

都市のレジリエンス向上を目指したすれ違い通信基盤 (SABA) の試作・動作実験

妙中 雄三^{1,a)} 松井 加奈絵^{2,3,b),c)} 山形 与志樹^{3,d)}

概要: 大規模自然災害が発生すると、生活・通信インフラが停止してしまい、更なる被害が発生するだけでなく、平常状態への回復が遅れてしまう。このような状況に対して、我々は災害による被害を和らげ、回復力を強める高いレジリエンスを兼ね備えた都市の実現を目指している。本研究では、災害発生時に途絶してしまう情報通信に着目し、災害時でも継続的に情報を伝達できるインフラの実現を目的とする。現在一般に使われている無線 LAN や 3G/LTE 等の通信手段が使えない災害時では、代替手段として各個人が持つスマートフォン間で相互通信し、バケツリレーの形で情報を伝搬する通信（すれ違い通信）が有効であると言われている。また、災害時には普段から使い慣れたアプリケーション・サービスが使われる事が知られている。すれ違い通信では伝達できる情報量や大きな遅延等の特徴があるため、本研究ではアプリケーション設計とその特性を考慮したネットワーク基盤に取り組み。本稿では、すれ違い通信の基盤（SABA）部分を Android OS 上で実現する。アプリケーションとしては、テキストメッセージを共有できるシンプルなものを実装し、SABA の動作実験に使用した。実験では、20 名程度の規模ですれ違い通信が可能である事を示した。

キーワード: すれ違い通信, DTN, プロトタイプ実装, Bluetooth, Android

An Implementation of SABA, an Underlying Technology of Pocket Switched Network, toward Achieving Resilient City

Abstract: In a large-scale natural disaster, almost social/communication infrastructures do not function so that we can experience additional damages as well as making a recovery process extreme slow. To address this situation, we focus on achieving a resilient city that can absorb additional damages and recovery from a disaster situation to a normal situation more quickly. From the viewpoints of communication, we attempt to achieve a strong communication infrastructure that conveys information anytime; such an infrastructure contributes to the resilient city. In the disaster situation in which wireless LAN and 3G/LTE cannot be used, an alternative communication path of pocket switched network, which communicates as a bucket brigade between smartphones that almost people have, is seemed to be effective solution to convey information. Moreover, it is said that a practiced application/service are often used in a disaster situation. Since a pocket switched network has a limitation on amount of transmission data and long delay, we work on network basis considering application/service and the limitations. In this paper, we implement an underlying technology of pocket switched network, namely SABA, in the Android OS as a first step of this research. We also implement a simple text messaging application using SABA that distributes text messages via pocket switched network. In an experiment, we finally confirmed that SABA can achieve communicates between about 20 devices.

Keywords: Pocket switched network, DTN, prototype, Bluetooth, Android

¹ 東京大学 情報基盤センター
² 慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科
³ 国立環境研究所 地球環境研究センター
a) taenaka@nc.u-tokyo.ac.jp
b) kanaematsui04@kmd.keio.ac.jp
c) matsui.kanae@nies.go.jp

1. はじめに

2011 年に発生した東日本大震災以降、大規模自然災害に

d) yamagata@nies.go.jp

対する危機感が高まっている。東日本大震災の様な大規模自然災害が発生すると都市部では社会/生活基盤となる各種インフラが崩壊し、人々の暮らしの維持が困難な非常時状態となってしまう。この様な災害に伴う被害を和らげ、非常時状態から平常状態に出来る限り早く回復することができる、高いレジリエンスを兼ね備えた都市・システムを早急に構築することが強く望まれている。

都市のレジリエンスを高めるには災害への耐性が強く、回復力に優れたインフラの構築・維持が必須課題となる。昨今では、水道・ガス・電気・交通等に加えて、情報通信が重要インフラとなっている。情報通信は、災害発生時に被害情報や避難情報（双方向通信の場合に限り安否情報や救助依頼）等を共有する事が可能であるため、災害発生後の二次被害軽減や非常時から平常時への回復力を高める上で極めて重要なインフラとなっている。

災害時の情報通信は防災無線やテレビ、ラジオによる放送型の情報伝達、人々が情報ネットワーク（インターネット）を介して収集する能動型の情報伝達に使用される。但し、災害時には停電や有線ケーブル切断、無線基地局への利用者の集中により、情報ネットワークを介した情報収集が困難となる。一方で、放送型では遠距離からの電波送信で伝達されているため受信機さえあれば、災害時に情報収集できる事が多い。しかし、テレビ・ラジオでは地域に対する情報は地域毎で順番に放送されるため、情報収集までに時間がかかってしまう。加えて、被災地域それぞれについてきめ細かな情報提供は行われず。また、放送型では放送局から人々への一方通信のみとなってしまう、被災地の人々からの情報発信（詳細な被害情報や安否情報、救助依頼等）が困難である。被災地域内での連絡手段も無いため被災者間での情報断絶が発生してしまう。よって、都市のレジリエンス向上のためには、被災地内での情報共有と被災地から外部への情報発信を兼ね備えた情報通信基盤が必要となる。さらに、その情報通信基盤を用いた、被災時情報共有サービス・アプリケーション基盤が必要となる。

災害発生時に情報発信・共有用途で使用するアプリケーションは人々の身近なもので実現できる必要がある。実際に東日本大震災発生時には、インターネットへ接続性が維持された地域における情報共有手段として Twitter[1] や Google Person Finder[2] 等が使われた。特に Twitter は災害情報共有のためのサービスではなく、東北震災発生当時に流行しており多くの人が使い慣れていたという理由で利用されたにすぎない。つまり、災害が発生すると、普段から使い慣れているサービス・アプリケーションでない限り人々が災害時に有効活用できない。また、Google Person Finder のインターフェースは目的別に選択するシンプルな形に設計されており、普段からサービスを使用していない人が使用できる程度であったと考えられる。よって、情報通信の観点で都市のレジリエンスを高めるためには、情報通信

基盤のみの実現では不十分で、その通信基盤を日常的に利用するアプリケーション・操作インターフェースを含めて設計し、平常時と災害時のいずれの状況においても使用できる形の災害時情報共有アプリケーションが必要となる。

そこで、本研究ではスマートフォンを用いた蓄積運搬型（すれ違い）通信を情報通信基盤として利用し、すれ違い通信基盤技術の提案と平常時・非常時のアプリケーション設計を行う。日本国内では、発売される携帯電話端末の殆どがスマートフォンとなっており、すでに多くの人が所持している。また、通信手段の失われた被災地では平常時と同じ手段での情報共有が困難なことは明らかで、人がすれ違う間に無線通信で情報共有を行うすれ違い通信を災害時に活用できる可能性が高いと考えられる。以上より、本研究では災害時の電力供給・ネットワーク通信手段が失われた状態でも、スマートフォンを用いて人々の間ですれ違い通信を行うことで被災地内での情報通信基盤の実現を目指す。加えて、すれ違い通信を行った人々がインターネット接続性のある場所に移動することで情報が運搬され、被災地外への情報発信が可能となる。但し、人がすれ違う僅かな時間で情報を共有し、その情報を人の手で運搬するすれ違い通信の特性上、全ての情報が伝搬せず、情報の伝達速度も遅くなってしまふ。これらの点は本研究を進めるにあたって検討すべき事項となる。

本稿では、上記の研究目標の実現を目指して、スマートフォンを用いてすれ違い通信を実現する通信基盤（SABA: Surechigai Application Based on Android）の設計・試作を行った。スマートフォンは Android OS を搭載したものを対象とした。また、SABA の通信基盤を用いたアプリケーションとしてメッセージ共有アプリケーションを実装した。実装したアプリケーションは、WIDE 研究会^{*1}にて参加者の内、20 名程度のスマートフォンにインストールしてもらい数時間動作検証を行った。その間のすれ違い情報をログ収集した。本稿では実験の手順と基本的な結果にとどめ、より詳しい分析方法の検討は文献 [4] を参照されたい。

2. 関連研究

現在までにすれ違い通信を対象とした研究は数多く行われている [5], [6], [7], [8], [9]。文献 [5], [6] では、すれ違い通信の基礎となる Pocket Switched Network (PSN) が提案されている。文献 [5] では、bluetooth を搭載した小型デバイスを用いて実験を行い、人のすれ違い間隔や通信可能時間を分析している。文献 [7] では、人のコミュニティの繋がりを分析して、その繋がりに依存してデータの転送先を決定する手法が提案されている。また、文献 [8], [9] では、既存のデータ転送手法を比較評価している。しかし、既存

^{*1} WIDE プロジェクト [3] 内で開催されるクローズドな研究会

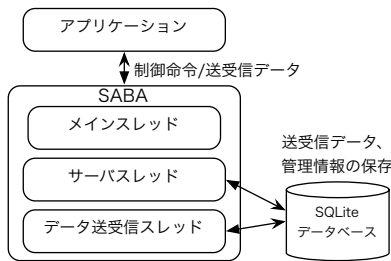


図 1 SABA のアーキテクチャ

の研究では bluetooth 接続見込み時間の収集と分析に留まり、実際のアプリケーションでの評価は行われていない。

3. SABA の設計

本節では、すれ違い通信基盤である SABA の設計と基礎実験用途で実装したアプリケーションについて説明する。3.1 節で SABA の詳細、3.2 節でアプリケーションについて説明する。

3.1 SABA の設計

SAB では、人がすれ違う僅かな時間内に無線接続を確立し、データの送受信を行うため、通信は無線接続が必須で、人の操作を必要としない技術である必要がある。一般的なスマートフォンでは、3G/LTE と無線 LAN (IEEE802.11)、Bluetooth での無線通信が可能となっている。これらの技術を用いて、端末間で直接通信するためには無線 LAN を用いたアドホック接続と無線 LAN の Wi-Fi Direct、Bluetooth 接続の 3 つが選択肢に挙がる。しかし、Android の仕様上、無線 LAN のアドホック接続は無効化されており、WiFi Direct は他の端末と接続する毎にユーザの同意 (確認のダイアログが表示され同意ボタンを押下) が必要となる。Bluetooth も同様に端末間の接続処理 (ペアリング) にユーザの操作が必要となるが、パスワードで接続の認証を行う場合に限られる。つまり、認証を用いずに接続する場合^{*2}は、ユーザの操作を必要とせず、バックグラウンドで端末間通信を実現できる。よって、SABA では以後、Bluetooth の認証無し接続を通信手段として使用することとする。

3.1.1 SABA のアーキテクチャ

SABA はアプリケーションと独立して開発できるように、ライブラリ形式で設計している。図 1 に SABA のアーキテクチャを示す。SABA はアプリケーションからの制御指示を受けて動作を決定する。動作中は、SABA のメインスレッドに加えて、Bluetooth のサーバ待ち受け処理とデータ送受信の処理がそれぞれスレッド (サーバスレッドとデータ送受信スレッド) として稼働する。メインスレ

^{*2} Android では、createRfcommSocketToServiceRecord と listenUsingInsecureRfcommWithServiceRecord メソッドを使用する。

データID	作成者 端末ID	作成者 名	作成 時刻	作成場所 (緯度)	作成場所 (経度)	ホップ 数	再拡散 フラグ	有効 期限	更新 時刻	データ 内容
-------	-------------	----------	----------	--------------	--------------	----------	------------	----------	----------	-----------

(a) 受信データテーブル、送信データテーブル共通の構造

拒否する 端末ID	名前
--------------	----

(b) 接続拒否情報を保存するテーブル

図 2 SABA で使用するデータベース構造

ドはすれ違い通信の開始/停止制御、近接端末の検索を行う。サーバスレッドは常時 Bluetooth での接続を待ち受けている。一方、データ送受信スレッドは、新しく近接端末を発見した場合とサーバへ新しい端末からの接続を受けた場合に実行され、端末間のデータ送受信を行う。

SABA が送受信するデータは Android 内の記憶領域に SQLite 形式のデータベースとして保存される。データベースには受信データを保存するテーブル (受信データテーブル) と送信データを保存するテーブル (送信データテーブル)、接続を拒否する端末を登録するテーブル (拒否テーブル) の 3 つのテーブルがある。各テーブルの構造は図 2 に示す。但し、受信データテーブルと送信データテーブルは同一となるため、図 2(a) に示す。また、SABA 間で送受信されるデータの構造は SABA が保有する受信テーブル (図 2(a)) と同等の構造となる。

SABA が送信データをアプリケーションから受け取るか他の端末からデータを受け取った場合に、図 2(a) に示す受信データテーブルか送信データテーブルへ情報が保存される。他の端末での SABA 間通信でデータを受け取った場合は、ホップ数のフィールドのみ+1し、受信したデータをそのまま受信テーブルへ挿入する形となる。アプリケーションから新規送信データを受け取った場合は、作成者端末 ID とデータ内容、作成時間の 3 つのフィールドを合わせてハッシュ値を取り他のものと重複がない形のデータ ID とする。作成者端末 ID は Bluetooth の MAC アドレス、作成者名はアプリケーションから設定された任意の文字列、作成時刻はアプリケーションからデータを受け取った時点での時刻に設定する。また、作成場所はデータ作成時点での位置情報 (経度・緯度) を取得利用し、ホップ数・拡散フラグは初期値 0 となる。有効期限は SABA 内で事前に設定しておく任意の時間 $t_{msgvalid}$ 分、更新時刻は作成時刻と同じ値を使用する。

3.1.2 データ送受信の手順

3.1.1 節で述べた通り、SABA はメインスレッドに加えて、サーバスレッドとデータ送受信スレッドの 2 つのスレッドで構成される。メインスレッドでは近隣端末の検索とクライアントスレッドの実行、サーバスレッドでは Bluetooth のサーバソケットを開き接続を待ち受け、データ送受信スレッドは接続端末とのデータ送受信を行う。

初めに、データ送受信スレッドから説明する。データ送

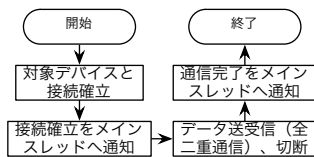


図3 データ送受信スレッド処理

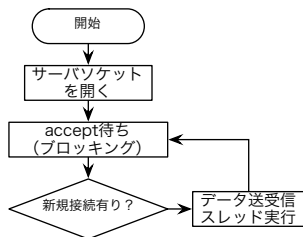


図4 サーバスレッド処理

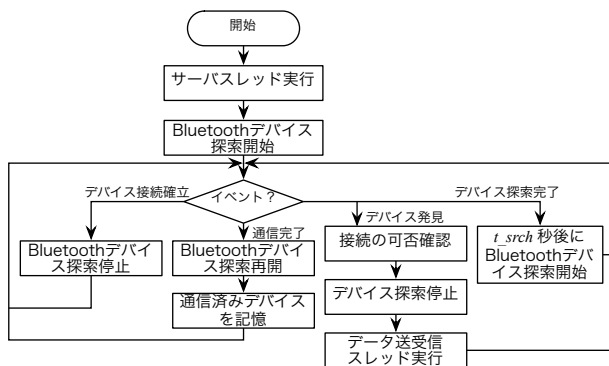


図5 メインスレッド処理

受信スレッド (図3) は、データ交換の必要がある都度実行され、Bluetooth 接続確立からデータ交換、接続切断までを行う。接続確立と接続切断の度にメインスレッドに「デバイス接続確立」と「通信完了」をそれぞれ通知する。データ通信は双方向通信で実施され、交換するデータ全てが送受信されるか電波強度低下による接続切断かのどちらかの状態になるまでデータ送受信が行われる。送信するデータは送信データテーブル (図2(a)) 内にあるデータのうち、「有効期限」を過ぎていないデータを送信する。送信順序は、最新のデータから順番に送信する。送信データテーブル内のデータを全て送信終わると、次は受信データテーブル内のデータを同様に送信する*3。

サーバスレッド (図4) は、SABA 実行直後に起動される。起動後に Bluetooth サーバのソケットを開き、accept が戻るまでブロッキング状態で待機する。他の端末からの接続試行があり、accept が戻ってくるとデータ送受信スレッドを実行して、データ交換を行う。

メインスレッドの処理を図5に示す。SABA が動作開始すると、メインスレッドが実行される。メインスレッドは、サーバスレッドを起動後、Bluetooth によるデバイス探索

*3 受信データテーブルのデータを送信する事でデータが中継されて広く拡散する事になる。

を Android OS へ指示する。その後は、Android OS からの Bluetooth に関わるイベント (端末発見やデバイス探索終了) とサーバスレッドからの通知に応じて処理を実行する。Android OS からデバイス発見のイベントが届いた場合は、まず接続の可否を確認する。ここでは、同一端末と繰り返し通信しないために、直前の t_{int} 秒内に接続した端末は接続しない。また、直前の t_{fail} 分内に Bluetooth 接続後に通信不可能であった端末も接続しない。その後、デバイス探索を停止し、データ送受信スレッドを実行して、データ交換を行う。データ送受信スレッドからデバイス接続確立が通知された場合は、Android OS へ Bluetooth デバイスの探索の停止を指示する。通信完了の通知を受け取った場合は、デバイス探索を再開指示し、接続済みデバイスとして記憶する。また、デバイス探索の終了イベントを Android OS から受け取った場合は、 t_{srch} 秒後に再度デバイス探索の開始を予約し、 t_{srch} 秒間隔で必ずデバイス探索が行われる様にする。

3.2 SABA を利用するアプリケーション

本節では、3.1 節で説明した SABA を使用したアプリケーションを設計する。アプリケーションはテキストメッセージを SABA で交換するデータとして扱う。アプリケーションには、受信メッセージ・送信メッセージそれぞれを持つ。受信データは SABA の受信データテーブルの情報が表示され、送信データは送信データテーブルの情報が表示される。図6に受信/送信メッセージ一覧の画面を示す。図6(a)では、「SC-02D」と「Nexus 7」という名前の端末からメッセージ受信している事を示している。図6(b)では、自分の端末「SC-02D」を送信者としてメッセージを送信している事を示している。

新規メッセージを作成する際は、送信メッセージ一覧画面 (図6(b)) の最下部のボタンを押下する事で、図7に示す新規メッセージ作成画面が表示される。送信するメッセージを入力後、「送信メッセージとして登録」を押下すると送信データテーブルに必要な位置情報収集と初期パラメータが設定された後、送信データテーブルへ保存される。保存されたデータは SABA 内のデータ送受信スレッドが実行された時に参照されて送信される。

4. 基礎実験

本節では、3 節で説明した SABA 及びテキストメッセージ共有アプリケーションの動作実験について説明する。4.1 節で基礎実験の内容とその結果を説明する。

4.1 実験内容と結果

実験は 2013 年 3 月に開催された WIDE プロジェクトのメンバのみが参加できる研究会で行った。研究会会場はホテルの 1 フロアを貸し切りで利用し、参加者は部屋間を徒歩



(a) 受信メッセージ一覧画面



(b) 送信メッセージ一覧

図 6 受信・送信メッセージ一覧画面



図 7 新規メッセージ作成画面



図 8 受信メッセージ詳細画面

で移動したり、特定の部屋で座っていたりする環境となっている。この研究会中にポスターセッションの時間枠があり、SABA のポスター・デモを行いながら、聴講に来られた参加者へアプリをインストールして夜まで使ってもらおう形とした。各参加者の持つスマートフォンで提供元不明のアプリケーションのインストールを許可する設定をもらい、事前にビルドしておいた apk ファイルをダウンロードする形でインストールした。実験で使用したパラメータとして、メッセージの有効期限 ($t_{msgvalid}$) は 10 分、重複接続/接続失敗を回避するための時間 (t_{int}/t_{fail}) はどちらも 1 分、Bluetooth のデバイス探索の間隔は 15 秒と設定した。

基礎実験の結果、ポスターセッション以後に SABA を使用したユニーク端末数は 22 台あった。また、ポスターセッションの始まる直前から数えて、新規メッセージ作成数は 70 件、交換されたメッセージ数はのべ 1132 件あった。現時点で SABA にはメッセージのループ検出は備えていないため、同一のメッセージが何度も送受信されることとなった。図 6 の送信メッセージと受信メッセージの重複がある事からも確認できる。また、受信メッセージの詳細 (図 8) から、送信メッセージ作成時に収集する負荷情報が転送されてきている事がわかり、設計時の想定通りの動作となっている事が確認できる。

5. おわりに

本研究では、都市のレジリエンスを高めるための通信基盤となる、すれ違い通信基盤 (SABA) を実装した。SABA は、一般的な無線 LAN や 3G/LTE 等の通信インフラを必要とせず、スマートフォン間でのパケットリレー型情報通信を実現する基盤である。また、SABA を用いて、最大 200 文字のテキストメッセージを交換するアプリケーションを実装し、基礎実験を行った。プロトタイプアプリケーションで実験した結果、20 名程度ですれ違い通信が実現できていることがわかり、問題なく動作する事を示した。

今後は、すれ違い通信での伝搬手法の検討や都市のレジリエンス向上に即したアプリケーションの設計を行う予定である。SABA は大規模災害時の通信インフラ断絶状態においても重要な情報の転送・運搬が可能となると考えられるが、大量の人が行き交う場所でデータ交換を行った場合に全てのデータが交換されない事が予測される。このような状況における、転送制御が必要となる。また、平常時・非常時に有効となるアプリケーションを設計しておく事で、非常時での有効性を高めると共に、そのアプリケーションの通信特性に合わせたすれ違い通信の制御が実現できるのではないかと考えている。今後は上記のアプリケーション設計・ネットワーク制御をあわせて検討していく予定である。

参考文献

- [1] Twitter: <http://twitter.com/>.
- [2] Google Person Finder: <http://google.org/personfinder/>.
- [3] WIDE PROJECT: <http://www.wide.ad.jp/>.
- [4] 松井加奈絵, 妙中雄三, 山形与志樹, 砂原秀樹: 都市のレジリエンス向上のためのすれ違い通信型情報伝搬の分析手法の一考察, 情報処理学会研究報告インターネットと運用技術 (IOT) (2013).
- [5] Hui, P., Chaintreau, A., Scott, J., Gass, R., Crowcroft, J. and Diot, C.: Pocket Switched Networks and Human Mobility in Conference Environments, *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*, WDTN '05, pp. 244–251 (online), DOI: 10.1145/1080139.1080142 (2005).
- [6] Hui, P., Chaintreau, A., Gass, R., Scott, J., Crowcroft, J. and Diot, C.: Pocket Switched Networking: Challenges, Feasibility and Implementation Issues, *Proceedings of the Second international IFIP conference on Autonomic Communication*, WAC'05, pp. 1–12 (online), DOI: 10.1007/11687818.1 (2006).
- [7] Hui, P., Crowcroft, J. and Yoneki, E.: BUBBLE Rap: Social-Based Forwarding in Delay-Tolerant Networks, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 10, No. 11, pp. 1576–1589 (online), DOI: 10.1109/TMC.2010.246 (2011).
- [8] Liu, M., Cheng, X. and Song, M.: Routing in pocket switched networks, *IEEE Wireless Communications*, Vol. 19, pp. 67–73 (online), DOI: 10.1109/MWC.2012.6155878 (2012).
- [9] MartíN-Campillo, A., Crowcroft, J., Yoneki, E. and

Martí, R.: Evaluating opportunistic networks in disaster scenarios, *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 36, No. 2, pp. 870–880 (online), DOI: 10.1016/j.jnca.2012.11.001 (2013).