

# 帯域状況に基づく PoI を考慮した被災地情報収集機構

小林 裕樹<sup>1,a)</sup> 西山 潤 谷 遼太郎<sup>1,b)</sup> 重野 寛<sup>1,c)</sup>

受付日 2018年5月7日, 採録日 2018年11月7日

**概要:** 大規模災害発生時には、救命隊と本部との間で正確かつ迅速に情報を共有することが重要である。災害時には、通信設備に甚大な被害が及ぶため、十分な通信環境が整っていないことが想定される。災害時のネットワーク環境下において、重要な情報を送信するためには、重要な情報の優先制御や通信トラフィックに制御をかけることより、トラフィックを削減する必要がある。また、救助活動に必要な情報を効率良く得るためには、情報の判別に加え、情報を求めるユーザからの要求が必要である。本論文では、重要な情報の送受信を可能にするために、ユーザの興味の対象に基づいた情報の取捨選択と通信資源の割当を実現する被災地情報収集機構を提案する。提案機構のプロトタイプシステムを実装し、提案機構の動作の検証を行う。動作確認の結果から、提案機構が対策本部の興味の対象に基づいた情報の取捨選択および通信資源を割り当てる制御を実現していることを示す。

キーワード: PoI (Point of Interest), OpenFlow, トラフィック制御

## Information Gathering Mechanism Considering Point of Interest Based on Bandwidth Situation

YUKI KOBAYASHI<sup>1,a)</sup> JUN NISHIYAMA RYOTARO TANI<sup>1,b)</sup> HIROSHI SHIGENO<sup>1,c)</sup>

Received: May 7, 2018, Accepted: November 7, 2018

**Abstract:** Sharing information about victims between rescue teams and headquarters promptly accurately and promptly is important when large-scale disaster occurs. Communication infrastructure is seriously damaged, so it is assumed that communication environment is not sufficient in disaster. In order to transmit important information under the network at the time of disaster, it is necessary to reduce traffic by controlling priority of important information and control of communication traffic. On the other hand, requests from users who request information are necessary in addition to discrimination of information to obtain necessary information for rescue activities. In this paper, we propose an information gathering mechanism that realizes selection of information and allocation of communication resources based on the object of interest of users in order to enable transmission and reception of important information. We implement the prototype system of the proposed mechanism and shows that the proposed mechanism realizes control to select and discard information based on the target of interest of the headquarters and allocate communication resources.

**Keywords:** PoI (Point of Interest), OpenFlow, traffic control

### 1. はじめに

大規模災害発生時では要救助者の救命率向上のために被災地情報の迅速な収集および共有が求められる。災害発生

時の救助活動においては、被災者数に比べて救助リソースが圧倒的に少なく、救助リソースを最大限活用することが必要になる。しかし、災害発生時には、基地局等のネットワーク資源に重大な被害が及ぶことが予想される。一方で通信トラフィックは通常時と比較して増加するため、利用可能なネットワークリソースが減少する。災害時において OpenFlow [1] を用いたネットワーク制御により、情報の送受信を可能にする救命情報共有システム [2], [3], [4] がある。救命情報共有システムでは、要救助者に関する情報の

<sup>1</sup> 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

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

b) tani@mos.ics.keio.ac.jp

c) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

共有を行う METHANE 情報を用いて、救命隊間で情報の送受信を行う。METHANE 情報には、要救助者の位置や二次災害の有無等が含まれている。また、被災地の状況を多角的に把握し、救命隊のより迅速な意思決定と救助活動を支援するために、METHANE 情報だけでなく、被災地のより詳細な情報を入手する必要がある。画像情報のような被災地に関する情報を送受信するためには、ネットワークリソースを最大限活用する必要がある。ネットワークリソースを最大限活用するためには、不要な通信トラフィックを削減する手段と重要な通信トラフィックを優先的に送信する手段が考えられる。

災害時には誤った情報を含む多くの情報が送受信されるため、重要なメッセージの送受信に影響を及ぼす。そのため、被災者に関する情報等の重要度の高い情報を効率的に収集するためには、重要度の選択を行う必要がある。また、重要な情報の優先度を考慮した通信資源の割当てに加え、対策本部の要求を考慮することで救助活動に必要な情報を効率的に収集できると考える。そこで、提案機構ではユーザの Point of Interest (PoI) に基づいての取捨選択や優先度制御を行う。ユーザの興味の対象を反映するには、救命活動で用いられる METHANE 情報をもとにユーザが要求する情報を優先的に送信する必要がある。また、通信資源が乏しい環境下ではネットワークの帯域と情報の重要度を考慮し、情報の重要度を最大化するように情報を送受信する必要があると考える。

そこで、本論文では、限られたネットワークリソースの中で、トラフィック状況に応じて、災害対策本部の興味の対象とされる情報を最大限収集するメカニズムについて提案する。提案機構の目的は、効果的に通信トラフィックを削減するために、ユーザの興味の対象に基づいた情報の取捨選択と通信資源の割り当てることである。提案機構では、主に3つの要素を導入する。1つ目は、PoI 情報に基づく重要度の算出であり、2つ目は各中継器に割り当てられたデータ量に基づく情報の取捨選択、そして3つ目はユーザの要求に応じたトラフィック制御である。提案機構により、災害時のような不安定なネットワーク環境下において、情報の優先度に加え、ユーザの要求を考慮した通信資源を割り当てる機構を実現する。

以下、2章で関連研究を示し、3章で提案機構のシステムに関する説明を行い、4章で提案機構のプロトタイプシステムと動作確認方法を示す。そして5章で提案機構の有用性を示し、6章で結論を示す。

## 2. 関連研究

本章では、災害時における情報共有に関する研究および通信制御について述べ、本研究のアプローチについて説明する。

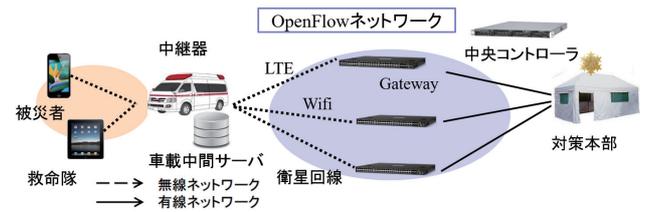


図 1 救命情報共有システムの概要

Fig. 1 Overview of Emergency Rescue Information Sharing System.

### 2.1 災害時における情報共有

災害発生時には、災害医療派遣チームである DMAT (Disaster Medical Assistance Team) [5] が被災地に派遣される。しかし、Kitsuta ら [6] によると、現状、要救助者に関する情報が口頭で伝達されると指摘されている。そのため、救助活動に遅れが生じると考えられる。そこで、DMAT による救助活動の支援と要救助者の救命率の向上を実現する救命情報共有システム [2], [3], [4] の研究が行われている。救命情報共有システムの全体像を図 1 に示す。本システムは、要救助者に関する情報の収集および提供を行い、救命隊が行う救助活動を支援することを目的とする。本システムでは、被災地区での通信を考慮して、公共車両に中継器を搭載する。公共車両とは、官公庁等の公的機関の業務に使用する車両を示す。中継器は臨時の基地局となり、周辺端末からの要救助者に関する情報を受信し、本部サーバへ情報を送信する。Gateway スイッチは、無線ネットワークを介して送信された情報を受信し、有線ネットワークに送信する。また、Gateway スイッチ、本部サーバが接続する有線ネットワークは、本部サーバだけでなく、関連機関の機器等にも接続されており、関連機関との情報共有が可能である。中継器と Gateway スイッチ間の通信には、災害時における不安定な回線状況を考慮し、その冗長化を目的に複数の無線回線を利用しその制御に OpenFlow 等の手法を用いる。なお、この制御には、様々な手法を用いることが可能であるが、今回のプロトタイプシステムでは、4章にあるように、OpenFlow を用いた、有線ネットワークおよび中継器と Gateway スイッチ間の無線区間を制御する OpenFlow コントローラを中央コントローラと呼ぶ。また、全回線切断時の対処として、公共車両に車載コントローラと中間サーバを導入し、情報の損失を防ぐ。全回線切断時、車載コントローラが中継器を制御し、中間サーバへ情報を送信することにより情報を一時蓄積して情報の損失を防ぐ。

### 2.2 災害時における通信制御

災害通信の研究の1つとして、DTN (Delay/Disruption Tolerant Networking) が注目されている。Kawamoto ら [7] は、DTN に基づいたワイヤレス災害情報システムを提案

している。メッセージ収集性能の向上を目的に、提案システムは送信者と受信者の位置に応じてメッセージリレーを制御するアルゴリズムにより動作する。

また、災害時の情報伝達には SDN (Software Defined Networking) を利用した研究が行われている。SDN は、制御機能と転送機能を分離したネットワークアーキテクチャである。SDN を実現する代表的な技術の 1 つとして OpenFlow がある。OpenFlow ネットワークでは、コントローラとスイッチでそれぞれ機能を分離することでネットワーク全体を柔軟に制御することが可能である。Manic [8] は、SDN によるネットワーク仮想化技術を活用した緊急通信システムを提案している。また、Sato ら [9] はネットワークの接続性を向上させることを目的に、OpenFlow の導入により、コグニティブ無線ネットワークシステムを制御することを提案している。Sato らの提案システムでは、スループットや RTT 等の通信パラメータを監視し、それに基づくネットワーク制御を可能にする。災害時は刻々とネットワークが変化するため、通信パラメータを無線ネットワークの状況に応じてリアルタイムに監視することは災害時のような不安定なネットワーク環境に適している。

災害地域からのデータを収集し、それを適切な受信者に提供することが重要である。Ogawa ら [10] は OpenFlow を用いて、IP アドレスと位置情報を対応づけ被災地からの情報の優先的な送信を提案している。災害地からの通信または災害地への通信を優先制御するためには、通信が災害地に関連するかを把握する必要がある。ネットワークを流れるパケット内の IP アドレスから災害地と判断できた場合には、その通信に災害 ID を付与する。

また、ヘッダ情報ではなく、コンテンツの中身に着目し、被災地に関する情報を制御する研究がある。Fajardo ら [11] は DTN 上で被災地に関する画像情報を判別することで、被災地に関する情報を優先的に収集するコンテンツベースの優先制御を提案している。本研究では画像上の火災や道路ブロック等の重要なコンテンツを検出し、重要でないコンテンツを含む画像に先立って重要なコンテンツをネットワーク上に転送する画像処理を適用する。

### 2.3 問題点

災害時はネットワークリソースが著しく減少する一方で、効率的な情報共有が求められる。関連研究から、不安定なネットワーク制御および情報の優先度を考慮し、重要な情報に対して通信資源を割り当てる必要がある。しかし、救命隊による救助活動に必要な情報を効率良く得るためには、情報の優先度に加え、情報を求めるユーザからの視点が必要であると考えられる。そのため、災害時のシステムにユーザからの要求を反映することが有益であり、ユーザが求める情報を考慮したネットワーク制御が必要であると考える。本研究では、ユーザの要求を PoI として表現し、

それに基づいて経路の制御を行う。

## 3. 提案

本論文では限られたネットワークリソースの中で、トラフィック状況に応じて、災害対策本部の興味の対象とされる情報を最大限収集するメカニズムを提案する。提案機構では、PoI に基づく重要度算出および一定間隔で送信できるデータ量の中で重要度を最大化する情報の取捨選択を行い、情報の重要度と中継器から中央サーバまでの経路に合わせた情報のクラス分け、また各回線の帯域を考慮した伝送を実施する。

### 3.1 提案概要

提案機構は、救命情報共有システムで利用されることを前提とする。図 2 にシステムの全体像を示す。提案機構では、公共車両に搭載された車載中継器と車載中間サーバ、ネットワークを制御する中央コントローラ、車載中間サーバと中央コントローラとの通信を行う中央エージェント、災害対策本部からなる。車載中継器は被災地から送られてきた情報を災害対策本部へ送信する。車載中間サーバは、情報の選択を行い、重要な情報を識別する。

提案機構では、限られたネットワークリソースの中で災害対策本部の興味の対象に基づいて被災地に関する情報を収集するために以下の 3 つの特徴を有する。1 つ目は、PoI 情報に基づく重要度の算出、2 つ目は、各中継器に割り当てられたデータ量に基づく情報の取捨選択、そして 3 つ目はユーザの要求に応じたトラフィック制御である。重要度とは、対策本部からの要求された被災地情報の取捨選択を行う際に用いられる指標である。情報の重要度を定義し、各車載中間サーバがユーザの要求に基づいた被災地情報の重要度を算出する。各情報の重要度を算出することで、重要な情報を優先的に送信することが可能となる。各中継器に割り当てられたデータ量に基づく情報の取捨選択において、中央コントローラが各車載中間サーバごとに確保できる帯域を算出し、各車載中間サーバが一定間隔ごとに送れるデータ量の中で重要度が最大になるように情報の取捨選

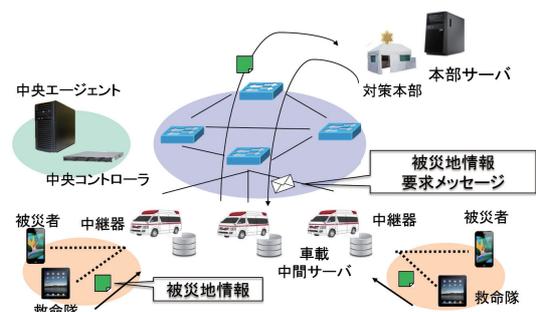


図 2 システム全体像

Fig. 2 System overview.

扱を行う。ユーザの要求に応じたトラフィック制御では、重要度と中継器から中央サーバまでの経路数に合わせた情報のクラス分けを行い、各回線の帯域を考慮した各クラスの割当を行う。これにより、重要度の高い情報に帯域の多い回線を割り当て、取得時間の短縮が可能となる。

### 3.2 PoI 情報に基づく重要度の算出

重要な情報を優先的に送信することを可能にするため、各情報に重要度を定義する。重要度とは、対策本部から要求された被災地情報の取捨選択を行う際に用いられる指標である。重要度は、対策本部の PoI を基に算出する。ここで、PoI とは、地理情報と事象からなる。対策本部は、情報の範囲と事象を要求する。次に、該当する車載中間サーバでは、被災地情報の重要度を算出するが、提案機構では、被災地情報は 2 種類存在し、救命隊から送られてくる情報を救命隊情報、被災者から送られてくる情報を被災者情報と定義し、それぞれの重要度を算出する。重要度は、災害発生から経過した時間  $t$ 、要求する情報の事象  $e$  から算出される。救命隊情報と被災者情報の重要度を以下のように定義する。

$$I_{res}(t, e) = \frac{1}{T}et, e > 1 \quad (1)$$

$$I_{vic}(t) = \frac{1}{T}t \quad (2)$$

ここで、式 (1) は救命隊の重要度、式 (2) は被災者情報の重要度を示す。なお、 $T$  は重要度を計算する最大時間を示す。

$$I_{res}(t, e) > I_{vic}(t) \quad (3)$$

救命隊情報の重要度を被災者情報の重要度よりも高く設定することで、重要度の高い情報から送信することが可能となる。提案機構では、救命隊や被災者から送られてくる被災地情報は、公共車両に搭載された車載中間サーバが保持する。これらの情報には、送信時に送信された位置情報と送信時刻が付与されている。また、時間経過とともに情報のエントロピーは低下するため、経過時間ごとに重要度を低く設定する必要がある。車載中間サーバに保持された被災地情報は、対策本部が被災地情報を要求した際に重要度が付与される。車載中間サーバはその重要度をもとに送信すべき情報の取捨選択や送り出しの順番を決定する。ここで、重要度は中継器が用いる情報であり、対策本部は事前にそれを知り得ないこととする。図 3 に重要度の計算の流れ、以下に詳細を示す。

- (1) 災害対策本部は獲得したい情報の範囲と事象を選択し、その情報を保持する車載中間サーバに向けて要求メッセージを送信する。
- (2) 車載中間サーバでは、選択された範囲により情報の取捨選択を行う。
- (3) 救命隊からの情報にはその情報に関連する事象が付与



図 3 重要度計算の流れ

Fig. 3 Procedure of degree of importance calculation.

されている。そのため、救命隊からの情報には興味のある事象と時間から重要度を算出する。被災者からの情報には、時間により重要度を算出する。

- (4) (2) と (3) を範囲により選択された情報数  $N$  に達するまで繰り返し、各情報に重要度を付与する。

車載中間サーバはこの重要度に基づいて送信する情報の選択と順番を決定する。

### 3.3 各中継器に割り当てられたデータ量に基づく情報の取捨選択

災害時には使用可能なネットワークリソースが減少していることが考えられる。被災地から車載中間サーバに集まってくる情報には、METHANE 情報のほかに画像や音声、テキスト情報等があり、情報ごとにデータ量に差が存在する。そのため、対策本部からの要求数に応じた各中継器への帯域割当てと各中継器から送信可能だと考えられるデータ量の中で重要度を最大化する情報の取捨選択を行う。提案機構では、対策本部からの要求数が多いものを優先度の高いものと判断し、順位付けを行う。次に、各中継器から本部サーバまでの経路のネットワーク最大流問題を解き、各経路で利用可能な帯域の最大値を算出する。ここで、ネットワーク最大流問題とは、中継器から本部サーバまでの最大フローを求める問題とする。情報を効率良く送信するためには、一定時間で送信可能と考えられるデータ量を知る必要がある。中継器から本部サーバへ向けて情報の重要度を最大化し、一定時間内に送信可能と考えられるデータ量を最大トラフィックとする。ここで、一定時間とは数十秒を想定している。最大トラフィック算出のため、各中継器から本部サーバへ伝送するフローの合計容量を最大化する必要がある。各中継器からの最大フロー  $F_{IS_i}$  を知る必要がある。最大フロー  $F_{IS_i}$  とは、時間  $T_{max\ flow}$  内で送信可能と考えられるデータ量を示す。各中継器からの

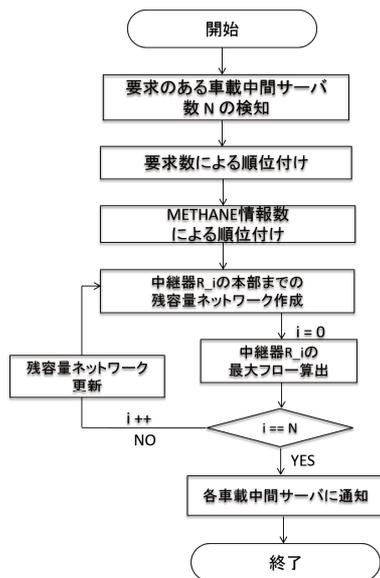


図 4 各中継器の最大フローを求める流れ

Fig. 4 Procedure of solving maximum flow of in-vehicle relay.

最大フロー  $F_{IS_i}$  内で  $I_{res}(t, e)$ ,  $I_{vic}(t)$  の合計値を最大化するために以下の式を用いる。

$$U = \sum_{i=1} (I_{res_i}(t, e) + I_{vic_i}(t)) \quad (4)$$

効用関数  $U$  は救命情報の重要度  $I_{res}(t, e)$  と周辺情報の重要度  $I_{vic}(t)$  の重要度の合計値が各中継器から中央サーバへ流れる最大フロー  $F_{IS_i}$  内で最大化するように情報の取捨選択を行う。したがって、以下の式により、最大トラフィックを算出する。

$$Amount \left( \sum_{i=1} (I_{res_i}(t, e) + I_{vic_i}(t)) \right) < F_{IS_i} \quad (5)$$

ここで、式 (5) の左辺は  $U$  の情報量を示し、 $F_{IS_i}$  内でその量を最大化する。OpenFlow スイッチは  $T_{maxflow}$  時間ごとに各ポートの帯域を検知し、中央コントローラに通知する。中央コントローラは回線の伝送速度と一定時間ごとの回線の使用量との差分で表せられる利用可能帯域を把握する。各中継器の最大フロー  $F_{IS_i}$  を求めるフローチャートを図 4 に、詳細を以下に示す。

- (1) 対策本部からの要求に応じて、各車載中間サーバから単位時間  $T_{maxflow}$  ごとに送信されるデータ量  $N_{IS_i}$  を決定する。対策本部から被災地情報の要求を受けた車載中間サーバは中央コントローラに対して、要求数を含むメッセージを送信する。ここで、要求数とは、各車載中間サーバが受信した要求メッセージの累積数とする。
- (2) 中央コントローラでは、要求数が多いものをユーザの関心が高いと判断し、受信した要求数に応じて、各中継器の順位付けを行う。これにより、ユーザの関心の高い地域に関して多くの帯域を割り当てることができる。

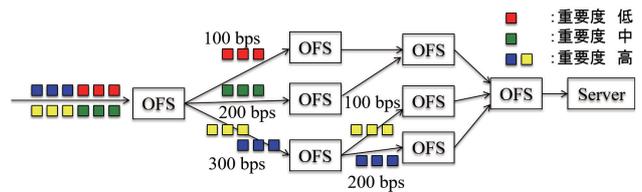


図 5 重要度に応じたネットワーク制御の概要

Fig. 5 Network control based on degree of importance.

- (3) 要求数が同じものに関しては、METHANE 情報数が高いところを、数が少ないところと比べて関心が高いと定義し、順位付けを行う。
- (4) 順位付けに応じて、各中継器からの本部サーバに向けてのネットワーク最大流問題を解く。これにより、回線の伝送速度と一定時間ごとの回線の使用量との差分で算出できる利用可能帯域において、時間  $T_{maxflow}$  で送信できるデータ量を求める。算出された値を用いて、中継器から中央サーバまでの時間  $T_{maxflow}$  で送信できる最大フローを算出する。
- (5) (4) を実行し、その結果から新たに回線の利用帯域を更新したネットワークを作成し、次の中継器からの最大流問題を解く。これを要求があったすべての中継器に対して行われるまで繰り返す。提案機構では、最大流問題を一定間隔ごとに解くことで、一定間隔ごとに最大フロー  $F_{IS_i}$  内で PoI 要求情報の重要度を最大化する情報の選択が可能となる。

最大流問題を解くために、ラベル付き有向グラフを用いる。アルゴリズムについては、Ford-Fulkerson のアルゴリズム [12] を使用する。なお、本論文では対策本部からの要求数に応じて各中継器へ帯域を割り当てることから、非常に重要な情報であるが、要求数の少ない中継器に対しほとんど帯域を割り当てることができずその情報に関して取得遅延が発生する可能性がある。しかし、提案機構では、一定時間内の要求数が多いことから、対策本部の関心が高いと判断し、関心の高い地域に対し多くの帯域を割り当てることとする。

### 3.4 ユーザの要求に応じたトラフィック制御

中央コントローラが算出した最大トラフィック量とその値をもとに車載中間サーバは、取捨選択した情報を送信する。なお、情報の選択において、単純に重要度の高い情報から選択を行うのではなく、各情報のデータサイズが異なる場合を想定し、中継器からの最大トラフィック量の中で、重要度が最大化するような選択を行う。図 5 に重要度に応じたネットワーク制御の概要を示す。車載中間サーバから送り出す際に各コンテンツのフローを分離し、重要度の高い情報に対して、多くの帯域のある回線に割り当てる。これは、重要度の高い情報の取得時間を短縮するためである。取捨選択された情報を重要度に応じてクラス分けし、クラ

スに応じて回線を割り当てる。クラス分けでは、まず取捨選択された情報を重要度の高い順にソートする。その後、回線の利用可能帯域と比較し、送信可能なデータ量になるまで重要度が高い情報から選び、グループ化する。これを、一番帯域に余裕がある回線から順に行う。提案機構において、1つの中継器から送信可能なデータ量、有線ネットワークの最大流、そして全中継器から送信可能な送信データ量を比較し、その量が異なることを考慮したクラス分けを行う。また、平均トラフィック量と最大トラフィック量との差が大きいと使われない帯域が生じるが、災害時の回線状況では、利用可能帯域が非常に少ないため、その差は小さいと考える。なお、クラスの回線への割当てに関して、パケットロス率は考慮しないこととする。ネットワーク最大流を算出した際に、中央エージェントが各車載中間サーバに対して回線数を通知する。経路数の増加・減少に対応するため、一定間隔  $T_{maxflow}$  ごとにクラス分けと各クラスを伝送する経路を変更する。なお、本論文における提案手法では PoI に基づいてトラフィックを制御することに着眼しており、経路の振り分け方に制約はなく、2.1 節で述べたように、OpenFlow を用いてクラス分けを実現した。

#### 4. プロトタイプと動作確認シナリオ

本章では、実装したプロトタイプシステムの概要および提案機構の評価項目と実験概要を示す。

##### 4.1 プロトタイプシステム実装

提案機構の動作確認および評価を行うために、プロトタイプシステムを実装した。図 6 に実装したプロトタイプシステムおよび実験環境を示す。また、表 1 にプロトコルのバージョンやハードウェアの仕様等、実装したプロトタイプシステムの詳細を示す。プロトタイプシステムにおいて中継器と Gateway スイッチ間に通信エミュレータを用いることで無線接続を再現した。

今回のプロトタイプシステムでは図 7 の画面を作成し、情報の要求を行う。画面上部で興味のある事象を選択し、地図上の円で要求する情報の範囲を指定する。各車載中間サーバには救命隊情報および被災者情報の 2 種類の情報を前もって蓄えておく。なお、実験では画像情報を取り扱い、中継器から本部サーバへ送信することとする。各 OpenFlow スイッチでは一定間隔ごとに各回線の帯域検知を行う。スイッチでは各ポートに流れ込むデータ量を測定する。そして、各回線の設定値と一定期間に流れ込んだデータ量の積算値との差を求め、利用可能帯域を算出する。中央コントローラは一定間隔ごとに中継器 1、中継器 2 からの最大トラフィックの算出を行う。なお、Gateway から本部までの経路は 2 つ用意する。車載中間サーバではユーザの要求に応じた重要度の付与を行う。重要度の計算式を表 2 に示す。救命隊情報が被災者情報よりも重要度が高く

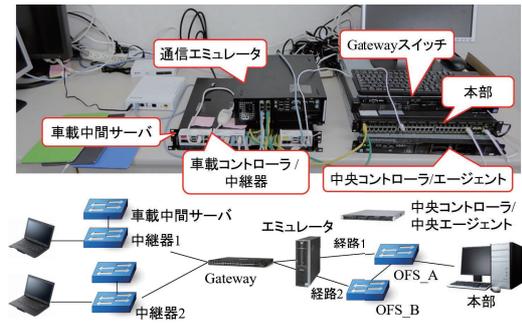


図 6 実験環境

Fig. 6 Prototype system.

表 1 プロトタイプシステムの構成

Table 1 Configuration of prototype system.

プロトコル	
OpenFlow	OpenFlow 1.3 [13]
ソフトウェア	
OpenFlow controller	Ryu ver.3.18 [14]
OpenFlow switch	Open vSwitch ver. 2.0.2 [15]
ハードウェア	
車載中間サーバ/中継器	OpenBlocks AX3 (ARMADA XP 1.33 GHz, RAM 1 GB, 1000Base-T 4ports)
中央コントローラ/エージェント	x3250 M4 (Xeon E3-1220, RAM 4 GB, 1000Base-T 2ports)
Gateway	Pica P-3297



図 7 情報共有画面

Fig. 7 Point of interest designation.

表 2 重要度の計算式

Table 2 Calculation of degree of importance.

対象	種別	式
救命隊	要求事象	$10(1 - (1/T)t), T = 72$
	範囲内	$2(1 - (1/T)t), T = 72$
被災者	範囲内	$1 - (1/T)t, T = 72$

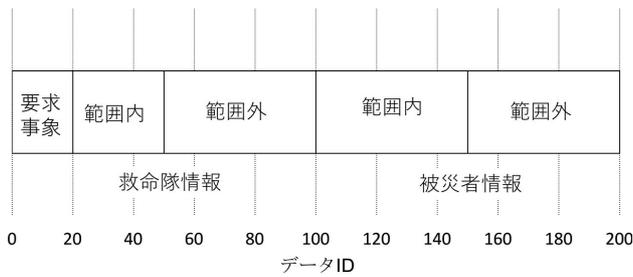


図 8 蓄積された情報  
Fig. 8 Accumulated information.

表 3 実験 1 のパラメータ

Table 3 Parameter of demonstration 1.

共通のパラメータ	
$T_{maxflow}$	20 [s]
被災地情報	救命隊情報：100 [個] 被災者情報：100 [個]
帯域検知	5 [s]
要求数	
中継器 1	多
中継器 2	少
データサイズ	
実験 1-1	3 Mbyte
実験 1-2	1.0 Mbyte~9.9 Mbyte

なるように救命隊情報に 2 倍の重要度が付与されるように設定した。また救命隊情報の中でもユーザが要求した情報には、被災者情報の 10 倍の重要度が付与されるように設定した。経路数が 2 つのため、選択された情報のクラスは重要度の高い上位クラスと重要度の低い下位クラスの 2 つに分割される。今回のクラス分けでは、送信元のポート番号を変更することで対応する。

## 4.2 評価項目

本実験での動作確認および評価項目は以下の 2 点である。

- (1) 要求に応じた情報の取捨選択
- (2) 要求に応じたトラフィック制御

## 4.3 各実験におけるシナリオとパラメータ

### 4.3.1 実験 1：要求に応じた情報の取捨選択

実験 1 では、車載中間サーバに割り当てられた最大トラフィック量の中で重要度が最大になるようになるような情報の取捨選択が行えていることを確認する。車載中間サーバに蓄えられた情報のデータサイズが一定の場合と、異なる場合とで提案機構によってどのような情報が選択されるのかを確認する。各情報を識別するため、ID 番号を付与する。データサイズが異なる場合では、ID 番号が増加するにつれデータサイズが減少する。図 8 は実験 1 で用いられる、車載中間サーバに蓄積される情報を示す。また、表 3 に実験 1 のパラメータを示す。被災地情報に関して

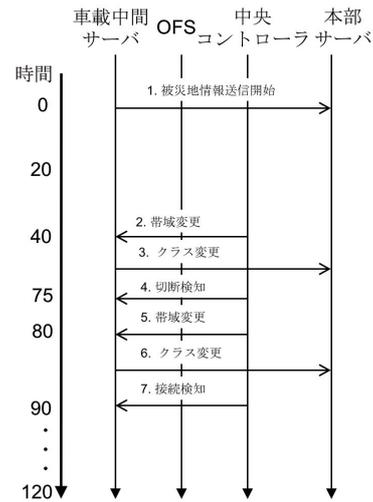


図 9 実験 2 におけるシナリオ  
Fig. 9 Scenario in demonstration 2.

は、救命隊情報と被災者情報を 100 個ずつ用意する。ID 番号 0 番から 100 番までを救命隊情報、101 番から 200 番を被災者情報とする。救命隊情報の中でも 0 番から 50 番までをユーザが指定した範囲内にある情報、51 番から 100 番までを範囲外の情報とする。さらに、0 番から 20 番までを災害対策本部が要求した情報とする。救命情報共有システムでは災害発生時 72 時間以内の運用を想定しているため、重要度が付与される時間の最大値を 72 時間に設定する。

### 4.3.2 実験 2：要求に応じたトラフィック制御

実験 2 では、クラス分けされた情報を各経路の状況に応じた割当てが行えているかを確認する。実験 2 では、Gateway と OpenFlow スイッチとの間にバックグラウンドトラフィックを生成する。パケットジェネレータには、iperf[16] を用いた。経路 1 と経路 2 に対して、経過時間ごとに送信するトラフィック量の大小を変更することで、各経路に流れるクラスが変更されていることを確認する。バックグラウンドトラフィックとして、パケットサイズを 1,470 Bytes とし UDP による CBR (Constant Bit Rate) トラフィックとし発生させた。実験開始 45 秒までは、経路 1 は 2.5 Mbps、経路 2 は 10 Mbps の送信レートを用いた。その後実験開始 80 秒までは経路 1 で 10 Mbps、経路 2 で 2.5 Mbps の送信レートを用いた。また、実験開始 80 秒から実験終了までは経路 1 は 2.5 Mbps、経路 2 は 10 Mbps の送信レートを用いた。なお、本実験では中継器 1 からのみ被災地情報を伝送する。図 9 に実験 2 におけるシナリオを示す。中央コントローラは  $T_{maxflow}$  が 20 秒に設定してあるため、20 秒ごとに帯域情報にあわせて各クラスに割り当てられる経路が変更される。開始 0 秒から各クラスに経路が割り当てられるように、準備期間として、経路 2 に経路 1 よりも多くのバックグラウンドトラフィックを割り当てておく。75 秒後にネットワークエミュレータは Gateway

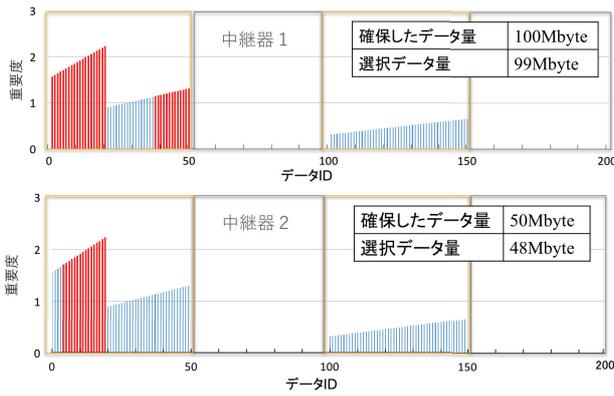


図 10 実験 1-1 における選択された情報

Fig. 10 Selected information in demonstration 1-1.

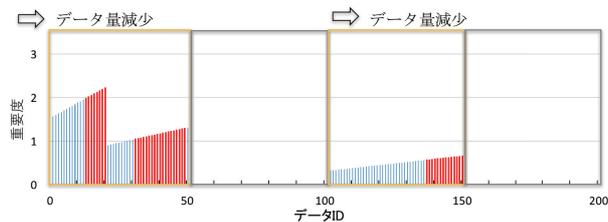


図 11 実験 1-2 における選択された情報

Fig. 11 Selected information in demonstration 1-2.

と OFS\_B 間のリンクを切断する。さらに 90 秒後にそのリンクを復旧する。

## 5. 動作確認

本章では、実装したプロトタイプシステムを用いた評価結果を示す。

### 5.1 動作確認 1：ユーザの要求に応じた情報の取捨選択

図 10 にデータサイズ一定の際に選ばれた情報を示す。縦軸に重要度、横軸に情報の番号を示し、表に確保したデータ量と選択された情報の合計のデータ量を示す。なお、赤で示されたデータは選択された情報、青で示された情報は未選択の情報を示す。要求の多い中継器 1 に要求の少なかった中継器 2 より多くのデータ量が割り当てられ、データサイズが一定の場合、重要度の高いものから順番に情報の選択が行われていることが確認できる。

また、図 11 に情報の番号ごとにデータ量が減少していく場合に選択された情報、表 4 に選択された情報の詳細を示す。ここで、重要度の合計とは、実験において選択された情報に付与されている重要度の合計値となる。この場合、重要度が最大化するように、重要度が低くてもデータサイズの小さい情報を選択している様子を読み取れる。また単純に重要度の高い順に選択する場合の重要度の合計値は、重要度を最大化するように選択する場合と比較し、約半分ほどであることが確認できる。以上より、各コンテンツごとに重要度を算出し、各中継器ごとに確保したデータ

表 4 実験 1-2 における選択された情報の詳細

Table 4 Detail of selected information in demonstration 1-2.

	重要度の高い順		重要度の最大化	
割り当てられた帯域 [Mbyte]	100	50	100	50
選択されたデータ量 [Mbyte]	94.9	45.5	99.9	49.4
重要度の合計	26.2	13.7	45.2	30.3

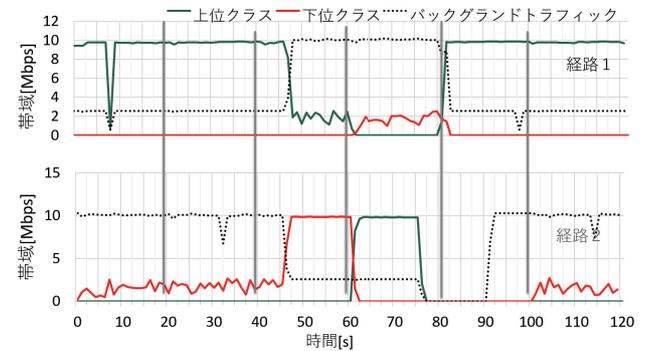


図 12 回線の使用状況

Fig. 12 Link selection.

量の中で重要度を最大化するように情報の選択されていることを確認した。

### 5.2 動作確認 2：要求に応じたトラフィック制御

図 12 に回線の使用状況を示す。0 から 40 秒までは経路 1 では経路 2 よりバックグラウンドトラフィックが少ないため、経路 1 に上位クラス、経路 2 に下位クラスが割り当てられている。40 から 60 秒までは経路 1 の回線に多くのバックグラウンドトラフィックが流れているため、60 から 80 秒では上位クラスと下位クラスの流れる経路が変更されていることが確認できる。また、75 秒のときに回線が切断され、80 から 100 秒の間は上位クラスが経路 1 に割り当てられている。このことから、 $T_{maxflow}$  ごとにクラス分けされた情報を回線状況に合わせて割り当てられることを確認した。

## 6. おわりに

本論文では、限られたネットワークリソースの中で、トラフィック状況に応じて、災害対策本部の興味の対象とされる情報を最大限収集するメカニズムについて提案した。提案機構では、PoI 情報に基づく重要度の算出と各中継器に割り当てられたデータ量に基づく情報の取捨選択、そしてユーザの要求に応じたトラフィック制御を実施した。PoI 情報に基づく重要度の算出では情報の重要度を定義し、ユーザの要求に基づいた被災地情報の重要度を算出する。各中継器に割り当てられたデータ量に基づく情報の取捨選択では、各車載中間サーバが、確保できる帯域をもとに一定間隔ごとに送ることができるデータ量のなかで重要度が最大になるように情報の取捨選択を行う。ユーザの要求

に応じたトラフィック制御では、重要度と中継器から中央サーバまで経路数に合わせた情報のクラス分けを行い、各回線の帯域を考慮した各クラスの割当てを行う。

提案機構のプロトタイプシステムを実装し、提案機構の動作確認と評価を行った。動作確認の結果から、各中継器からのトラフィック量に応じた情報の取捨選択と帯域状況に応じた各クラスの回線の割当てを可能とした。また、対策本部の興味の対象に基づいた情報の取捨選択および通信資源の割当てができていたことを確認した。

#### 参考文献

- [1] Mckeown, N., Anderson, T., Balakrishnan, H., Parulkar, G., Peterson, L., Rexford, J., Shenker, S. and Turner, J.: OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.38, No.2, pp.69-74 (2008).
- [2] 多幡早紀, 西山 潤, 福井良太郎, 嶋津恵子, 重野 寛: 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, *情報処理学会論文誌*, Vol.58, No.2, pp.471-480 (2017).
- [3] 西山 潤, 多幡早紀, 小林裕樹, 重野 寛: 災害時における Publish/Subscribe 通信を用いたネットワークとアプリケーションの相互制御機構, *情報処理学会論文誌*, Vol.59, No.2, pp.544-552 (2018).
- [4] Kobayashi, Y., Nishiyama, J. and Shigeno, H.: A Mechanism for Congestion Control based on Traffic Measurement with OpenFlow in Disaster, *2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, pp.1-2 (2018).
- [5] U.S. Department of Health & Human Services: Disaster Medical Assistance Team (DMAT) (online), available from <https://www.phe.gov/preparedness/responders/ndms/teams/pages/dmat.aspx> (accessed 2017-01-12).
- [6] Kitsuta, Y., Niiyama, S., Ushijima, K., Nakajima, S., Gunshin, M., Ishii, T., Nakamura, K., Matsubara, T., Yamaguchi, D., Katada, S. and Komatsu, K.: 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).
- [7] 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).
- [8] Manic, M., Wijayasekara, D., Amarasinghe, K., Hewlett, J., Handy, K., Becker, C., Patterson, B. and Peterson, R.: Next Generation Emergency Communication Systems via Software Defined Networks, *Proc. 2014 3rd GENI Research and Educational Experiment Workshop (GREE 2014)*, pp.1-8 (2014).
- [9] 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).
- [10] Ogawa, K. and Yoshiura, N.: Network Priority Control during Disaster and effectiveness Evaluation, *IPSSJ SIG Technical Report*, pp.1-6 (2014).

- [11] Fajardo, T.J., Yasumoto, K. and Ito, M.: Content-Based Data Prioritization for Fast Disaster Images Collection in Delay Tolerant Network, *7th International Conference on Mobile Computing and Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU)*, pp.147-152 (2014).
- [12] Neto, P.E. and Callou, G.: An Approach Based on Ford-Fulkerson Algorithm to Optimize Network Bandwidth Usage, *2015 Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*, pp.76-79 (2015).
- [13] Open Networking Foundation: OpenFlow-Open Networking Foundation (online), available from <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/OpenFlow> (accessed 2018-01-12).
- [14] Ryu SDN Framework Community: Ryu SDN Framework (online), available from <http://osrg.github.io/ryu/> (accessed 2018-01-12).
- [15] Linux Foundation: Open vSwitch (online), available from <http://openvswitch.org> (accessed 2018-01-12).
- [16] Gueant, V.: iPerf - The TCP, UDP and SCTP network bandwidth measurement tool (online), available from <https://iperf.fr> (accessed 2018-01-12).



小林 裕樹 (学生会員)

2017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修了。



谷 遼太郎 (学生会員)

2018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。



重野 寛 (正会員)

1990年慶應義塾大学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)。情報処理学会学論文誌編集委員、同DPS研究会主査、Secretary of IEEE ComSoc

APB等を歴任。現在、情報処理学会理事、同ITS研究会主査、Co-Chair of IEEE ComSoc APB ISC。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。