

MANET を用いて端末の位置および動きを共有する スマートフォンアプリケーションの設計および実装 Design and Implementation of a Smartphone Application Sharing Information on Location and Mobility of Devices using MANET

藤江 勇真¹ 神崎 映光²

概要: モバイル端末のみで自律的にネットワークを形成する MANET (Mobile Ad-hoc NETwork) は、永きに渡り研究が盛んに行われている。特に、近年のスマートフォンの普及に伴い、チャットや通話をはじめとして、MANET を介してさまざまな情報のやり取りが行えるアプリケーションもいくつか開発されている。一方、緊急災害時における被災者の位置情報共有や、周辺の混雑状況をはじめ、端末の位置や動きに関する情報の共有も、MANET の応用として有用である。本稿では、端末の位置や動きに関する情報を MANET を介して共有し、直感的に理解できる形でユーザに提示するスマートフォンアプリケーション Daphne を設計、実装した。Daphne では、BLE (Bluetooth Low Energy) を用いて周辺端末と端末の位置に関する情報を共有し、これを用いて他端末の位置および移動速度を導出する。また、導出した情報を地図上に重畳して提示することで、端末の位置や動きに関する情報の直感的な理解を支援する。

1. はじめに

無線通信が可能なモバイル端末のみで自律的にネットワークを形成するモバイルアドホックネットワーク (MANET: Mobile Ad-hoc NETwork) は、緊急災害時における一時的な情報共有や、無線通信インフラにかかる負荷軽減などの実現が期待される技術であり、永きに渡り盛んに研究が行われている。また、近年ではスマートフォンが普及し、一般ユーザが普段所持しているデバイスを用いて MANET を構築できる環境が整いつつある。このような環境では、例えば緊急災害時において基地局の倒壊が起こった際、スマートフォンによって構築された MANET を用いて、最寄りの避難所や、周辺にいる被災者の位置、周辺の道路の状況など、避難や救助活動に有効な情報の共有が可能になる。また平時においても、周辺の道路の混雑状況などを把握したい場合など、地理的に局所的な情報が必要な場合、スマートフォンによって構築された MANET を用いるこ

とで、無線通信インフラに負荷をかけることなく情報収集が行える。

このような背景のもと、スマートフォンによって MANET を構築し、さまざまな情報の共有が行えるシステムおよびアプリケーションがいくつか開発されている [6], [8], [11]。これらの多くはチャットや通話など、個人間の情報共有を行うアプリケーションとして実装されており、従来はインターネット上のサーバを介して行っていた情報のやり取りを MANET を用いて補助することにより、無線通信インフラへの負荷を軽減しつつ、スマートフォン間の通信を実現している。一方、MANET を用いて共有する情報として、先の応用例で述べた周辺の混雑状況をはじめとして、各端末の位置や動きに関する情報も非常に有用であるものと考えられる。しかし、既存システムはこのような情報の共有は想定しておらず、先述した応用への適用は難しい。

そこで本稿では、スマートフォンのみで構築された MANET を用いて、各端末が周辺端末の位置や動きに関する情報を容易に把握できるアプリケーション “Daphne” の設計を行い、そのプロトタイプを実装した。Daphne では、一般的なスマートフォンに搭載されている近距離無線通信規格であり、省電力性やベンダ間での互換性に優れている

¹ 島根大学総合理工学部
Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University

² 島根大学大学院総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University

BLE (BLE: Bluetooth Low Energy) [3] を用いて、端末間での無線通信を行う。具体的には、各端末が自身の位置および動きに関する情報を保持し、他端末と直接通信可能となった際、その情報を相手端末に送信する。このとき、過去に他端末から受信した情報も相手端末に転送することで、直接通信できない端末の情報も相互に共有する。また、取得した情報を地図に重畳して提示することで、自身および他端末の位置および動きの直感的な理解を支援する。

以下では、第2章で、提案アプリケーションに関連する技術および既存システムについて述べる。続く第3章で提案アプリケーションの設計について述べ、第4章でプロトタイプの実装について述べる。第5章においてプロトタイプの動作検証実験を行った結果について述べ、最後に第6章で本稿のまとめと今後の課題について議論する。

2. 関連技術及びシステム

本章では、提案アプリケーションにおいて利用する無線通信規格である BLE について概説し、その後スマートフォンによる MANET を用いた既存システムおよびアプリケーションについて述べる。

2.1 BLE (Bluetooth Low Energy)

BLE は、Bluetooth SIG (Special Interest Group) [2] により策定された Bluetooth 4.0 の仕様に基づき、低遅延かつ低消費電力な近距離無線通信を実現する通信規格である。

BLE における通信は、通信を制御するマスタであるセントラルと、スレーブであるペリフェラルと呼ばれる端末間において行われる。送信すべきデータを保持するペリフェラルは、アドバタイズパケットと呼ばれるサイズの小さなデータを間欠的に送信し、セントラルに対し自身の存在を通知する。これを受信したセントラルは当該ペリフェラルに対する接続要求を送信し、ペリフェラルとの接続を確立する。接続確立後は、ペリフェラルが保持するデータのうち、セントラルに必要なものを探索し、当該データの送受信を行う。

2.2 既存システムおよびアプリケーション

FireChat[8] は、Open Garden 社によって開発されたスマートフォン向けのメッセージングアプリケーションであり、Wi-Fi および BLE を用いた MANET による通信をサポートしている。このアプリケーションは、スマートフォンアプリ上でユーザが入力したテキスト等のメッセージを MANET を介して他端末に送信することで、ユーザ間のメッセージ交換を可能としている。このアプリケーションは、ユーザ間でのメッセージ交換を想定して設計されており、第1章で述べたとおり、周辺に存在する端末の位置や速度に関する情報の共有には用いることができない。

星野らは文献 [5] において、端末の位置情報を MANET

を用いて収集し、これを用いて災害発生時の避難経路を提示する手法を提案している。この手法では、端末で記録した位置情報のログを無線通信インフラに接続できる端末まで MANET を介して送信し、すべての情報をインターネット上のサーバに集約する。サーバは、収集したデータを用いて、被災地域における避難経路を導出し、無線通信インフラを介して当該地域に存在する端末へ返信する。この情報は、当該地域において構築された MANET を介して拡散される。これにより、無線通信インフラに直接接続していない端末に対する避難経路の提示を可能としている。この手法は、端末の位置情報を MANET を介して送受信する点が提案アプリケーションと類似している。しかし、インターネット上のサーバに情報を集約する点や、避難経路の導出および提供を目的としている点が提案アプリケーションと異なる。

井原らは文献 [6] において、災害発生時に MANET を介してデジタルサイネージに情報を提示するシステムを提案している。このシステムは、スマートフォンにより構成された MANET をサイネージ間の中継に用い、サイネージ間におけるリアルタイムな災害情報の共有を可能としている。また、共有した情報をサイネージ上に提示し、さらにサイネージからスマートフォンへの情報のダウンロードも可能としている。このシステムは、サイネージにおいて提供されている情報の伝搬を目的に設計されており、端末の位置および速度に関する情報を提供する提案アプリケーションとは目的が異なる。

3. 提案アプリケーションの設計

本章では、本稿で提案するアプリケーション Daphne の設計について述べる。

3.1 設計方針

第1章で述べたような応用を想定した場合、スマートフォンを所持するユーザの周辺における混雑度や進行可能な経路を直感的に把握できるような情報提示が求められる。そこで Daphne では、周辺端末の位置および移動速度に関する情報を地図上に重畳して提示する。

また、提案アプリケーションは、緊急災害時など、無線通信インフラが利用できない状況においても情報共有を行うことが想定される。そのため、無線通信インフラを用いることなく、MANET のみで全ての通信を完結させる必要がある。上述のとおり、Daphne では周辺端末の位置情報を地図上に重畳して提示するが、一般的な地図アプリケーションはインターネット上の地図情報を取得しながら提示しており、無線通信インフラが利用できない状況においては情報提示が行えない。そこで Daphne では、無線通信インフラが利用できない状況でも利用できるよう、オフライン下でも利用可能な地図を事前にダウンロードし、情報提

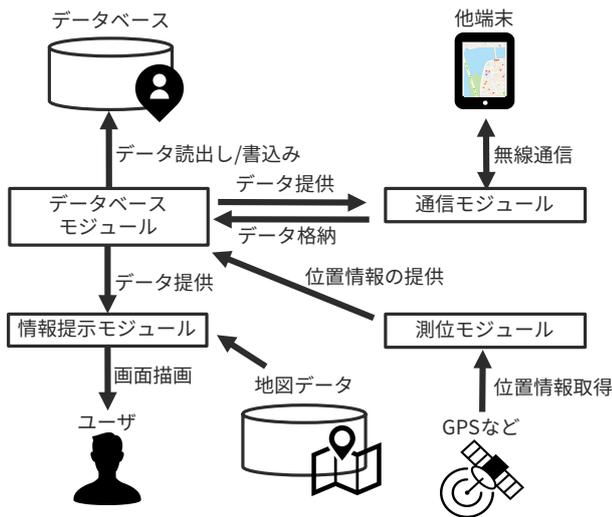


図 1 Daphne のアプリケーション構成

示の際に利用する。

Daphne は、一般ユーザの所持するスマートフォンを用いて MANET を構築し、位置情報等の共有を行う。ここで、スマートフォンで MANET を構築するための通信規格として、BLE、Wi-Fi Direct および LTE Direct などが挙げられるが、ベンダ間通信の整合性や省電力性などを考慮し、Daphne では BLE を用いるものとした。

また、利用状況によっては、位置情報の無差別な共有が、プライバシーの観点から好ましくない場合がありうる。また、アプリケーションの用途として、特定のユーザ間でのみ一時的に位置情報等の共有を行うことも考えられる。以上を考慮して、Daphne では、情報を共有する範囲を示す共有識別子を端末に設定可能とし、ユーザに提示する情報を共有識別子が一致する端末のものだけに限定する機能を提供する。さらに、不正アクセス防止のため、共有する情報は端末に格納させる段階および端末間で通信させる段階で暗号化させる。

3.2 アプリケーション構成

Daphne のアプリケーション構成を図 1 に示す。Daphne は、他端末との無線通信を行う通信モジュール、自身の位置情報を取得する測位モジュール、自端末および他端末の位置や速度に関する情報であるデータを管理するデータベースモジュール、およびユーザに位置情報等の情報を提示する情報提示モジュールによって構成される。以下では、それぞれのモジュールについて詳述する。

3.3 通信モジュール

通信モジュールは、他端末の通信モジュールとの無線通信を行うモジュールである。このモジュールは、自端末に搭載された BLE デバイスを監視し、2.1 節で述べた手順に従って他端末と通信可能となった場合に、自端末のデータ

ベースに格納されているレコード（以下、データと表記）を相互に共有する。

自端末がセントラルとして他端末と接続した場合、ペリフェラルである相手端末が保持するデータを読み出すと同時に、自身のデータベースモジュールからデータベースに格納されているデータを全て取得し、ペリフェラルに送信する。その後、ペリフェラルから受信したデータをデータベースモジュールを介してデータベースに格納する。

一方、ペリフェラルとして接続した場合、セントラルからの要求に応じて、データベースモジュールを介して読み出したデータを提供する。また、セントラルから受信したデータを、データベースモジュールを介してデータベースに格納する。さらに、セントラルとの接続が確立している間は、データベースに格納されているデータに更新が発生するたびに、データベースモジュールからの通知を受け取り、更新されたデータをセントラルに送信する。セントラルは、ペリフェラルからの更新データを受信するたびに、自身のデータベースに更新が発生しているか確認し、更新がある場合は、当該データをペリフェラルに送信する。

3.4 測位モジュール

測位モジュールは、GPS (Global Positioning System) 等から得られる自端末の位置情報を取得するモジュールである。このモジュールは、自端末の位置情報を定期的に取り得し、データベースモジュールに提供する。

3.5 データベースモジュール

データベースモジュールは、自端末内で生成したデータや、他端末から受信したデータを処理し、データベースへの読み出しや書き込みを行うモジュールである。

自端末のデータとしては、3.4 節で述べた測位モジュールから受け取った位置情報に、自身の識別子、位置情報の取得時刻、および 3.1 節で述べた共有識別子を付与し、これをレコードとしてデータベースに追加する。一方、他端末のデータについては、他端末との無線通信を行った際、通信モジュールからデータを受け取り、データベースへ格納する。

上記のデータは時間の経過とともに増加するため、特に情報を共有する端末数が多い場合、各端末の記憶領域を圧迫する可能性がある。また、各端末の位置は時々刻々と変化することが考えられるため、第 1 章で述べた応用を考慮した場合、取得してから一定期間以上経過した位置情報は不要である。そのため、上記のデータは、端末識別子ごとに保持するレコード数や期間に上限を設け、古いデータは逐次削除する。

3.6 情報提示モジュール

情報提示モジュールは、データベースに格納されている

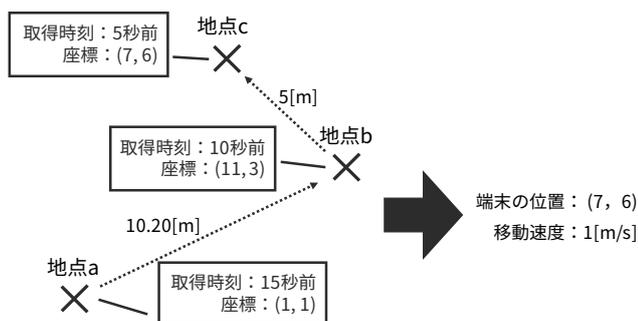


図 2 位置および移動速度の導出例

データをユーザに提示するモジュールである。3.1節で述べた通り、このモジュールは、各端末の位置情報と移動速度を地図上に重畳して、視覚的に提示する。ここで、共有識別子が指定されている端末の位置情報については、同じ共有識別子が端末に設定されている場合のみ、画面上に提示する。

また、データベースに格納されている各端末の位置情報には、過去に取得したものも含まれており、取得してから経過した時間が長いほど、当該端末が他の位置に移動している可能性が高い。同様に、移動速度が大きい端末についても、データベースに格納されている最新の位置情報と異なる位置に移動している可能性が高い。以上を考慮して、情報提示モジュールでは、データベースに格納されている各レコードの時刻情報を用いて、各端末の位置情報に加え、最新の情報を取得してから経過した時間に基づく情報の新鮮度、および端末の移動速度に関する情報を視覚的に提示する。以下では、端末識別子ごとに保持できる最大データ数が3件であり、ある端末について図2左部に示す情報がデータベースに格納されている場合を例に説明する。

端末の位置情報としては、データベースに格納されているデータのうち、取得時刻が最も新しいものを利用し、地図上の対応する位置にマーカーを提示する。図2の例では、取得時刻が最も新しい地点cの位置を、当該端末の位置として提示する。ここで、最新の取得時刻から経過した時間に応じて、マーカーの提示方法を変更することで、当該情報の新鮮度の直感的な理解を支援する。また、端末の移動速度は、取得時刻が現在時刻に近い2件のデータを用い、2地点間の距離および経過時間により導出する。図2の例では、取得時刻が新しい2地点cおよびbの情報をを用いて得られる $1[m/s](= 5[m]/(10 - 5)[s])$ を、当該端末の移動速度とする。取得時刻からの経過時間と同様、移動速度についても、その大小に応じて情報の提示方法を変更することで、移動速度の直感的な理解を支援する。

4. 実装

本章では、第3章で述べた設計に基づき実装した提案ア

表 1 データベーススキーマ

キー	型
取得時刻	NSDate
UUID	NSString
緯度	Double
経度	Double
共有識別子	Int

プリケーションのプロトタイプについて述べる。

4.1 実装環境

スマートフォンとして、Apple社のiPhone4S, iPhone5CおよびiPhone6を用い、OSはすべてiOS9を用いた。

アプリケーションはSwift2で記述し、データベースエンジンにはRealmSwift[10]を用いた。

地図データとしては国土地理院が発行する電子国土基本図[7]、OSM財団が発行するOpenStreetMap[9]、およびApple社が発行するMapKit[1]を使用した。

4.2 データフォーマット

プロトタイプにおいて定義したデータベースのスキーマを表1に示す。

端末の識別子としては、UUID (Universal Unique Identifier) を用いることとし、位置情報としては緯度および経度を保持するものとした。また、共有識別子は4桁の整数値とし、アプリ起動時にユーザが入力できるよう実装した。

データベースに格納するデータは、Realmの機能により暗号化するものとした。また、端末識別子ごとに最大3件を上限として保持し、取得時刻から30秒が経過したデータは削除するものとした。

4.3 提示画面

Daphneにおいて提示される画面の例を図4.3に示す。

各端末の情報は、対応する位置に円形のマーカーを重畳することで提示する。3.6節で述べた情報の新鮮度および移動速度の提示方法としては、地図上に提示するマーカーの大きさおよび色によって表現するものとした。具体的には、表2に示すとおり、取得時刻からの経過時間に応じて、提示するマーカーの大きさを3段階に変更し、また表3に示すとおり、導出した移動速度に応じて、提示するマーカーの色を変更した。さらに、移動速度が0より大きい、すなわち静止状態でないと判断された端末については、最新のもの以外の位置情報も小さなマーカーを用いて提示するものとした。これにより、各端末の速度に加え、最近の移動経路の把握を支援できるものと考えられる。

さらに、自端末の情報としては、情報取得からの経過時刻や移動速度に関わらず、青色のマーカーで現在位置を提示するものとした。



図 3 Daphne のメイン画面

表 2 新鮮度による提示方法の変更

取得時刻からの経過時間 (t_d)	マーカの大きさ
$0 < t_d \leq 10[s]$	大
$10 < t_d \leq 20[s]$	中
$20 < t_d < 30[s]$	小

表 3 移動速度による提示方法の変更

移動速度 (v)	状態	マーカの色
$v = 0[m/s]$	静止状態	赤
$0 < v \leq 4.0[m/s]$	徒歩	黄
$4.0 < v[m/s]$	徒歩以上	緑

5. 動作検証実験

実装したプロトタイプの実験を検証するため、島根大学松江キャンパス内にて簡易的な実験を行った。

実験では、プロトタイプがインストールされた iPhone 5 台を図 4 に示す位置に配置し、端末 A において他端末の位置情報が取得および提示できるか確認した。なお、準備実験によって、端末間の距離が 40[m] のときは直接通信が可能であり、50[m] になると通信できないことを確認している。すなわち、図 4 の環境によって動作を確認することにより、端末 A および {C, D, E} 間において、端末 B を介したマルチホップ通信による情報共有が行えるかが検証できる。

動作検証時の端末 A における出力画面を図 5 に示す。図から確認できるとおり、直接通信が行えない端末 {C, D, E} も含め、すべての端末の情報が適切な位置に提示されており、マルチホップ通信による情報共有が行えることが確認できた。また、各端末の移動に伴い、対応する端末のマークも低遅延で適切な位置に移動することを確認した。

6. 考察

3.1 節で述べたとおり、Daphne では、端末間の無線通信

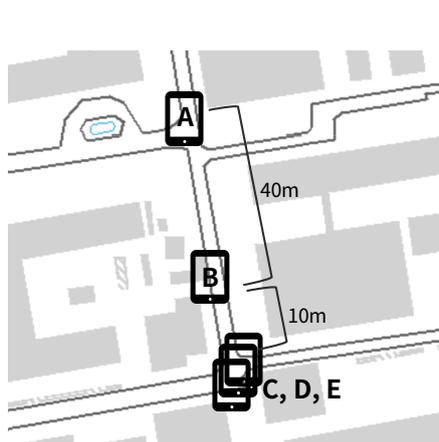


図 4 動作検証実験環境

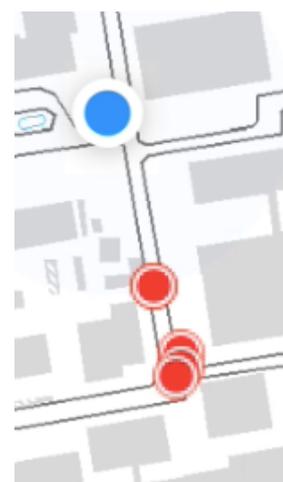


図 5 端末 A における情報提示結果

に BLE を用いることにより、ベンダ間の差異による影響を受けにくく、また省電力性に優れた情報共有を実現している。一方で、Wi-Fi Direct や LTE Direct など、BLE 以外の無線通信が利用可能な端末間においては、これらも併用することによって情報共有の効率がさらに向上するものと考えられる。ただし、通信規格によって、ベンダ間の互換性や消費電力特性、無線通信範囲等が異なるため、端末数や端末の性能、残余電力等に応じて、通信に用いる規格を適切に選択する機構が必要になるものと考えられる。

現在の実装では、共有識別子を指定しない限り、データベースに格納されている全端末の情報を地図上に提示する。そのため、過度に MANET に参加する端末数が増加した場合、多数のマークが地図上に提示され、各端末の位置の把握が困難になる可能性がある。また、端末の移動経路を示すために、各端末に対して複数のマークを提示しているが、このことも、端末数が増加した場合に各端末の位置の把握を阻害する要因となり得る。

Daphne では、MANET を介して入手できた位置情報を提示するため、端末が地理的に疎に存在する場合や、ネットワークが分断する場合など、接続性の低い環境においては、一部の端末の情報が入手できない可能性がある。現在の実装では、情報が入手できなかった端末は存在しないものとして提示されてしまい、結果としてユーザに提示する情報の精度が低下してしまう。これを回避するためには、MANET を介して情報が取得できていなかった地理的範囲を明示するなど、提示方法を改善する必要がある。

さらに、Daphne でやり取りされる情報は、プライバシー等を考慮して、共有識別子を用いてユーザに提示する情報を制限している。しかし、データ自体は Realm によって暗号化されているものの、Daphne を介して全てのデータにアクセス可能であるため、共有識別子を総当たりで設定するなどの方法によって、悪意あるユーザが通常参照できない

情報にアクセスすることを許可してしまう可能性がある。

7. まとめ

本稿では、MANET を介して周辺端末の位置情報および移動速度を視覚的に提示するスマートフォンアプリケーション Daphne を設計、実装した。Daphne では、位置情報を含むデータを周辺端末と共有し、地図上に重畳して提示することで、周辺ユーザの位置および動きの直感的な理解を支援する。

また、iPhone 5 台を用いた動作検証により、マルチホップな情報共有が行え、端末の移動に追従した情報更新も可能であることを確認した。

第5章で述べた実験では、5 台のスマートフォンを用いた小規模な環境における動作検証を行うに留まっている。今後は、端末数等を増加させるなど、より大規模な環境における動作検証を行う予定である。

また、第6章で述べたとおり、BLE 以外の通信規格の併用や、情報提示部の機能拡張、プライバシーを考慮したよりセキュアな情報共有など、機能面および安全面において検討すべき課題が残されている。これらの課題についても、今後検討を進めていく予定である。

謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金・若手研究 (B)(17K12673) および東北大学電気通信研究所における共同プロジェクト研究によるものである。また、本研究を進めるにあたり、島根大学総合理工学部の佐藤公治氏、山下和也氏にアプリケーション作成を補助していただいた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] Apple: iOS - Map (online), available from <<https://www.apple.com/ios/maps/>> (accessed 2017-05-22).
- [2] Bluetooth SIG: Bluetooth Technology Website (online), available from <<https://www.bluetooth.com>> (accessed 2017-05-22).
- [3] Bluetooth SIG: Specification of the Bluetooth System (online), available from <<https://www.bluetooth.com/specifications/adopted-specifications/legacy-specifications>> (accessed 2017-05-22).
- [4] GEOFABRIK (online), available from <<https://www.geofabrik.de>> (accessed 2017-05-22).
- [5] M. Hoshino, M. Ito, K. Sezaki, "Pedestrian Flow Detection Using Bluetooth for Evacuation Route Finding," Proc. Int. Workshop on Mobile Geographic Information Systems (MobiGIS 2016), pp.84-87 (2016).
- [6] 井原雅行, 瀬古俊一, 石田達郎, 松村成宗, 渡邊浩志, 青木良輔, 宮田彰裕, 渡辺昌洋, "災害時向け情報共有技術を進化させるサービスユーザビリティ," 情報処理学会研究報告 (ユビキタスコンピューティングシステム 2014-UBI-44), pp.1-4 (2014).
- [7] 国土地理院: 地理院地図 (オンライン), 入手先 <<https://maps.gsi.go.jp>> (参照 2017-05-22).
- [8] Open Garden: Start Something (online), available from <<https://www.opengarden.com/firechat.html>> (accessed 2017-05-22).
- [9] OpenStreetMap: OpenStreetMap (online), available from <<https://www.openstreetmap.org>> (accessed 2017-05-22).
- [10] Realm: Create reactive mobile apps in a fraction of the time (online), available from <<https://realm.io>> (accessed 2017-05-22).
- [11] 田千暁, 本橋史帆, 大和田泰伯, 井峰生, 小口正人 "災害時における画像を扱った安否確認システムの評価," 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2016) シンポジウム論文集, pp.652-656 (2016).