題がある。災害時に使用することを考えると、外部からの電力供給ではなく、バッテリー等で長期間動作することが求められる。現状では、中継や受信処理のために、常にネットワークを監視している。ここでの電力消費をできるだけ少なくすることが最終的に解決すべき課題であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 阪田史郎, 青木秀憲, 間瀬 憲一: アドホックネットワークと無線 LAN メッシュネットワーク, 電子情報通信学会論文誌 B, J89-B-6, pp.811-823, (2006).
- [2] D.G.Reina , S.L.Toral , F.Barrero , N.Bessis , E.Asimakopoulou: Modelling and assessing ad hoc networks in disaster scenarios, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 4-5, pp.571-579, (2013).
- [3] Kwan-Wu Chin , John Judge , Aidan Williams , Roger Kermode: Implementation Experience with MANET Routing Protocols, *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 32-5, pp.49-59, (2002).
- [4] 神谷将樹, 白井治彦, 黒岩丈介, 小高知宏, 小倉久和: イーサフォンを用いたアドホックネットワークによる災害時通信システムの構築, 日本知能情報ファジイ学会ファジイシステムシンポジウム講演論文集, 27, pp.969-972, (2011).
- [5] 福井大学: 通信装置、及び、通信方法、特許出願 2004-217916. 特許公開 2006-041842, 特許番号 (特許第 4110251).
- [6] 木下昌昭, 白井治彦, 黒岩丈介, 小高知宏: アドホック・メッシュネットワークによる災害時通信システム, *福井大工報*, 63, pp.63-74, (2015).