

推薦論文

不安定な通信環境における 情報損失を低減する災害情報収集機構

多幡 早紀^{1,a)} 西山 潤¹ 福井 良太郎² 嶋津 恵子³ 重野 寛^{1,2}

受付日 2016年5月19日, 採録日 2016年11月1日

概要: 救命情報共有システムは、要救助者に関する情報収集を通じて、災害時の救助活動を支援するものである。本システムでは、公共車両に中継器を導入する。中継器は、複数の無線回線を使用して、周囲の端末からの情報をサーバへ送信することを想定している。このような冗長な構成においても、全回線が切断された場合には、情報の損失が発生する。また、端末がネットワークに接続できないときには、情報を送信できない。そこで本論文では、Web アプリケーションのオフライン運用機構と、OpenFlow による経路選択・切替機構からなる、救命情報収集機構を提案する。提案機構では、キャッシュを用いて、オフライン時の情報送信を可能にする。また、無線回線の接続状況や優先度の変化に応じた回線選択を行う。全回線切断時には、車載のサーバに情報を蓄積することで、情報損失を防ぐ。本論文では、プロトタイプシステムの実装を行い、情報収集率の向上という点から、提案機構の有用性を示す。

キーワード: 災害情報通信, オフライン運用, OpenFlow

Disaster Information Gathering Mechanism without Information Loss in Unstable Networks

SAKI TABATA^{1,a)} JUN NISHIYAMA¹ RYOTARO FUKUI² KEIKO SHIMAZU³ HIROSHI SHIGENO^{1,2}

Received: May 19, 2016, Accepted: November 1, 2016

Abstract: Emergency Rescue Information Sharing System supports rescue operations by gathering information about victims at the time of disaster. In this system, in-vehicle relays are used to gather extensive information. In-vehicle relays transmit information from mobile terminals to a database server by using several wireless links. In this redundant situation, information loss occurs when all links are disconnected. Additionally, terminals cannot send information without available networks. In this paper, we propose a disaster information gathering mechanism that adopts Web-based offline operation and OpenFlow-based routing control. Mobile terminals can send information even when they are offline by using caching mechanisms. Moreover, the proposed mechanism selects links dynamically according to link status and priority. When all links are disconnected, in-vehicle servers hold information and prevent loss. Prototype demonstration shows that the proposed mechanism can achieve high information gathering rate at the database server.

Keywords: emergency rescue, offline operation, OpenFlow

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University,
Yokohama, Kanagawa 223–8522, Japan

² 慶應義塾大学先端研究センター
Keio Advanced Research Center, Kawasaki, Kanagawa 212–
0032, Japan

³ 産業技術大学院大学
Advanced Institute of Industrial Technology, Shinagawa,
Tokyo 140–0011, Japan

a) tabata@mos.ics.keio.ac.jp

1. はじめに

災害時の救助活動について、「黄金の 72 時間」という言葉がある。この言葉は、災害発生から 72 時間が経過すると、被災者の生存率が著しく低下することを指す。より多

本論文の内容は 2015 年 10 月の第 23 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップにて報告され、同プログラム委員長より情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である。

くの被災者を救命するには、できるだけ早く救助活動が開始されることが望ましい。救命隊は、災害発生後 24 時間前後に被災地に到着する。しかし、救助活動に必要な情報が不足しているため、救命隊は即座に救助活動に従事できないことが指摘されている [1]。救命隊は、被災地に到着後、自ら情報を収集することから活動を開始するため、救助活動のピークは 72 時間の終盤となる。そこで我々は、災害時の情報収集を支援する救命情報共有システム [2], [3], [4] の研究を進めている。本システムの目的は、被災地の情報の共有を支援することで、救助活動の早期開始を実現することである。本システムでは、携帯端末から要救助者に関する情報を、METHANE [5] と呼ばれるフレームワークを用いて収集し、サーバに蓄積する。

本システムでは、公共車両が救命隊端末と METHANE DB サーバ間の通信を中継することを想定している。本システムの通信の制御には OpenFlow [6] が用いられ、要救助者に関する情報は、gateway スイッチを介して、METHANE DB サーバに送信される。災害時には通信環境が不安定であるため、公共車両に搭載する中継器は、LTE や WiFi、衛星回線など複数の無線回線を用いて、gateway スイッチと通信できるものとする。車載中継器は、周囲の救命隊端末から WiFi や 700 MHz 帯高度道路交通システム (ARIB STD-T109) [7] を用いて情報を収集し、METHANE DB サーバに送信する。このとき、複数の無線回線から、通信に使用する回線を選択する必要がある。また、このように冗長化された構成でも、すべての回線が切断された場合には、車載中継器で情報の損失が発生する。一方で、救命隊端末は、通信可能なネットワークがない場合には、情報の送信ができないという問題もある。

そこで本論文では、Web アプリケーションのオフライン運用機構と、OpenFlow による経路選択・切換機構からなる、災害時の救命情報収集機構を提案する。提案機構の特長は、METHANE DB サーバでの情報収集率の向上のために、アプリケーションの機構とネットワークの機構を組み合わせた点にある。提案機構では、キャッシングと同期処理により、オフライン時も救命隊端末からの情報送信を可能にする。また、車載中継器と gateway スイッチ間の通信を OpenFlow によって制御し、無線回線の接続状況や優先度の変化に応じた回線選択を行う。全回線切断時には、車載中継器が受信した情報を車載中間サーバに保持させることで、情報の損失を防ぐ。

以下本論文では、2 章において関連研究を紹介する。3 章で救命情報共有システムおよびシステムがかかえる通信の問題点について述べる。4 章で提案機構について述べ、5 章でプロトタイプシステムの実装と動作確認から、提案機構の有用性を示す。6 章で本論文の結論を示す。

2. 関連研究

本章では、災害時のアプリケーションや、不安定なネットワークにおける通信制御について述べる。

2.1 災害時のアプリケーション

災害時のアプリケーションで最も用いられるのは、各通信会社が提供する災害用伝言サービスをはじめとする安否確認システムであろう。また、災害発生前に人々に注意を促すものとして、気象庁によって緊急地震速報が運用されている。EMIS (Emergency Medical Information System) [8] は医療機関で運用されているもので、救命隊が患者の搬送先を決定する際に用いられる情報を共有するためのシステムである。東日本大震災時には、実際に多数のクラウドサービスが運用され、被災地域の生活の支援を行った [9]。近年では、救助活動の支援を行うサービスも現場に導入され始めている。被災状況の写真情報を集約し、現場で作業する自衛隊員に情報を提供する災害救助支援サービス [10] は、その一例である。これらのサービスと比較し、本研究は要救命者の所在情報を提供する点が特徴的である。通常時、救急隊は 119 番通報による詳細な情報をもとに出動するが [11]、災害時には、現場が混乱していることもあり、救命隊は出動判断が可能な精度の情報を得ることが困難である。本研究は、訓練を受けた救命のプロフェッショナルに対して要救命者の所在を提示するという、救助活動に直結した支援を行う点で、被災状況の共有を行うような他のシステムとは異なるコンセプトを持つ。

2.2 不安定なネットワークにおける通信制御

災害時に無線通信を効率的に使用することを目的として、様々な手法が研究されている。コグニティブ無線 [12] は、無線リソースの有効活用という点で効果的であるが、その制御は無線区間に限り、end-to-end での制御は困難である。一方、MP (MultiPath) TCP は、複数の TCP コネクションを 1 つのコネクションに見立てることから、リンクの切断への対策として有効である [13]。しかし、IP を用いたベストエフォートによる通信が前提となる。

これらの手法と比較し、OpenFlow では、積極的なネットワーク構築が可能である。OpenFlow は中央制御の仕組みであるため、制御関係の疎通がとれる範囲において、完全にネットワークリソースを把握し、end-to-end で経路や通信量を制御することができる。SDN (Software Defined Network) を用いた関連研究としては、コグニティブ無線の制御への活用 [14] や、通信品質を向上させる手法 [15] などがある。

また、DTN (Delay Tolerant Network) の災害時利用も注目されている。DTN を用いた研究として、メッセージリレーアルゴリズム [16] や、複数の MANET (Mobile Ad hoc

Network) を結合する境界ノードの研究 [17] などがある。

被災地の通信を迅速に復旧させる手段として、気球型 [18] などの移動式無線基地局の設置がある。MDRU (Movable and Deployable Resource Unit) は、車載基地局であり、通信環境の提供に加えて、写真を用いた安否確認システムの運用基盤として動作する [19]。近年、車車間通信の研究がさかに行われているほか、実際に通信機を搭載した車両も普及しつつある。災害時に車載システムを用いて情報収集を行うことは、おおいに実現性が高い。MDRU と比較し、本研究は、移動する車両を OpenFlow を用いてネットワーク化し、使用できるリソースを把握しながら、積極的に通信をコントロールする点に特徴がある。移動通信事業者各社が被災地の通信路を復旧させた後も、車載システムを併用することで、通信負荷の集中を防ぐことができる。

3. 救命情報共有システム

本章では、救命情報共有システムの概要を説明し、システムにおける通信の特徴および問題点について述べる。図 1 に救命情報共有システムの概要を示す。

3.1 救命情報共有システムの概要

大規模災害発生時、被災地に関する情報の収集は不可欠である。救命情報共有システムの目的は、要救助者に関する情報の収集を通じて、救助活動の早期開始と被災者の救命率の向上を実現することである。本システムでは、NATO 軍により開発された METHANE と呼ばれる情報共有フレームワークを用いて、情報収集を行う。METHANE は要救助者の場所や人数などを含むテキスト情報であり、最小限の情報量で救助活動に必要な情報を収集できる。

本システムでは、METHANE 情報を電子化してサーバに蓄積することで、救命隊間の情報共有を支援する。救命隊は自身が所持する端末から、METHANE の構造に沿った要救助者に関する情報や隊の活動地域の情報を METHANE DB サーバに送信する。また救命隊は、METHANE DB サーバで集約された情報を閲覧することで、被災地の状況

を把握し、急行すべき地域を自律的に判断できる。

3.2 Web アプリケーションの適用

救命情報共有システムの実装方法として、以下の 2 つの方法が考えられる。1 つ目は、端末にインストールする専用アプリケーションとして実装する方法である。この方法では、システムの動作が機種に依存するほか、事前のインストールが必要である。2 つ目は、Web アプリケーションとして実装する方法である。この方法では、インストールが不要であり、様々な端末上で操作できる。Web アプリケーションの操作には、基本的に端末が通信可能であることが求められるが、近年では、オフライン時の操作に対応した仕組みが普及している。以上の理由から、本システムは Web アプリケーションとして提供される。

3.3 救命情報共有システムの通信

救命情報共有システムにおいて、要救助者に関する情報が蓄積される METHANE DB サーバは、OpenFlow により制御される有線ネットワークに接続されることを想定する。これは、災害時の不安定な通信環境において、積極的に経路を切り換えるためである。各地から様々な無線回線を使用して送信された情報は、gateway スイッチを経由し、METHANE DB サーバに送信される。

また、本システムにおいて、情報収集を効率的に行う手段として、公共車両に中継器を搭載することが有効である [2]。公共車両の移動を利用することで、公衆回線が使用できない地域の情報の収集が可能になる。車載中継器は WiFi や 700 MHz 帯高度道路交通システムを用いて、周囲の救命隊端末から情報を収集し、gateway スイッチを介して、METHANE DB サーバへと送信する。災害時はネットワークが不安定であるため、車載中継器と gateway スイッチ間の通信は、LTE や WiFi、衛星回線など、複数の無線回線で冗長化することで、通信可用性を高めることが重要である。

3.4 救命情報共有システムの通信の問題点

救命情報共有システムを運用するうえで、より多くの要救助者に関する情報を収集し、救命隊に提供することが重要である。本システムを災害時の不安定な通信環境で利用する場合、次の 3 点を考慮する必要がある。

第 1 に、本システムは Web アプリケーションとして提供されるため、端末がネットワークに接続していなければ、救命隊は METHANE 情報の送信や閲覧を行うことができない。救命隊による情報提供の機会を妨げないためには、救命隊端末の通信状態によらずに、本システムを部分的にでも運用できることが求められる。

第 2 に、車載中継器と gateway スイッチ間において、通信に使用する回線を選択する必要がある。車載中継器と

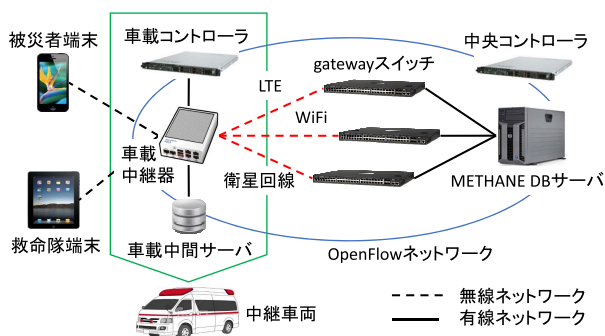


図 1 救命情報共有システムと提案機構

Fig. 1 Emergency Rescue Information Sharing System and the proposal mechanism.

gateway スイッチ間は、冗長化のため複数の無線回線で接続されている。そのため、ある回線が切断しても、通信可能な他の回線を用いて情報を送信することが考えられる。この機能を実現するためには、回線の状況に応じて、通信に使用する回線を動的に切り換える機構が必要である。

第3に、車載中継器と gateway スイッチ間のすべての回線が切断された場合、送信中の METHANE 情報は破棄され、METHANE DB サーバまで到達しない。情報の損失を防ぐためには、中継車両において、送信中の情報を保持する機構が必要である。

4. 提案

本章では、救命情報共有システムにおける、Web アプリケーションのオフライン運用機構と、OpenFlow による経路選択・切替機構からなる、情報収集機構を提案する。

4.1 提案の概要

提案機構の目的は、以下の2点である。

- 救命隊端末と METHANE DB サーバ間の安定した通信の実現
- METHANE DB サーバにおける情報収集率の向上

提案機構では、中央コントローラと呼ばれる有線ネットワーク側の OpenFlow コントローラが、車載中継器と gateway スイッチ間の無線通信区間の制御も行う。通常、有線ネットワークで用いられる OpenFlow を、無線通信区間にも適用し、積極的に通信の制御を行う点が本研究の特徴である。また、中継車両において、車載コントローラと車載中間サーバを導入し、車載中継器がネットワークから孤立した場合の情報損失を防止する。提案機構は次の2つの機構から構成される。

1つ目は、救命情報共有システムのオフライン運用機構である。アプリケーションキャッシュ [20] や WebSQL [21] を用いて、ネットワークの切断中に救命隊端末に入力された METHANE 情報をブラウザ内に保持する。このように蓄積された情報は、同期処理によって METHANE DB サーバに送信される。

2つ目は、車載中継器と gateway スイッチ間の無線回線の切断に備えた経路選択・切替機構である。中央コントローラと車載コントローラは、各無線回線を監視し、回線の状況の変化を検知する。そして、回線の切断や復旧、優先度の変化に応じて、車載中継器と gateway スイッチのフローテーブルを更新する。また、すべての無線回線が切断された場合は、車載コントローラにより、車載中継器が周囲の救命隊端末から受信した情報を車載中間サーバに転送することで、中継車両による情報の保持を実現する。

4.2 ネットワーク構成

提案機構では、図1に示すようなネットワークの構成を

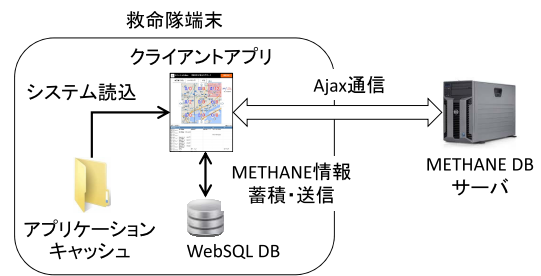


図2 オフライン運用機構

Fig. 2 Web-based offline operation.

とり、METHANE DB サーバに接続する有線ネットワーク内に加えて、車載中継器と gateway スイッチ間の無線通信区間も OpenFlow によって制御する。中央コントローラは、通信可能範囲内にあるすべての gateway スイッチおよび車載中継器と接続されている。その結果、中央コントローラは、車載中継器が METHANE DB サーバに情報を送信する際に使用する回線を動的に選択できる。

また、車載中継器と gateway スイッチ間のすべての無線回線が切断されることを想定し、中継車両に車載コントローラと車載中間サーバを導入する。車載コントローラは、自身が搭載されている車両内の車載中継器と、その中継器が接続されているすべての gateway スイッチと接続されており、車載中継器が孤立した際に、中央コントローラの代わりに車載中継器の制御を行う。車載コントローラの導入により、提案機構では、つねに車載中継器の制御を行う OpenFlow コントローラが存在する状況を実現できる。一方車載中間サーバは、車載中継器が gateway スイッチと通信できない期間に、車載中継器が周囲の救命隊端末から受信した情報を保持するためのものである。提案機構では、車載コントローラと車載中間サーバによって、中継車両における METHANE 情報の損失を防止する。

4.3 オフライン運用機構

提案機構では、オフライン時のシステム操作と、通信回線の切断にともなう情報損失の防止のため、救命隊端末のブラウザ内に情報を保持する機構を導入する。図2にオフライン運用機構の構成を示す。

4.3.1 ブラウザキャッシュの利用

救命隊端末がネットワークに接続できない状況においても、救命情報共有システムを操作できるようにするため、HTML5 に導入されているアプリケーションキャッシュを利用する。この仕組みでは、救命隊端末が初めてサーバに接続された際にブラウザのローカル環境にキャッシュさせるファイルを、マニフェストファイル内であらかじめ定義しておく。提案機構では、マニフェストファイル内で、本システムをすべてローカル環境で保持することを定義する。その結果、救命隊端末は1度 METHANE DB サーバに接続し、必要なファイルをキャッシュした後は、本シス

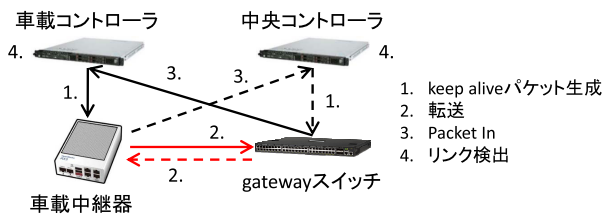


図 3 Keep alive パケットを用いたリンク検出手順

Fig. 3 Link detection with keep alive packets.

テムをネットワークの状況にかかわらず操作することができる。

また、提案機構では、WebSQL を用いて METHANE DB サーバと同様のデータベースをブラウザ内に構築する。この機構により、救命隊端末がオフラインである期間に入力された情報を、ブラウザ内に保持しておくことが可能である。救命隊端末に入力された情報は、直接 METHANE DB サーバに送信されるのではなく、1度 WebSQL DB に挿入してから、次に示す同期処理を用いて送信する。

4.3.2 同期処理

同期処理では、WebSQL DB に蓄積された METHANE 情報を、Ajax (Asynchronous JavaScript + XML) 通信 [22] を用いて、METHANE DB サーバへ送信する。Ajax 通信は、ブラウザとサーバ間でデータを連携するための非同期通信方式である。提案機構では、救命隊端末がネットワークに接続されたことを検知した際に、Ajax 通信を用いて METHANE 情報の送信を行う。METHANE DB サーバは救命隊端末からの情報を受信し、DB に蓄積した後、救命隊端末に更新完了メッセージを送信する。救命隊端末はそのメッセージを受信すると、WebSQL DB から該当する METHANE 情報を削除する。ここで、救命隊端末は情報の送信後、更新完了メッセージを一定時間以内に受信しない場合には、情報の再送信を行う。提案機構では、ブラウザキャッシュと同期処理によりネットワークの切断に対応し、通信の復旧後に、保持していた METHANE 情報を METHANE DB サーバに蓄積することが可能である。

4.4 経路選択・切替機構

提案機構では、図 1 に示した通信環境において、車載中継器と gateway スイッチ間の無線回線の状況に応じて、OpenFlow を用いて通信に使用する回線の切替えを行う。また、全回線切断時には、車載中間サーバにおいて周囲の救命隊端末から受信した情報を保持し、情報の損失を防ぐ。

4.4.1 回線の接続状況の検知

提案機構では、中央コントローラと車載コントローラがそれぞれ、車載中継器と gateway スイッチ間の各無線回線の監視を行う。回線の切断は、タイムアウト方式で検知する。図 3 に提案機構における、車載中継器と gateway スイッチ間のリンクの検出手順を示す。中央コントローラと

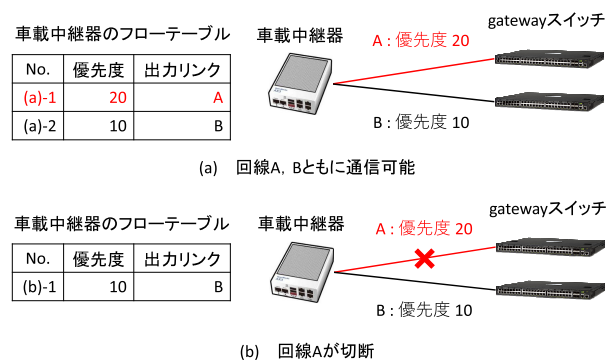


図 4 回線の接続状況の変化に応じた回線選択

Fig. 4 Link selection as link status changes.

車載コントローラは、あらかじめ車載中継器と gateway スイッチのフローテーブルに対し、keep alive パケットの受信時に Packet In を発生させるフローエントリを追加する。ここで Packet In とは、OpenFlow ネットワークにおいて、スイッチが受信したパケットの処理をコントローラに問い合わせることを指す。Packet In メッセージを解析することで、パケットを受信したスイッチとその物理ポートを特定することができる。中央コントローラと車載コントローラは、車載中継器と gateway スイッチ間の各無線回線に対し、定期的に keep alive パケットを生成して送信することで、回線が通信可能であるかどうかを確認する。なお、中央コントローラと車載中継器間および車載コントローラと gateway スイッチ間の OpenFlow チャネルが切断された場合、keep alive パケットの送出や Packet In に支障が出る。このとき提案機構では、疎通のとれない車載中継器と gateway スイッチ間の回線がすべて切断されたものと判断する。

4.4.2 動的な回線選択

車載中継器と gateway スイッチ間の無線回線の切断が検知された際、中央コントローラは切断された回線に関わるフローエントリを、車載中継器と gateway スイッチのフローテーブルから削除する。削除されたフローエントリは、回線が復旧すると、再びフローテーブルに追加される。提案機構により、車載中継器と gateway スイッチは、通信に使用可能な回線の一覧をつねに最新の状態で保持することができる。車載中継器と gateway スイッチは、一覧の中で最も優先度が高い回線を選択して、通信に使用する。

図 4 に回線の接続状況の変化にともなう回線選択の例を示す。図 4 (a) では回線 A, B がともに通信可能な状態であるが、より優先度が高い回線 A が使用されている。ここで回線 A が切断されると、回線 A に関するフローエントリ (a)-1 が削除される。その結果、車載中継器は回線 B を用いて通信を行うようになる。

中央コントローラは車載中継器と gateway スイッチ間の各無線回線の優先度の一覧を保持する。提案機構では、回線の優先度の変更されると、車載中継器と gateway スイッ

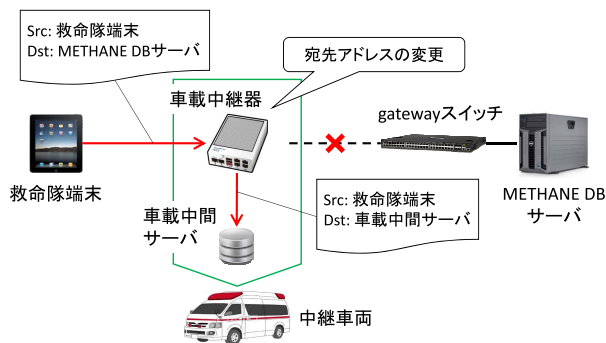


図 5 中継車両における情報の保持

Fig. 5 Information retention at in-vehicle relays.

チのフローテーブルに反映される．そのため，車載中継器と gateway スイッチは，リアルタイムな回線の状況に基づき，パケットの転送処理を行うことができる．なお本論文では，回線の優先度はコントローラによる回線の監視結果や外部から与えられる情報をもとに決定されるものとする．

4.4.3 中継車両における情報の保持

提案機構では，車載中間サーバを導入し，車載中継器における情報損失を防ぐ．車載中継器がネットワークから孤立したとき，中央コントローラは車載中継器を制御することができないため，車載コントローラが制御を行う．図 5 に中継車両において情報を保持する仕組みを示す．

車載中継器が gateway スイッチと通信できないことを確認した際，車載コントローラは車載中継器のフローテーブルから gateway スイッチ宛てのフローエントリを削除する．そして，車載中継器が受信したパケットの宛先を車載中間サーバに変更するフローエントリを追加する．このとき，パケットの宛先の IP アドレスと MAC アドレスが書き換えられ，出力先の物理ポートも変更される．パケットの宛先を車載中継器で変更することで，救命隊端末が意図することなく，パケットを誘導することが可能である．

車載中間サーバに蓄積された情報は，車載中継器と gateway スイッチ間の通信が復旧した際に，METHANE DB サーバに再送信される．車載コントローラは，無線回線の監視結果に基づき，通信可能な無線回線の有無を判断する．そして，車載中間サーバに対して，情報の再送信が可能であることを伝達する．車載中間サーバは車載コントローラから得た情報をもとに，情報の再送信の再開・停止を行う．車載中間サーバが情報の再送信を行う際，救命隊端末における同期処理と同様に，METHANE DB サーバに送信した情報が確実に蓄積されたことを確認するまで，車載中間サーバ内の情報を保持し，通信中の情報損失を防ぐ．

5. プロトタイプ実装と動作確認

本章では，提案機構のプロトタイプシステムの実装と，その動作確認について述べる．

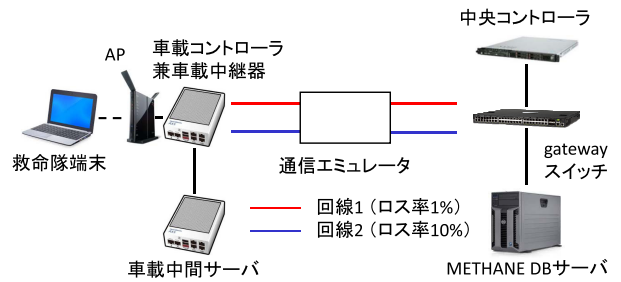


図 6 プロトタイプシステム

Fig. 6 Prototype system.

表 1 動作確認で用いたパラメータ

Table 1 Demonstration parameters.

トラフィックの種類	HTTP/XML
回線切断判定までの timeout	1 sec
keep alive パケットの送信間隔	0.9 sec
優先度更新間隔	10 sec

5.1 プロトタイプシステムの実装

図 6 にプロトタイプシステムの構成を示す．プロトタイプシステムの構築にあたり，中央コントローラと車載コントローラに対し，回線の検知および選択を行うモジュールを実装した．回線検知のための keep alive パケットとして，ICMP メッセージを用いた．また，中央コントローラと車載コントローラにそれぞれ独自のモジュールを実装した．

中央コントローラは，回線の優先度を決定するモジュールを持つ．本プロトタイプシステムでは，優先度の指標として回線のパケットロス率を採用した．各回線で keep alive パケットの受信数を周期的かつ同期的に計測し，その結果を用いて相対的に優先度の値を付与した．優先度は絶対的な値を用いて表現されるが，回線選択の際には，値の大小関係のみが参照される．

一方車載コントローラは，車載中間サーバへの指示を行うモジュールを持つ．車載コントローラは回線検知モジュールにより車載中継器と gateway スイッチが通信可能かどうかを判断し，その結果を車載中間サーバへ伝達することで，車載中間サーバによる情報の再送信のタイミングを制御する．

なお，SDN フレームワークとして Ryu ver. 3.15 [23] を，ソフトウェア OpenFlow スイッチとして OpenvSwitch ver. 2.0.2 [24] を用いて，プロトタイプシステムを構築した．gateway スイッチには，Pica8 P-3297 を用いた．

5.2 動作確認シナリオ

提案機構の有用性を評価するため，オフライン運用機構と経路選択・切換機構についてそれぞれ動作確認を行った．各動作確認で用いた共通のパラメータを表 1 に示す．今回は優先度の更新間隔を 10 秒と設定したが，実用的には数秒間隔で更新することを想定している．この場合，1

表 2 経路選択・切換機構の動作確認シナリオ

Table 2 Scenario for routing mechanism demonstration.

時間区間	A	B	C	D	E
経過時間 [sec]	0–15	15–30	30–45	45–60	60–75
回線 1 の状態	up	down	down	down	up
回線 2 の状態	up	up	down	up	up

up: 接続状態 down: 切断状態

秒未満の回線の状況変化には対応できないが、明らかな通信の断絶には対応が可能である。この環境において、救命隊端末から METHANE DB サーバに対して、定期的に METHANE 情報を送信し、評価を行った。

5.2.1 動作確認シナリオ 1：オフライン運用機構

オフライン運用機構の動作確認では、救命隊端末に METHANE 情報を 5 秒間隔で入力し、WebSQL DB と METHANE DB サーバ内の情報蓄積数を評価した。この際、車載中継器と gateway スイッチ間は回線 1 のみで接続し、伝送中のパケットロスが発生しないものとした。METHANE 情報の入力開始から 20 秒後にアクセスポイント (AP) を再起動し、救命隊端末が一時的にネットワークに接続できない状況を再現した。

5.2.2 動作確認シナリオ 2：経路選択・切換機構

経路選択・切換機構の動作確認では、救命隊端末に METHANE 情報を 1 秒間隔で入力し、次の 2 つの項目について評価した。

- 通信エミュレータで測定した各通信回線の使用状況
- METHANE DB サーバにおける情報蓄積数

表 2 に経路選択・切換機構の動作確認シナリオを示す。時間区間 A では回線 1, 2 ともに通信可能であり、時間区間 B に入り回線 2 が切断される。時間区間 C ではさらに回線 1 が切断され、車載中継器は gateway スイッチと小さい通信ができない状態となる。時間区間 D では回線 2 が、時間区間 E では回線 1 が復旧し、再び回線 1, 2 ともに通信可能な状態になる。回線の切断は、通信エミュレータにおいてパケットロス率を 100% にすることで実現した。

5.3 動作確認結果 1：オフライン運用機構

図 7 に WebSQL DB および METHANE DB サーバにおける METHANE 情報の蓄積数を示す。METHANE 情報の入力開始直後は、AP が起動しており、救命隊端末はネットワークに接続されている状態である。そのため、WebSQL DB に挿入されたレコードは、すぐに METHANE DB サーバに送信されている。動作確認開始から 20 秒後に AP を再起動した際、救命隊端末は一時的にオフラインとなる。この期間に救命隊端末に入力された情報は、すぐには METHANE DB サーバに送信されず、WebSQL DB 内に蓄積されている。その後、救命隊端末が復旧したネットワークに接続されると、WebSQL DB に蓄積されていたレ

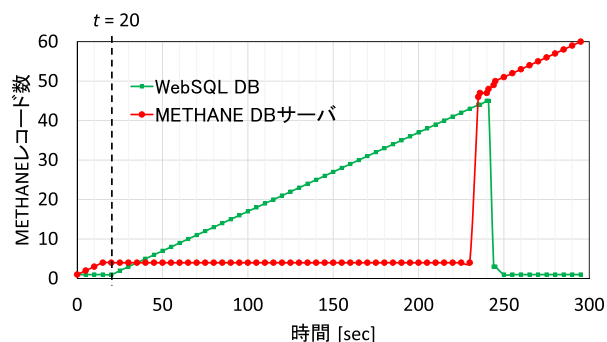


図 7 オフライン運用機構に基づく METHANE レコード数の推移

Fig. 7 METHANE record counts in offline operation.

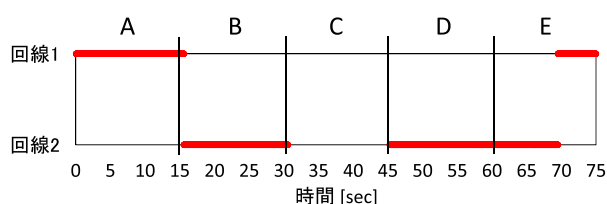


図 8 各回線の使用状況

Fig. 8 Link usage.

コードは METHANE DB サーバに送信されている。以上から、オフライン運用機構により、救命隊端末がオフラインである期間に情報を蓄積し、ネットワークの復旧後に送信していることが確認できた。

5.4 動作確認結果 2：経路選択・切換機構

5.4.1 回線の使用状況

図 8 に通信エミュレータにおける各回線の使用状況を示す。時間区間 A では、回線 1, 2 ともに通信可能であるため、パケットロス率がより低い回線 1 に高い優先度が与えられ、回線 1 を用いた通信が行われる。時間区間 B, D では、回線 1 が切断状態であるため、回線 2 の優先度が回線 1 よりも高くなり、通信に使用されている。時間区間 E では回線 1 が復旧したが、優先度の更新は周期的に行われるため、しばらくは回線 2 の優先度が高い状態が維持されている。今回の動作確認では、実験開始から約 70 秒後に優先度の更新が行われた。その際、パケットロス率が低い回線 1 の優先度が回線 2 よりも高く算出され、時間区間の途中で使用回線が切り換わっている。以上より、回線の接続状況や優先度に応じて、通信に使用する回線が切り換わることが確認できた。

図 8 において、時間区間 A から B, B から C への移行の際、回線の接続状況が変化してから、回線が切り換わるまでに時間差がある。これは、提案機構において回線の接続状況を検知するためには、少なくとも timeout 時間を要するからである。

5.4.2 METHANE DB サーバにおける情報蓄積数

図 9 に METHANE DB サーバおよび車載中間サーバ

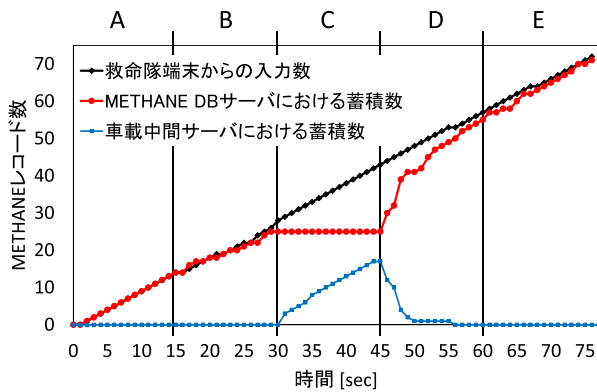


図 9 経路選択・切換機構に基づく METHANE レコード数の推移
Fig. 9 METHANE record counts in routing control.

における METHANE 情報の蓄積数を示す。回線 1, 2 のいずれかが接続されている時間区間 A, B, D, E では、METHANE DB サーバにおける蓄積数が増加していく。一方時間区間 C では、車載中間サーバにおける蓄積数が増加していく。これは、車載中継器と gateway スイッチが通信できない間、車載中継器が受信した METHANE 情報は、METHANE DB サーバではなく、車載中間サーバに送信されているためである。回線 2 が復旧する時間区間 D では、時間区間 A, B と比較して、METHANE DB サーバにおける蓄積数の増加速度が大きい。これは、時間区間 C で車載中間サーバに蓄積された METHANE 情報が再送信されているからである。時間区間 E の終盤において、救命隊端末における入力数と METHANE DB サーバにおける蓄積数が一致している。今回の動作確認のシナリオでは、各回線で意図的にパケットロスが発生するように設定しているため、救命隊端末や車載中間サーバからの送信は必ずしも 1 度では METHANE DB サーバに到達しない。しかし、救命隊端末のブラウザ内に構築した WebSQL DB や、中継車両における情報保持の仕組みにより、METHANE 情報を損失することなく、METHANE DB サーバに確実に蓄積できることが確認できた。

5.5 実環境での運用に向けた課題

実環境で提案機構を運用するにあたり、次のような課題が残されている。東日本大震災の際には、通信ケーブルの損傷や基地局の電力枯渇などにより、通信網に大きな影響があった [25]。提案機構では OpenFlow による制御を導入しているため、中央コントローラとの通信断絶時や動作停止時には、gateway スイッチは制御を受けることができない。車載コントローラによる代替制御のように、有線側も制御機構を冗長化することで、OpenFlow の可用性を高められる可能性がある。

また、災害時には、ネットワークリソースに過度な負荷がかかることによるパケットロスやエラー、遅延などが発生する [26]。提案機構では Web アプリケーションによる

通信を想定しており、端末から送信されたデータのロスやエラーは TCP で処理される。また、端末や車載中間サーバにおいて情報保持機構を導入しているため、データが遅延することはあるものの、損失は発生しない。一方、このとき、OpenFlow チャンネルにも同様の問題が考えられる。制御用通信も TCP を用いているため、制御エラーの可能性は低い。遅延の影響は免れない。提案機構では、無線回線の接続検知をタイムアウト方式で行っている。プロトタイプシステムでは、keep alive パケットの送信間隔を 0.9 秒、タイムアウト時間を 1 秒に設定していたため、0.1 秒以上の遅延が発生したときには誤検知の可能性があった。実環境で提案機構を運用する際には、要求される検知精度や予想される遅延の大きさに応じて、パラメータの調整が必要になる。

救命隊端末数が増加した場合には、無線帯域の不足や車載中継器への接続時間の長大化が予想される。提案機構では、車載中継器から METHANE DB サーバまでの通信制御を対象としており、端末から車載中継器までの無線通信の制御については、現状では対応できていない。OpenFlow によるリソース管理が効果的であると考えるが、詳細な制御方針の検討は今後の課題である。

6. おわりに

本論文では、救命情報共有システムにおける、Web アプリケーションのオフライン運用機構と、OpenFlow によるネットワークレベルの経路選択・切換機構からなる、情報収集機構を提案した。提案機構では、アプリケーションキャッシュや WebSQL を用いたキャッシングと Ajax 通信による同期処理を行うことで、オフライン時も端末からの情報送信を可能にした。また、車載中継器と gateway スイッチ間の無線通信区間を OpenFlow によって制御し、回線の接続状況や優先度の変化に応じた回線選択を行った。すべての無線回線が切断された際には、車載中継器の制御を行う車載コントローラにより、車載中継器が周囲の救命隊端末から受信した情報を車載中間サーバに保持させることで、情報の損失を防いだ。

提案機構のプロトタイプシステムを実装し、オフライン運用機構と経路選択・切換機構について、それぞれ動作確認を行った。その結果、WebSQL DB や車載中間サーバの導入により、ネットワークが切断された場合でも METHANE 情報を損失することなく、METHANE DB サーバに蓄積することができた。以上より、救命隊端末と METHANE DB サーバ間の安定した通信と、情報収集率の向上という点で、提案機構の有用性を確認した。

謝辞 本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 先進的通信アプリケーション開発推進型研究開発 (140202004) の支援により行われました。

参考文献

- [1] Kitsuta, Y. et al.: Usefulness of modified METHANE report as the communication method between hospital and medical team during the East Japan Earthquake, *Japanese Journal of Trauma and Emergency Medicine*, Vol.3, No.1, pp.5–12 (2012).
- [2] 福井良太郎, 嶋津恵子, 重野 寛: 大規模災害急性期サーチ・アンド・レスキュー支援システム, 情報処理学会研究報告 ITS, Vol.2014, No.3, pp.1–6 (2014).
- [3] 多幡 早紀, 上田 紘平, 福井良太郎, 嶋津恵子, 重野 寛: OpenFlow を用いた Web アプリケーションベースの災害時救命情報収集機構の検討, 第 23 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2015), pp.9–16 (2015).
- [4] Tabata, S., Ueda, K., Fukui, R., Shimazu, K. and Shigeno, H.: Disaster Information Gathering System Based on Web Caching and OpenFlow in Unstable Networks, *Proc. 2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2016)*, pp.17–24 (2016).
- [5] Col. Dr. Ingo Hartenstein: Medical Evacuation in Afghanistan: Lessons Identified! Lessons Learned?, *Medical Challenges in the Evacuation Chain* (2008).
- [6] Open Networking Foundation: OpenFlow, available from <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/openflow> (accessed 2016-04-21).
- [7] 電波産業会: 700MHz 帯高度道路交通システム標準規格 ARIB STD-T109 1.0 版, 入手先 <http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/5-STD-T109v1.0-E1.pdf> (参照 2016-04-21).
- [8] 厚生労働省: EMIS - 広域災害救急医療情報システム, 入手先 <http://www.wds.emis.go.jp/> (参照 2016-04-21).
- [9] ジャパン・クラウド・コンソーシアム: 東日本大震災に関するクラウドサービス利活用事例集, 入手先 http://www.japan-cloud.org/news/pdf/soumu_jirei201110.pdf (参照 2016-08-28).
- [10] 富士通株式会社: 陸上自衛隊第 15 旅団様が災害救助活動支援サービスを導入, 入手先 <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2015/08/24.html> (参照 2016-08-28).
- [11] 東京消防庁: 救助活動システム, 入手先 <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/ts/ems/page06.html> (参照 2016-08-28).
- [12] 野田健太郎, 安達直世, 滝沢泰久: 移動通信環境における複合無線アクセスネットワークとその制御方式, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.2, pp.448–459 (2015).
- [13] Nguyen, K., Ji, Y. and Yamada, S.: Improving WiFi networking with concurrent connections and multipath TCP, *Proc. 2013 IEEE 14th International Symposium and Workshops on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, pp.1–3 (2013).
- [14] Sato, G., Uchida, N. and Shibata, Y.: Performance Evaluation of Software Defined and Cognitive Wireless Network Based Disaster Resilient System, *Proc. 2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2015)*, pp.741–746 (2015).
- [15] Ogawa, K. and Yoshiura, N.: Network Operational Method by using Software-Defined Networking for Improvement of Communication Quality at Disasters, *Proc. 2014 16th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2014)*, pp.1–4 (2014).
- [16] Kawamoto, M. and Shigeyasu, T.: Message Relay Decision Algorithm to Improve Message Delivery Ratio in DTN-based Wireless Disaster Information Systems, *Proc. 2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2015)*, pp.822–828 (2015).
- [17] Krug, S., Begerow, P., Rubaye, A.A., et al.: A Realistic Underlay Concept for Delay Tolerant Networks in Disaster Scenarios, *Proc. 2014 10th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN 2014)*, pp.163–170 (2014).
- [18] ソフトバンク株式会社: 気球無線中継システム, 入手先 <http://www.softbank.jp/corp/group/sbm/public/wireless/technology/balloon/> (参照 2016-08-28).
- [19] Ngo, T., Nishiyama, H., Kato, N., et al.: An Efficient Safety Confirmation Method Using Image Database in Multiple-MDRU-Based Disaster Recovery Network, *Systems Journal*, Vol. PP, No.99, pp.1–10, IEEE (2015).
- [20] W3C: Offline Web applications, available from <http://www.w3.org/TR/2011/WD-html5-20110525/offline.html> (accessed 2016-04-21).
- [21] W3C: Web SQL Database, available from <http://www.w3.org/TR/webdatabase/> (accessed 2016-04-21).
- [22] Garret, J.J.: Ajax: A new approach to web applications, available from <http://adaptivepath.org/ideas/ajax-new-approach-web-applications/> (accessed 2016-04-21).
- [23] Ryu SDN Framework Community: Ryu SDN Framework, available from <http://osrg.github.io/ryu/> (accessed 2016-04-21).
- [24] Open vSwitch Community: Open vSwitch, available from <http://openvswitch.org/> (accessed 2016-04-21).
- [25] 服部 武: 東日本大震災と情報通信ネットワークのあり方, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.8, pp.1718–1724 (2014).
- [26] 北口善明, 柏崎礼生, 近堂 徹, 市川晃平, 西内一馬ほか: 広域分散システムの耐障害性を評価する検証プラットフォームの実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.3, pp.958–966 (2016).

推薦文

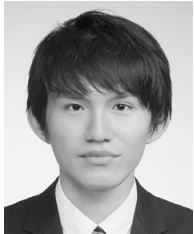
本論文では、災害時に要救助者に関する情報の収集、蓄積を行い救助活動を支援する救命情報共有システムについて検討を行っている。具体的には、公共車両に搭載する中継器によって情報を収集する際に、中継器が災害発生等の影響を受けて、上流ネットワークへの通信経路が切断された状態においても、端末からの情報送信を可能とするオフライン時の情報収集機能を提案している。災害発生時における情報収集能力の向上は、その後の救助活動の質に直接的に影響を及ぼすことから、本論文における提案手法は社会的にもその導入が強く望まれる高い有用性を有する研究であるといえる。よって、本論文を情報処理学会論文誌に推薦する。

(第 23 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ
プログラム委員長 重安哲也)



多幡 早紀 (学生会員)

2015 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。



西山 潤 (学生会員)

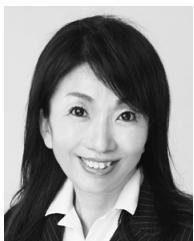
2016 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。



福井 良太郎 (正会員)

1967 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。2004 年同大学大学院博士課程修了。博士(工学)。沖電気工業(株)および(株)システムインテックにおいて情報通信システムの技術開発、SE 統括等の業務を経て、現在は慶應義塾

大学先導研究センターの共同研究員として、ICT 技術や ITS 技術をコアとしたコ・モビリティ社会の研究開発に従事。



嶋津 恵子 (正会員)

博士(システムエンジニアリング)、博士(政策・メディア)。Systems Engineering Journal 初の日本人共同編集員。慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科、宇宙航空研究開発機構(JAXA)を経て、現在、

首都大学東京産業技術大学院大学教授。



重野 寛 (正会員)

1990 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。現在、同大学理工学部教授。博士(工学)。情報処理学会論文誌編集委員、同高度交通システム研究会幹事、電子情報通信学会

英文論文誌 B 編集委員等を歴任。現在、情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会主査、Secretary of IEEE ComSoc APB。ネットワーク・プロトコル、ITS 等の研究に従事。著書『ユビキタスコンピューティング』(オーム社)、『情報学基礎第2版』(共立出版)等。電子情報通信学会、IEEE、ACM 各会員。