

RecurChat: 端末間でアプリ配布可能な BluetoothChat システム

松本 誠義^{1,a)} 荒川 豊^{1,b)} 安本 慶一^{1,c)}

概要:

携帯端末の普及が著しい現代社会において、災害による携帯電話ネットワークの断絶下でも情報交換が行えるシステムが求められている。特に、近年登場した Bluetooth Low Energy (以下、BLE) はこれまでの Bluetooth Classic とは異なり、ペアリング無しで簡単に端末間の無線通信が行えることから、携帯電話ネットワーク断絶下でも利用可能なコミュニケーションシステムの実現手段として有望である。特にスマートフォン同士で相互に情報交換を行うためには、ある程度普及している、マスターの役割にあたる Central への対応だけではなく、スレーブの役割にあたる Peripheral に対応する必要がある。しかし、現実にはその両方に対応している端末は未だ数機種しか存在しないため、相互に情報交換できるシステムの普及は困難である。本研究では、BLE を用いて情報交換を行う際に、両対応の端末だけではなく、Central 端末も同様にコミュニケーションを行う方法を提案し、インターネットに接続できない環境においても端末間でチャットが行えるアプリケーションを実装した。

1. はじめに

近年、モバイル端末の普及と高速な携帯電話回線の整備により、人々はモバイル端末を介してインターネットサービスを利用することが日常的になった。災害や事件が発生した際にも、ニュースサイトやソーシャル・ネットワーキング・サービスから情報を入手し、メッセージアプリケーションなどを用いることで、いち早く安否の確認を行うことができる。しかし、インターネット回線が断絶するような災害が発生すると、これらのアプリケーションを利用することは不可能となり、最前線の被災者は情報のやり取りを行うことが困難になる。

東洋大学の金田は、東日本大震災を受け、避難所となった学校で生じた困難について、アンケート資料を分析している [1]。アンケートは小・中学校 94 校に在籍する教職員に対して行われた。これによると、当時、防災用の毛布を 100 名分ほど用意した学校に対して 400 名が避難したり、400 名分の食事を用意したりするなど、避難所機能の維持に多くの人手が割かれている様子が報告されている。その他にも傷病者や心理的なパニックのケアなど、社会的・生

理的欲求に基づく困難が多数報告されている。一方で、避難所内で一時的な地域コミュニティが発生し、リーダー的な存在が生まれることで円滑な運営が可能になった例も挙げている。

こういった事情から、災害時の避難所において、効率的に情報を共有できるプラットフォームの重要性は高いと言える。特に、インターネットが利用できない場面では状況の把握も難しく、心理的な不安感の払拭にも大きな役割を持つことが期待できる。実際に、インターネットに接続できない環境でも情報交換が行えるアプリケーションの災害時への適応が期待され、複数のシステムが公開されている [2] [3] [4]。

これらのアプリケーションを利用するためには、情報交換を行いたい対象全員が同じアプリケーションをインストールしていることを前提としている。インターネットの断絶時、インターネット上からアプリケーションを入手することは不可能となるが、我々が過去に提案した Recurshare を用いることで、Android アプリケーションを入手する事が可能である [5]。詳細については 2 章で解説する。しかしながら、インターネットレスな情報交換システムは端末の root 権限が必要であったり、iOS 向けのアプリであったりすることが少なくないため、Recurshare が適用できないことが比較的多い傾向にある。

また、近年、スマートフォンから利用できる通信手段

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology
a) matsumoto.seigi.mj@is.naist.jp
b) ara@is.naist.jp
c) yasumoto@is.naist.jp

として、Bluetooth Low Energy (BLE) が登場している。BLE は周囲のデバイスに対して、直接短いメッセージを送る事ができ、端末で利用できるその他の通信技術に比べて省電力であることが特徴である。株式会社 NTT ドコモからアドホックコミュニケーションアプリ用の開発キット (SDK) が公開されているように、インターネットレス通信の実現手段として期待されている [6]。

BLE では、Central と Peripheral という 2 つの役割があり、一般的にはスマートフォンが Central 役、活量計などの機器が Peripheral 役となる。両者の違いは、Beacon 信号を送出する側か受診する側かということであるが、端末間通信では Peripheral 側の送信機能が重要となる。しかし、現在の市場において、Peripheral 端末になれる最新の OS と BLE 規格に対応した機種は極めて限られており、Android では Nexus6 と 9 など数機種のみである [7]。

本研究では、主に避難所を想定したチャットシステム RecurChat を構築した。BLE を採用することにより、root 権限が不要な Android 端末間のアドホック通信機能を実装した。また、提案システムでは、Central 端末同士がメッセージをやりとりできる仕組みを導入しており、Peripheral になれる端末が普及していない現在でも BLE を最大限活用できるように実装した。更に、インターネットレスでアプリを配布可能な Recurshare が組み込まれており、被災地でインターネットレスに RecurChat 自身を拡散することができる。

以下、2 章では関連の研究の紹介と、先行研究として提案した Recurshare の解説を行い、3 章では BLE を用いたチャットシステム構築に関わる課題とその検討を述べる。4 章では提案システムである RecurChat の解説を行う。5 章では評価実験の設計と、そこから得られた結果を述べる。最後に、6 章ではまとめと今後の展望を述べる。

2. 関連研究

2 章では、まず先行研究である Recurshare について述べた後、関連する研究について述べる。

2.1 Recurshare

我々は、先行研究の中で、インターネット断絶時においてアプリケーションを入手する手段が限定されることを明らかにし、被災地で Android アプリケーションをインターネットレスで拡散できるシステム Recurshare を提案した [5]。なお、iOS はアプリケーションのインストール時に必ずインターネットへの接続を行っている必要があり、災害時にアプリケーションを入手することは不可能であるため、拡散の対象とはしていない。

Recurshare は、2 層のネットワーク通信を利用することでアプリケーションの配布を行う。まず、送信者はアプリケーションを配布する際に、ポータブルアクセスポイント

(テザリング) 機能を有効にし、受信者がそれに接続することでネットワーク層のリンクを確立する。更に、受信者は送信者の端末上にあるアプリ配布 Web サーバに対して Web ブラウザから接続を行うことで、アプリケーション層の通信を行う。これにより、アプリケーションを受け取り、配布が完了する (図 1)。

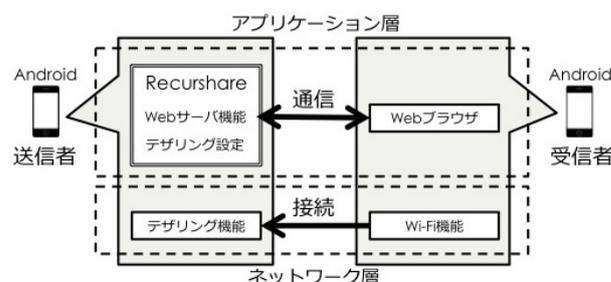


図 1 Recurshare システム構成

Recurshare は送信者の端末に存在するアプリケーションを指定して配布することができる。自分自身をも配布の対象にすることが可能なため、Recurshare を受信してインストールした人が再度、自分の Recurshare を他の人に配布していくことが可能である。これは、自治体の役員などが Recurshare を持っていさえすれば、その場にいる人々の持つ Android 端末全てにアプリをネズミ算式に拡散可能なことを意味している。

2.2 既存のインターネットレス情報交換システム

現在、端末間で直接通信を行えるようなアプリケーションは複数提案されている。それぞれの OS の対応状況と、利用している技術を以下の表 1 にまとめた。

アプリ名	対応 OS	通信手段
BLEMeshChat	iOS, Android()	BLE
Cycro	iOS, Android	Bluetooth
AirTalk	iOS	BLE
UD トーク	iOS, Android	Bluetooth, Wi-Fi

これらのアプリケーションに共通して言えることは、災害が発生して携帯電話ネットワークが断絶すると、入手するすべを失ってしまうことである。そこで、上記のうち Recurshare を適応して拡散可能なものは、Android 版が存在する BLEMeshChat と Cycro, UD トークである。

BLEMeshChat

BLEMeshChat は BLE を用いてインターネットレスコミュニケーションを行えるアプリケーションである。100%インターネットに頼らずにチャットが行えることを目標にしており、災害時への適応を目標にしている。しかし、Android 版は現在開発中であり、利用することができ

ない。

Cycro

Cycro は iOS と Android で利用可能なチャットシステムで、Android 版は Bluetooth によるダイジーチェーンにより、自分と離れた端末とコミュニケーションを取ることが可能である。しかし、レガシーな Bluetooth を利用することから、Cycro の構築しているネットワークに所属するためには、移動するたびに近くの人の端末とペアリングを行う必要がある。混乱を極める災害時の避難所において、Cycro を利用できる場面は限られると言える。

UD トーク

UD トークは、室内会議の支援ツールとしての側面が強いコミュニケーションツールである。レガシーな Bluetooth を用いるか、同じ Wi-Fi ネットワークに所属する端末同士で接続し、コミュニケーションを行うことができる。用途として完全に少人数向けに作られており、少しでも多くの人数に対応しようと思うと、高性能な Wi-Fi アクセスポイントを用意するなど、避難所側に固定設備を求める必要性が生じる。

2.3 IBR-DTN

災害時のインターネットレスコミュニケーションシステムとして、遅延耐性ネットワーク (Delay/Disruption-Tolerant Network, DTN) [8] が研究されている。各ノードはメッセージを送信する際に一旦保管 (ストア) し、他のノードに出会うとメッセージを渡し、宛先ノードへの送信を委託する (フォワード)。現在、DTN の実装には様々なプロジェクトが存在するが、Android 端末からは IBR-DTN [9] を利用することが出来る。ただし、アドホック通信には Wi-Fi ダイレクトを利用しているため、BLE による通信と比較して、電力の消費量は大きくなる。DTN では通信の際に出会う端末の数が増えるほど通信回数が増加する傾向にあるため、避難所のような大勢が密集する場では、膨大なメッセージ交換が行われることになる。被災時には停電していることも想定しうるため、省電力性も考慮する必要がある。

2.4 FireChat

FireChat は、OpenGarden 社によるアドホック通信アプリケーションである。Bluetooth にてメッシュネットワークの構築を行うことにより、大勢と会話が行える事を特徴としている。インターネットから独立したコミュニケーション手段として、各地で活用事例が報告されている。周囲のデバイスとのリンクを作成する OpenGarden アプリと組み合わせて利用することで、アドホックに情報交換を行うことができる。

しかし、P2P 用のフレームワーク (Multipeer Connectivity Framework) が用意された iOS 版 OpenGarden に対

し、Android 版 OpenGarden はインターネットの共有に重きが置かれている。そのためか、インターネットに接続しているノードが存在しない状態では、端末同士の通信を確認することができなかった。なお、ペアリング済みのレガシー Bluetooth を利用すると、インターネットから隔絶されたノードからインターネットに接続したノードを中継してインターネット上へ通信することを確認できた。しかし、避難所での情報交換という目的を達成するには、十分な機能を発揮できていないと言わざるを得ない。また、利用には初回の利用登録をオンラインで行う必要があり、インターネット断絶時の環境では新規利用することができない。なお、今回の検証には、Google Nexus5 のバージョン 5.0.1 と 5.1.1 を利用した。

3. BLE チャットシステム構築における課題

本章では、BLE を用いたチャットシステムの構築について、現状の技術の課題について検討する。

3.1 BLE によるチャットシステム構築の技術的要件

BLE は、低消費電力、低コストな無線標準としてスマートフォンのメーカーから支持を受け、これまで多くの周辺機器に搭載されてきた [10]。BLE は周辺の機器にパケットをブロードキャストするほか、Central (マスター) の役割を持つ端末と Peripheral (スレーブ) の役割を持つ端末に分かれてコネクションを張り、直接通信を行うことが可能である [11]。Central 端末は一般的に、周辺機器からの情報を受け取るスマートフォンを想定している。その場合、周辺機器は Peripheral となる。Peripheral はアドバタイズパケットをブロードキャストし、Central がそれをスキャンしてコネクションを張ることで、相互に通信を行うことが可能となる (図 2)。

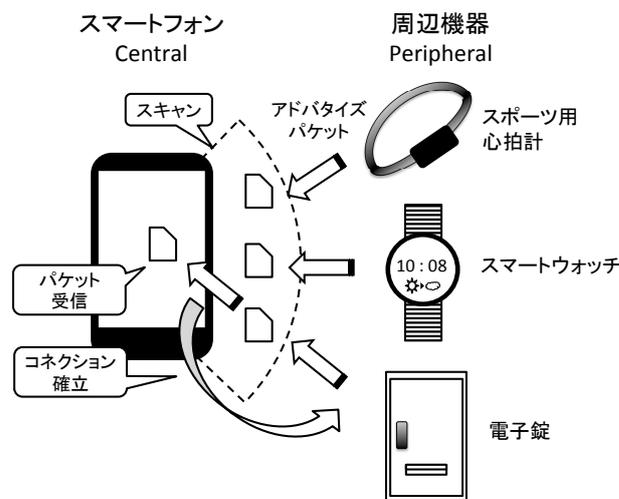


図 2 Peripheral 端末と Central 端末の対応

BLE は Android 4.3 より Central 端末として利用できる

API が公開され、Android 5.0 からは Peripheral 端末としても利用することができるようになってきている。BLE の機能を利用するためには、デバイスの OS のほか、Bluetooth 基板が BLE に対応していることが条件である。BLE にてチャットシステムを構築するためには、Peripheral と Central に両対応したスマートフォン（以下、両対応端末）を用いて、お互いにコネクションを結ぶ必要がある。しかし、市場においてその条件を満たす機種数は極めて少ないのが現状であり、市場の大半の機種が Central にしかない [7]。

3.1.1 Adhoc Communication SDK

株式会社 NTT ドコモが、BLE を用いたアドホックチャットシステムの開発キットとして、Adhoc Communication SDK を公開している [6]。この SDK では、Android5.0 以降で Peripheral の役割を持つ機種（Motorola, Inc. Nexus6, Nexus9）の動作を保証している。一度に接続できる端末数は 6 台としている。

この開発キットでは、すべての端末は起動時からアドバタイズパケットを一定間隔で送信し続け、新規にチャットに参加する端末が数秒間のスキャンを行うことで他の機種にコネクションを張ることが可能となっている。SDK を利用することで画像やテキストが送信できるが、大きなファイルの送信は行えないとしている。サンプルのアプリを構築して試行したところ、送信することができた文字列は全角で 15~20 文字程度、半角で 60 文字程度であった。

3.1.2 セントラル端末の利用

現状、BLE を用いたチャットシステムを構築すると、前述したように両対応端末同士の通信が主な対象になる。Central 端末はアドバタイズを行わないため、他の端末のスキャンで見つけることができないためである。BLE のコネクションを張れる端末の組み合わせを表 2 に示す。

表 2 BLE のコネクションを構築可能な組み合わせ

	Peripheral	Central
Peripheral	お互いに可能	Central 側からのみ可能
Central	Central 側からのみ可能	不可能

Adhoc Communication SDK もこの例に漏れず、Central 端末は両対応端末とコネクションを張ることが可能であるが、Central 端末同士のコネクションを貼ることはできない。これは、Central 端末が他の Central 端末に対してメッセージを届けることができないことを意味する。現在、両対応端末は十分に普及しているとは言いがたく、Central 端末はそれだけ情報交換に不利になるという問題が生じている。

そこで、本研究では、Central 端末からのメッセージを両対応端末が他の Central 端末へと横流しすることで、Central 端末が両対応端末と同様の可用性を保つチャットシステム *RecurChat* を提案する。

4. BLE を用いたチャットシステム *RecurChat*

本章では、本研究にて提案する BLE を用いたアドホックチャットシステム *RecurChat* の解説を行う。本研究で提案する *RecurChat* の特徴は、以下の 3 点である。

- インターネットレスに周囲の人と情報交換できる
- Central 端末同士でメッセージのやり取りができる
- インターネットレスに他の人へ *RecurChat* を配布できる

以下、*RecurChat* の構成や利用の流れ、Central to Central 通信の実装の詳細について述べる。

4.1 システムの構成

RecurChat のシステム構成を以下の表 3 に示す。

表 3 *RecurChat* 利用の要件

項目	動作要件
ハードウェア	Bluetooth 4.0LE 対応のスマートフォン
OS	Android 5.0 以降
その他	テザリング対応端末であればアプリ配布可能

Android はバージョン 4.3 から、BLE の Central 端末としてのみ振る舞うことが可能になっているため、今後の実装次第では Android 4.3 以降の端末も Central 端末として *RecurChat* に参加することが可能になる。また、iOS 版のクライアントを構築することで、OS の垣根を超えたチャットシステムとして動作することも可能である。もっとも、iOS 版のアプリケーションをインターネットレスに入手する手段は存在しないことから、可用性は災害前から同アプリケーションをインストールしている利用者の割合に依存する。

4.2 画面の構成

RecurChat は、大きく分けて 3 つの画面が存在する。画面の遷移を以下の図 3 に示す。

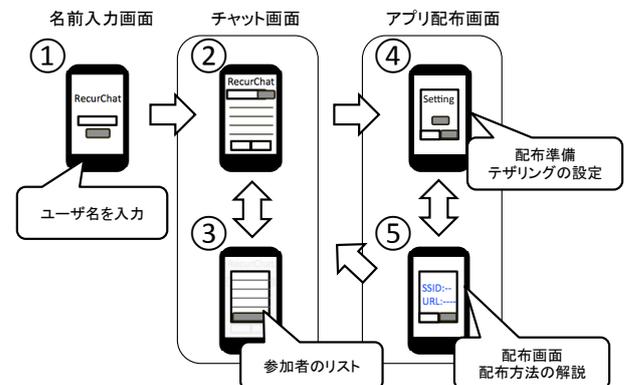


図 3 *RecurChat* 利用の流れ

ユーザが RecurChat を起動すると、まず初めに名前入力画面(①)が表示される。ユーザはこの画面で自分の好きな名前を入力し、画面中央の Start ボタンを押下することによりチャット画面(②)へと遷移する。

チャット画面(②)は、テキスト入力欄と書き込みボタン、これまでチャットでやりとりを行った書き込みのリスト、操作ボタン群から構成される。操作ボタンは、周囲の端末とコネクションを張るスキャンボタン、現在自分とコネクションを張っている周囲のユーザの人数表示ボタン、アプリ配布ボタンが存在する。

ユーザがチャット画面(②)に遷移すると、自動でスキャンが開始される。スキャンボタンの押下により、任意のタイミングで未確認の端末を探してコネクションを張ることが出来る。特に Central 端末は他の端末からスキャンすることができないため、能動的にスキャンを行う必要性が生じることは十分に考えられる。

コネクションが成立すると、テキスト入力欄に入力した文字列を送信することができる。さらに、相手からメッセージが届いた際には、画面中央に書き込みが自動でリスト表示される。コネクションを張っているメンバーの人数は参加者リストボタンに表示され、このボタンを押下することで参加者リストビュー(③)を表示し、具体的なメンバーの名前一覧を確認することができる。チャット画面(②)のアプリ配布ボタンを押下することで、アプリ配布画面(④、⑤)へと遷移する。

アプリ配布を行うために、ユーザはまずアプリ配布準備画面(④)へと遷移する。Recurshare によるアプリ配布では、テザリングを利用する。ここで、ユーザはわかりやすい SSID とパスワードを設定し、次の配布画面(⑤)へと遷移することになる。

配布画面(⑤)では、アプリ配布を受けたいユーザ(受信者)に対して、自分が教えるべき情報が表示されている。具体的には接続すべき SSID と、アプリ配布用 URL と、その QR コードである。受信者は SSID へと接続を行い、Web ブラウザを介して RecurChat をダウンロードし、インストールすることで新規に RecurChat の利用を開始することができる。

4.3 Central to Central 通信の仕組みについて

表 2 にて示したように、BLE では、Central 端末同士がコネクションを張り、メッセージのやり取りを行うことができない。つまり、Central 端末は近くにいる Peripheral 対応端末に対してメッセージをやりとりすることしかできず、情報交換の効率が Peripheral 対応端末と比較して非常に悪いと言える。そこで、RecurChat では、Central 端末と Central 端末とでメッセージをやりとりすることができる機能を実装している。この機能の実現のために、Peripheral&Central 両対応端末を中継端末として動作させ

るように実装している(図 4)。

Central 端末が他の Central 端末へとメッセージを送信する際、送信元の端末は中継端末を意識することはない。一方で、中継端末となる両対応端末は、送信元の端末から受信したメッセージに識別子を付加して、自分とコネクションを結んでいる全ての端末に対して転送を行う。これにより、中継端末とコネクションを結んでいる Central 端末が送信元の端末より発されたメッセージを受け取ることが出来る。

現在の実装では、中継端末から転送メッセージを受け取った他の両対応端末は、そのメッセージを破棄する。実質、Central 端末は 1 ホップの距離までメッセージを届けることが可能である。しかし、今後実装を進め、中継端末による転送メッセージをさらに転送する処理を実装することで、理論上、数珠つなぎのように端の端末までメッセージを伝搬させていくことが可能となる。

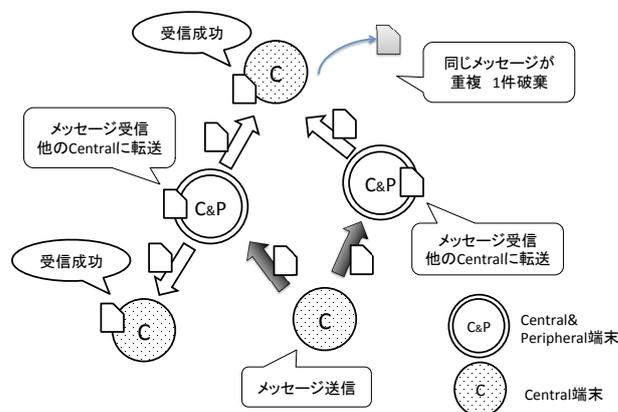


図 4 Central to Central 通信

5. システム評価

今回実装した RecurChat について、以下の項目を確かめる検証をおこなった。

- 実際にチャットによるコミュニケーションが行えること
- Central 端末から他の Central 端末にメッセージが届くこと
- インターネットレスにアプリケーションが配布できること

5.1 検証に使用した環境の構成

評価には以下の環境を用意して検証をおこなった。

表 4 RecurChat 検証の環境

端末	Nexus5	Nexus5	Nexus6	Nexus6
役割	Central1	Central2	両対応 1	両対応 2
Bluetooth	Central のみ		Central&Peripheral	
OS バージョン	5.1.1		5.0.1	

Nexus5 を Central 端末, Nexus6 を Peripheral 端末として, それぞれ 2 台ずつ用意してチャットシステムの動作検証を行った。図 5 は RecurChat 検証環境を撮影したものである。両脇にあるのが Central 端末である Nexus5 で, 中央の 2 台が両対応端末の Nexus6 である。



図 5 RecurChat 動作検証

5.2 評価実験について

まず, それぞれの端末から名前を入力してチャットに参加し, 正しくコネクションを確立できていることを確認した。4 台の端末が起動した後, 両対応 1 を担当する Nexus6 が他の Nexus5 とのコネクションを張りそこねたため, 手動にて Nexus5 のスキャンボタンをおすことで, 正しくコネクションを確立した。Nexus5 は Central 端末であるため, それぞれは中央の両対応端末と自分を入れて, 計 3 人でコミュニケーションが行える状態になった。一方, 両対応端末は自分以外の全ての端末との接続が行えたため, 計 4 人でコミュニケーションを取ることができる。

さらに, それぞれの端末からメッセージ送信を行い, それがすべての端末に等しく届けられていることを確認した。Central 端末である両脇の Nexus5 の書き込みも, 直接は見えていない, もう一方の Nexus5 へとメッセージが届けられていることが図 5 から見て取れる。

今回の検証では, 中央の 2 台の Nexus6 がどちらも中継端末の役割を負っている。すなわち, ある Central 端末の書き込みは中央の中継端末 2 台に届けられ, それぞれはもう一方の Nexus5 へと転送される。しかし, どちらの Nexus5 も, 正しく重複分のメッセージを破棄している。

また, 今回の検証とは別に, 7 台の端末でコネクションを張ろうと試みたところ, 最終的に正しくコネクションを張ることができたものの, Central 端末同士がコネクションを張るなど, 不安定な挙動を見せた。これは, もともと全ての端末が Peripheral で動作することを期待し, 全参加者が全員を認識している状態で小規模なチャットを行うことを想定している Adohoc Communication SDK の利用をやめ, 独自に実行環境 (Central 端末であるか, 両対応端末であるか) に最適化された実装を行うことで改善を

ていきたい。

今後, 避難所に見立てた部屋のなかで, チャットシステムのより複雑な評価実験を行う予定である。

6. まとめ

本論文では, 災害が起きた時の避難所における効率的な連絡手段の必要性について調査し, 検討した。そして, インターネットの断絶が発生しても情報交換が行える技術として, BLE に着目し, チャットシステム RecurChat を提案した。そして, 実際に情報伝達が行えること, Central to Central 通信について検証を行うため, メッセージ送信に関する実験を行った。結果として, 検証環境のようなごく小規模な事例であれば, 無事にコネクションを確立してメッセージ交換が行えることを確認した。

今後の実装課題として, 書き込み一回あたりに送信可能な文字数を増やすことが挙げられる。

RecurChat は, BLE を利用することでアドホック通信を実現しているが, BLE の特性として, 送信可能データサイズが極めて小さい事が挙げられる。現在の実装のように, やりとりを行うための全てのメッセージを平文で送信すると, 全角で 20 文字以下の容量しか送ることができない。そこで, 2 つの解決手法が考えられる。

ひとつは, フラグメンテーションの実装である。これは, 送信可能文字数を超えるテキストが送信されようとした場合, そのテキストを送信可能文字数になるよう分割し, それぞれにフラグメンテーションを示す識別子を付加して順次送信するものである。ただし, BLE はそもそも大容量のデータを送信する用途には適していないため, より根本的な解決手法をとる必要があるだろう。

ふたつめは, 予め被災時に書き込まれやすい言葉や, あると便利な言葉を定型文としてチャットシステムに登録しておき, ユーザはそれを選ぶことで送信することができるようにするものだ。これにより, 内部的には短い定型文 ID をやりとりするだけで要件を伝えることが可能になる。動的に定型文を追加したい場合にも, ユーザは定型文新規作成のフォームからテキストを入力して送信ボタンを押すだけで, 他の端末に定型文登録指令を送信することができると思われる。

また, より多数の端末で安定してコネクションを張れるように改善を行い, 更に, 新規参加者がこれまでに行われた会話のやりとり (過去ログ) を参照できる様な仕組みも検討したいと考えている。

謝辞

本研究は総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の支援を受けて実施している。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 金田英子：学校における避難所機能に関する質的研究，スポーツ健康科学紀要，No. 11, pp. 21–27 (2014).
- [2] OpenGarden: Open Garden— /firechat, ”<http://opengarden.com/firechat>”. Accessed: 2015-07-03.
- [3] Gardner-Stephen, P. and Palaniswamy, S.: Serval Mesh software-WiFi Multi Model Management, *Proceedings of the 1st International Conference on Wireless Technologies for Humanitarian Relief*, ACWR ’11, New York, NY, USA, ACM, pp. 71–77 (online), DOI: 10.1145/2185216.2185245 (2011).
- [4] Nishiyama, H., Ito, M. and Kato, N.: Relay-by-smartphone: realizing multihop device-to-device communications, *Communications Magazine, IEEE*, Vol. 52, No. 4, pp. 56–65 (online), DOI: 10.1109/MCOM.2014.6807947 (2014).
- [5] 松本誠義，荒川 豊，安本慶一：自己複製によるインターネットレスアプリケーション拡散手法の提案と実装（ネットワークシステム），電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報，Vol. 114, No. 297, pp. 81–86（オンライン），入手先 <<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020300449/>> (2014).
- [6] NTT DOCOMO, INC.: Adhoc Communication SDK, ”https://dev.smt.docomo.ne.jp/?p=common_page&p_name=tools.index&ref=info20150609”. Accessed: 2015-07-03.
- [7] Radius Networks: Device Support For Beacon Transmission with Android 5, ”<https://altbeacon.github.io/android-beacon-library/beacon-transmitter-devices.html>”. Accessed: 2015-07-03.
- [8] Fall, K.: A Delay-tolerant Network Architecture for Challenged Internets, *Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications*, SIGCOMM ’03, New York, NY, USA, ACM, pp. 27–34 (online), DOI: 10.1145/863955.863960 (2003).
- [9] Morgenroth, J., Schildt, S. and Wolf, L.: A Bundle Protocol Implementation for Android Devices, *Proceedings of the 18th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Mobicom ’12, New York, NY, USA, ACM, pp. 443–446 (online), DOI: 10.1145/2348543.2348606 (2012).
- [10] Bluetooth SIG: Spike in Bluetooth(R) Technology Penetration in Hub Devices Leads to Increased Bluetooth Smart Adoption, ”<http://www.bluetooth.com/Pages/Press-Releases-Detail.aspx?ItemID=209>”. Accessed: 2015-07-03.
- [11] ”Kevin, T., Carles, C., Akiba and Robert, D.: ”Bluetooth Low Energy をはじめよう”，”オライリー・ジャパン” (2015).