

災害時のDTN対応安否確認アプリケーション のシミュレーション評価

高田 千暁¹ 黒崎 裕子¹ 高井 峰生^{1,2} 小口 正人¹

概要：インターネットは情報交換・共有システムとして社会・経済のインフラともいえる役割をはたしており、社会のネットワーク依存度はますます高まってきている。それに伴い、従来想定されていなかったような劣悪な環境下での通信要求が生じ、中でも、地震などの災害によってその機能や性能が低下、停止した場合の緊急代替情報交換手段が必要となってきた。また、これらのことを事前に設計し準備しておくことは地震大国である日本にとって防災や減災を考える上でも大変重要になってくる。現在においても、アプリケーションや各キャリアからの安否掲示板など地震や災害に備えたサービスは存在するが、これらはインターネットが機能していることを前提としている。

そこで本研究では、地域的にインターネットが機能しない劣悪な条件下でも、部分的に稼動しているサーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントと Delay/Disruption Tolerant Network(DTN) 技術を利用して安否確認が行える通信アプリケーションを開発しその実装とシミュレーションでの評価を行った。

Simulation Evaluation of Safety Confirmation Application Using DTN in the Case of a Disaster

CHIAKI TAKADA¹ YUKO KUROSAKI¹ MINEO TAKAI^{1,2} MASATO OGUCHI¹

1. はじめに

今やインターネットは様々なアクセス網を包含し世界中を結ぶことのできる情報交換・共有システムとして社会・経済のインフラともいえる役割をはたしており、社会はネットワークに依存したものとなっている。それに伴い、宇宙ステーション間や水中での通信など、従来は想定されていなかったような劣悪な環境下での通信アプリケーション（以下、アプリと呼ぶ）の要求がでてきた。中でも、地震などの災害によって本来の通信インフラの機能や性能が低下、停止した場合の緊急代替情報交換手段を事前に設計し準備しておくことは防災や減災を考える上でも大変重要になってくる。現在、各キャリア [1] ~ [3] や日本限定で Facebook[4] から災害発生時に利用可能となる安否確認掲示板が提供されていたり、goo 防災アプリ [5] など地震や

災害に備えたアプリが用意されている。しかし、このようなサービスはインターネットが機能しているという前提で考えられている。

そこで本研究では、地震などの災害によって接続が切れ、地域的にインターネットが機能しないような劣悪な条件下でも部分的に稼動しているサーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントを用い、Delay/Disruption Tolerant Network (DTN) 技術を利用して安否確認を行うことができるアプリを開発し、その実装とシミュレーションによる評価を行う。

2. 従来研究

2.1 関連研究

DTN 技術を用いた研究は数多く検討されている [6].

[7] ではバッテリーの残量から転送先を動的に選択し、被災地内の情報を被災地外へ運び出す災害時通信システム構築法の提案がなされている。この研究では広域災害により通信インフラが機能しない場合に、避難所にいる被災者の安否情報や被災状況などの情報を収集し、メッセージフェ

¹ お茶の水女子大学
Ochanomizu University

² カリフォルニア大学ロサンゼルス校
UCLA

リー方式を用いて被災地の外へ運び出すことを想定している。このメッセージフェリー方式とは、計画的に移動する端末をフェリーノードとして利用し、効率的にデータ転送を行う方式である。避難所内の移動端末の通信では、バッテリー残量が多い端末へデータが集まるようにデータ転送先が動的に選択され、これにより特定の移動端末に負荷が集中することを防ぎ、ネットワーク持続時間を長期化することを目指している。この研究以外にもメッセージフェリー方式が用いられた研究は数多く存在し、フェリーノードの個数や経路、フェリーノードとそれ以外のノードの決定方法など、様々なことが検討されている [8]。

[9] ではモバイルアドホックネットワーク (MANET) と DTN の異なる 2 つのネットワーク形成技術を高度に融合した端末間通信技術が提案されている。これは変化する周囲の状況にあわせて適切なネットワークモードを自動的に判断して切り替わることで、通常は圏外で通信不可能な環境であっても効率的な通信の実現と消費電力の低減を目指しており、全行程 2.7km での実証実験もなされている。

これらの研究はどちらもアクセスポイントを介さずに機器同士が直接通信を行うアドホックモードを用いて、情報のやりとりがなされている。転送先の動的な選択やネットワークモードの切り替えにより端末のバッテリー消費はある程度抑えられると予想できるが、これはまだ解決すべき問題である。また、すれ違いなど端末が近い位置に行かないこと、ホップすることによってスループットが低下してしまうといった課題もある。アドホックモードを用いる場合は、これらの課題を考慮していく必要があると考える。

2.2 DTN

DTN は遅延耐性ネットワークとも呼ばれ、物理的なリンクの切断やデータの送受信遅延に対応していない TCP/IP 技術を拡張させた「中継転送技術」である [6]。この一般的な手法は「届きそうな」端末にデータを送信し、端末間でデータをホップさせていくことで目的端末まで届かせるというものである。これにより、中断や切断が多発したり、極端に長い通信遅延が生じたりするような劣悪な通信環境下でも信頼性のあるデータ転送を実現することができる。代表的な技術として蓄積運搬形転送がある。

この技術は、まず宛先に届きそうなノードにデータを転送し、次に中継ノードにデータを蓄積する。この一時的な蓄積により、再開を待つ、あるいは最適なタイミングを待つことができ時間的不連続性に対応できる。さらに蓄積されたデータを物理的に、例えば自動車や列車を用いて運搬する。この運搬によって空間的不連続性に対応でき、また、運搬によって無線通信の距離を短くすることができるので大容量のデータ転送を無線資源を浪費することなく実行す

ることが可能となる。そして宛先が見つかったら、運搬された保存データは転送される。

他にも、Epidemic Routing という手法がある [10]。この手法は、ノードの移動により遭遇した全てのノードに情報を複製して伝達していくという情報伝達技術である。そのため、複製するデータ数は指数的に増え網資源も大量に消費してしまうが、宛先へのデータ到達率や転送遅延において非常に優れた性能を示す。

既存の DTN フレームワークとしては IBR-DTN[11] などがある。

3. 災害時の想定環境

災害時の通信環境として、サーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントを用いた無線メッシュ/DTN システム (図 1) を想定している。このシステムは災害が発生したときサーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントが通常時モードから非常時モードに切り替わる。これにより、使えなくなった経路が発生しても稼働している一部のサーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントと DTN 技術を用いて継続的に接続、再構成を繰り返し、送信先に達するまでノードからノードへデータ転送を行って目的端末まで到達させることを可能とする。これにより、大規模災害などによって地域的にネットワーク接続が切れている場合でも通信が可能となり、また、被災地域外のネットワークに繋がっているサーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントまでデータを届けることで外部とのやり取りも行うことができる。本研究ではこのような環境を想定して検討を行う。

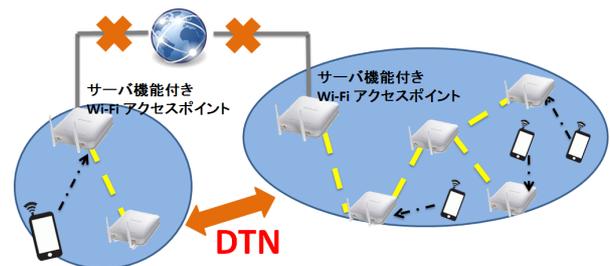


図 1 サーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントを用いた無線メッシュ/DTN システム

4. 災害時アプリケーションの検討

4.1 アプリケーション概要

本研究では Android 端末を用い、稼働しているサーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイント同士のデータ同期を可能とするような災害時 Android アプリの設計を行った (図 2)。

- 1) アプリは災害が起きネットワーク環境が不安定になった後でもインストールできるよう、アクセスポイント

に保存されている。ユーザはここからアプリをインストールする。

- 2) アプリを用いて安否情報を記入し、そのデータをアクセスポイント 1（以下、AP1）に送る。このときユーザは、自身のデータを送信すると同時に AP1 に保存されているデータを受け取り、端末に保存する。
- 3) ユーザが動くことで端末がアクセスポイント 2（以下、AP2）とデータのやり取りを行い、非接続状態の AP1 と AP2 のデータが同期される。

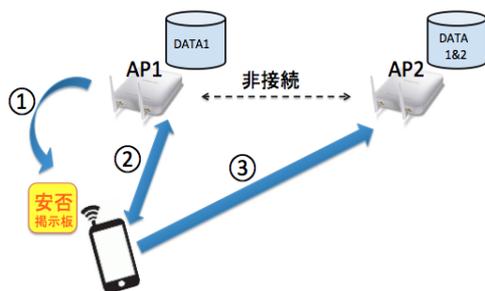


図 2 災害時アプリ概要

4.2 アプリケーション設計における注意点

アプリを検討するにあたり、注意しておかなければならないこととして各ポイントでのデータ取得の時間のずれがあげられる。例えば、端末から AP1 には PM2:00 にデータが届いたが、インターネットには PM5:00 に届いたとする。このときデータの取得には 3 時間のずれが生じている。この時間のずれに気づかずインターネットにデータの問い合わせを PM3:00 にしてしまうと、データは「まだ届いていない」だけに関わらず、「ない」と勘違いされてしまう可能性がある。また、接続が切れているアクセスポイント同士はデータの同期ができていないので、インターネット側はどのアクセスポイントといつの時点のデータを同期したかを把握しておかなければならない。さもなければ、実際は古いデータにも関わらず届いた時間が新しいからといってそのデータが最新だと判断し、誤った同期をしてしまうことが起こりうる。

アプリの設計はこのような問題に注意しながら検討した。

4.3 端末側の実装

Google が提供している Android 開発環境である Android Studio で実装した。端末としては Galaxy Nexus, Android 4.2.2 を用いた。端末側アプリの主な動作は以下の通りである。

- 1) ユーザは安否情報を記入し、端末が保存しているデータに追加する。このとき、送信した時間、データの ID、

サーバの ID も自動的に取得されユーザ情報に含まれる。初めてアプリを使用する場合は登録したデータのみが保存される形となる。

- 2) アクセスポイントに端末が保持するデータのリストを送り、サーバのデータとの差分を調べる。
- 3) サーバから要求があった端末のみが保持するデータをサーバへ送り、サーバから送られたデータを保存する。

ユーザが記入するものは、名前、電話番号、被害状況、居場所、コメントの 5 項目であり、データを送信すると同時にデータの ID、送信した時間、通信先のサーバの ID が自動的に取得される。ただし、災害が起きた場合でも動作している機器が保有する時刻に大幅なずれは生じないということ为前提としている。データのリストは各データにつけられた ID から作成している。これをデータ本体のやり取りを行う前にサーバへ送信し、サーバと端末のデータの差分を調べることで、重複データの送受信を防いでいる。

端末とサーバがデータのやり取りを行う場合、データは JSON 形式にしており、JSONObject 型で扱われる。JSONObject とは {} で囲まれたものが 1 つのオブジェクトであり、変数名と値のセットによって成り立っている。例えば、{ "name" : "お茶の水花子" } ならば変数名が「name」、その値が「お茶の水花子」となる。しかし、JSONObject 型には 1 人分のデータしか入らない。よってデータは、JSONObject 型がリスト状になっている JSONArray 型に複数人のデータを格納し、それを変数名 data の値とした JSONObject 型としている。データはサーバとのやり取り以外では、ユーザ情報の各要素をもったクラス List(BoardData) 型として端末に保存されている。データの ID は int 型、時間は long 型、その他の要素は String 型であり、コメント以外の要素はどれも 10 ~ 15 byte 程度、コメントも 20byte 程度におさまると考えられるので 1 人分の安否情報は 100 ~ 120 byte 程度であると考えられる。

4.4 サーバ側の実装

サーバとしては、メモリ 3.7GB の Intel Pentium E2220 2.4GHz を 2 台用いた。サーバは Java で実装してあり、主な動作は以下の通りである。

- 1) 端末から通信がきたらサーバの ID を返す。
- 2) 端末から送られたデータのリストをもとにお互いが保持していないデータを判断し、端末のみが保持するデータの送信を端末へ要求する。
- 3) 端末から送られてきたデータをデータベースに保存し、サーバのみが保持するデータを端末へ送信する。

端末側で述べたように端末とサーバでデータのやり取りを行う場合はデータは JSONObject 型で扱われているが、サーバ内ではデータの ID を PRIMARY KEY としてデータベースで保存されている。よって、検索などを行いたい場合は端末側ではなくサーバ側で検索する形となる。

データの保存方法は update 文で上書き保存するのではなく、insert 文のみを用いて追加だけしていくようにしている。これは、例えばユーザのデータ送信履歴から行動軌跡をたどるなど、災害時においては過去のデータも価値がある可能性が考えられるためである。

5. 提案手法のシミュレーション評価

提案手法の特徴的な点は、サーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントを通じてデータのやり取りを行うことである。つまり、端末間ではデータのやり取りが行われず、アクセスポイント対アクセスポイント、アクセスポイント対端末の 2 通りの場合でのみデータがやり取りされる。本章では、ネットワークシミュレータ Scenargie [12] を用いて提案手法の有効性を検証する。比較対象としては、全ての端末間同士でデータのやり取りを行う可能性のある Epidemic Routing を取り上げた。

5.1 予備実験

シナリオを考えるにあたり、ノードの伝送距離をどのように設定するかは重要である。そこで、アクセスポイントと端末の伝送距離を調べた。

予備実験をするにあたり、このとき想定するアクセスポイントについて説明する。通常のアクセスポイントはデータを運ぶための中継点にすぎないが、本研究ではサーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントを考慮しているので、アクセスポイントは端末と同様にデータの蓄積や送信も行う。よって今回のアクセスポイントには、通常の AP 用無線インタフェースに加え、端末のようにデータのやり取りを行う STA 用無線インタフェースをもたせ、2 つの無線インタフェースをもつ形とした。あるアクセスポイントの AP 用インタフェースは異なるアクセスポイントの STA 用インタフェースにつながり、各無線インタフェースが自身のインタフェースにつながらないように、IP アドレスやチャンネル、SSID を指定している (図 3)。アクセスポイント同士のやり取りでは 2 つの IP 空間を利用しているが、端末とやり取りを行う場合は DHCP の機能を利用して端末のアドレスが自動的にアクセスポイントに割り当てられるので、端末のネットワークアドレスがアクセスポイントの AP 用インタフェースと異なる場合でも互いにやり取りを行うことができる。

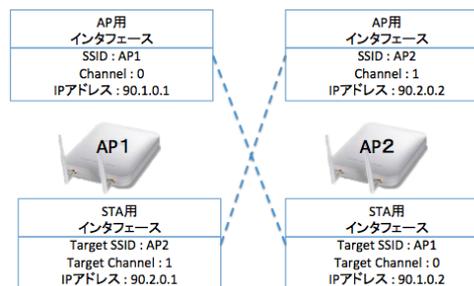


図 3 アクセスポイントの概要

上記のようなアクセスポイントを用いてデータのやり取りを行う場合と端末同士でデータのやり取りを行う場合の大きな違いは、ノードの地面からの距離である。地面から離れている方が波の受ける影響は少なく、近いとその分地面による反射の影響を受けてしまう。アクセスポイントは壁や天井に設置されていることが多いため地面からの距離は 2.5 m 程度、端末の場合は人間が持ち運びをしているため 1.0 m 程度だと考えられる。このとき、影響は地面からのみだとし、表 1 のような環境を想定してデータレートに対する伝送距離を想定した。その結果が図 4 である。

表 1 予備実験の設定の詳細

送信電力	10dBm
アンテナの高さ	アクセスポイント : 2.5m 端末 : 1.0 m
伝搬損失モデル	Two-Ray Ground Reflection
Association 閾値	-82dBm
Disassociation 閾値	-82dBm
検出閾値	-82dBm

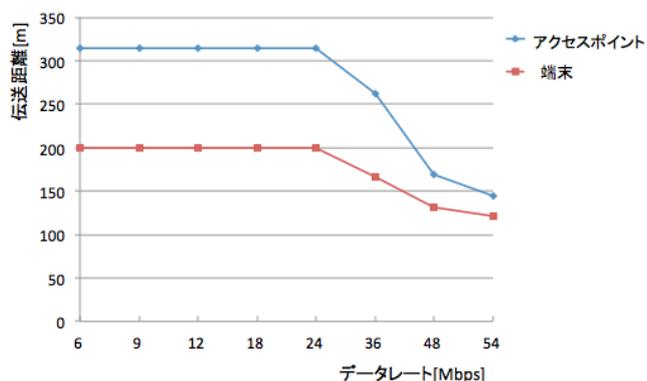


図 4 データレートによる伝送距離

上記のグラフから、送信電力を 10dBm、アクセスポイントの ASSOCIATION 閾値を -82dBm と想定した場合の伝送距離は、アクセスポイントが 300 m 程度、端末が 200m 程度だということが確認できた。以降のシナリオではこの値を用いる。

5.2 シナリオモデル

シナリオでは 500m × 500m の範囲を想定し、宛先である外部のネットワークとつながっている宛先アクセスポイント 1 台と、端末と中継アクセスポイントを合わせた 80 ノードをランダムに配置する。端末と中継アクセスポイントはシミュレーションが開始してから 10 秒後に 120byte のバンドルを 1 つずつ生成し、端末はランダムに動きながら、中継アクセスポイントは固定された状態で宛先アクセスポイントへバンドルを届けようとする。このとき、シミュレーション時間 120 秒間で、いくつのバンドルが宛先アクセスポイントへ届き、どのくらいの複製バンドルが生成されたかを Epidemic Routing と提案手法の中継アクセスポイントの台数を変えながら比較する。以下に実験の詳細を示すが、本研究では災害時を想定しているため通常のネットワーク環境よりもデータレートや送信電力に制限がある状況にしている。

表 2 実験の設定の詳細

シミュレーション時間	120 秒間
範囲	500m × 500m
バンドルを所持するノード数	80
バンドルサイズ	120 byte
送信電力	10dBm
データレート	6Mbps
Association 閾値	-82dBm
伝送距離	アクセスポイント : 300m 端末 : 200 m
無線 LAN 規格	IEEE802.11g

5.3 シミュレーション結果

宛先アクセスポイントへのバンドル到着数の推移を図 5 で、ノードの総バンドル送信数の推移を図 6 で示す。

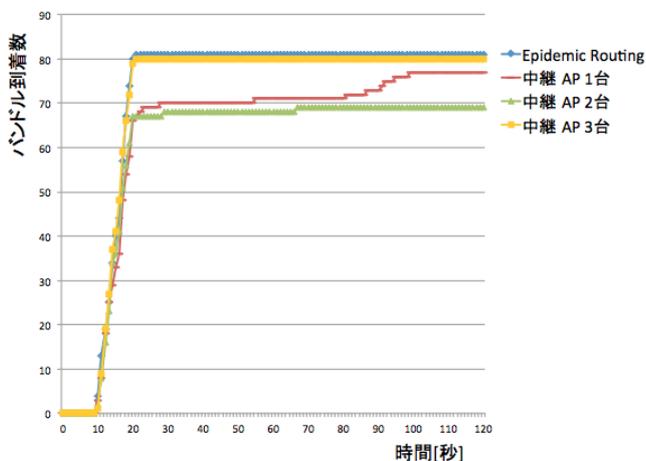


図 5 宛先アクセスポイントへのバンドル到着数

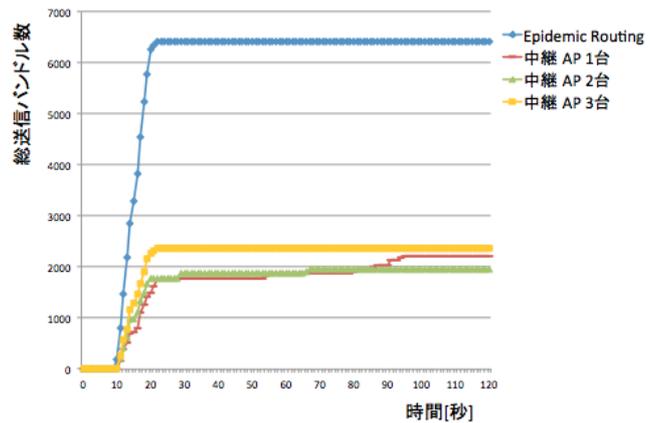


図 6 総バンドル送信数

図 5 より Epidemic Routing を用いた場合は、各端末がバンドルを送信してから 11 秒後に全てのバンドルが宛先アクセスポイントに到着している。このときの総バンドル送信数は図 6 より 6426 であり、届けたいバンドル数の約 8 倍もの複製バンドルが生成されたことがわかる。また、宛先アクセスポイントでは 1 つの重複バンドルを受信していた。

次に提案手法について見ていく。中継アクセスポイントが 1 台の場合、送信してから 110 秒後では 77 のバンドルが届き、総バンドル送信数は 2228 であった。このとき、この中継アクセスポイントは宛先アクセスポイントの伝送距離内にあり、互いにやり取りができる状況になっていた。Epidemic Routing を用いた場合よりもバンドル到着数が 3 少ないが、総バンドル送信数が大幅に少なくなっていることがわかる。

次に、中継アクセスポイントを 1 台追加し 2 台にしてみた。すると、宛先アクセスポイントへの到着バンドル数は 69、総送信バンドル数は 1962 となり、アクセスポイントが 1 台のときよりも到着バンドル数が減ってしまっていた。これは、このシナリオでは追加したアクセスポイントが元々あった中継アクセスポイントとも宛先アクセスポイントとも離れた場所にあり、どちらともやり取りができなかったためだと考えられる。

さらにもう 1 台追加し、中継アクセスポイントを 3 台とした。すると、宛先アクセスポイントはバンドルの送信が始まってから 11 秒後に 80 のバンドルを取得し、Epidemic Routing を用いた場合と同じ時間で全てのバンドルが宛先アクセスポイントに届いたことがわかる。このときの総バンドル送信数は 2366 であり、Epidemic Routing を用いた場合の約 0.36 倍の複製バンドル数で全てのバンドルを到着させることができた。また、重複バンドルの生成はなかったため、Epidemic Routing よりも正確にバンドルを届けることができていた。

このことから、提案手法のようにアクセスポイントを介してバンドルのやり取りを行い、中継ノードの選択に制限

をつけることで、無駄なバンドル数を抑えて宛先まで届けることができると確認できた。この手法は、災害時のように網資源や端末の電池消費を抑えたい環境では有効な方法であると考えられる。ただし、中継アクセスポイントを2台に増やしたときのように中継アクセスポイントの配置によってはこの効果が薄れてしまうことや、提案手法を用いることで端末からの送信は抑えることができるが中継アクセスポイントのバンドル送信数が増えてしまう、といったこともこれから考慮していく必要がある。

6. まとめと今後の課題

大規模災害によって地域的にインターネットが機能しないなど、従来は想定されていなかったような劣悪な条件下でも部分的に稼動しているサーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントと DTN 技術を利用して、安否確認が行えるようなアプリの検討と簡単なアプリの実装、シミュレーションによる評価を行った。サーバ機能付 Wi-Fi アクセスポイントを用いてデータのやり取りを行うことで、無駄なバンドルの複製を抑えて宛先まで届けることができると確認できた。

今後の課題としては、アクセスポイントの数や配置、より現実的なモビリティを考慮して評価を行いたい。また、現段階では端末全てがフェリーノードの役割をしているので、その決定方法等についても検討していきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、有用なアドバイスを頂いた NICT の大和田泰伯氏と(株)スペースタイムエンジニアリングの前野誉氏に深く感謝致します。

参考文献

- [1] NTT ドコモ
<https://www.nttdocomo.co.jp/info/disaster/>
- [2] KDDI
<http://www.au.kddi.com/mobile/anti-disaster/saigai-dengon/>
- [3] SoftBank
<http://www.softbank.jp/mobile/service/dengon/>
- [4] Facebook
<https://www.facebook.com/about/safetycheck/>
- [5] goo 防災アプリ
<https://bousai.goo.ne.jp/apps/>
- [6] 鶴正人, 内田真人, 滝根哲哉, 永田晃, 松田崇弘, 巳波弘佳, 山村新也 ”DTN 技術の現状と展望” 通信ソサイエティマガジン, No.16[春号], pp.57-68, 2011.
- [7] 金田知展, 中村嘉隆, 高橋修 ” DTN を用いた災害時通信システム構築法の提案” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2013) シンポジウム, pp.964-969, 2013 年 7 月.
[http://www.fun.ac.jp/y-nakamr/research/dicom/](http://www.fun.ac.jp/y-nakamr/research/dicom/dicom2013kaneta.pdf)
- [8] R. J. D’Souza, Johny Jose ”Routing Approaches in Delay Tolerant Networks:A Survey” International Journal of Computer Applications (0975 - 8887), Vol.1, No.17, 2010.
- [9] 加藤寧 ”スマホ de リレー - 圏外でも通信可能なデュアルモードアドホックネットワーク技術 - ” 東北大学電気通信研究機構シンポジウム, 2013 年 7 月.
<http://www.roec.tohoku.ac.jp/info/news/pdf/NJ00067.pdf>
- [10] Amin Vahdat and David Becker ”Epidemic routing for partially connected ad hoc networks” Technical Report CS- 200006, pp.18, Duke University, 2000.
- [11] IBR-DTN
<https://bousai.goo.ne.jp/apps/>
- [12] Scenargie
<https://www.spacetime-eng.com/jp/>