

## トリアージ現場における通行可能な経路発見手法の検討

小林 ひかる<sup>†1</sup> 友澤 弘 充<sup>†1</sup>  
重野 寛<sup>†2,†3</sup> 岡田 謙 一<sup>†2,†3</sup>

混乱した災害現場では、医者が目的の傷病者のもとまで行くための通行可能な経路を発見するのは困難である。近年、救命順序決定を行うトリアージという救急救命システムにセンサネットワークを適用する研究が活発となっている。シンクへの情報収集の際の電力やトラフィック量を抑える研究はされているが、医者が治療を行うための傷病者への通行可能な経路の提供については研究されていない。しかし、災害現場において通行可能な経路の発見とその経路のナビゲートをサポートすることは必要不可欠である。そこで本稿では、通行可能な経路のナビゲートをサポートすると同時に帯域圧迫を抑える、通行可能な経路発見手法を提案する。通行可能な経路とネットワーク経路を同時に保持し、そのネットワーク経路を利用して急変メッセージ伝達を行う。シミュレーション評価を行い、提案手法の有用性を示す。

### Examination of the Walkable Path Discovery Technique in the Triage Spot

HIKARU KOBAYASHI,<sup>†1</sup> HIROMITSU TOMOZAWA,<sup>†1</sup>  
HIROSHI SHIGENO<sup>†2,†3</sup> and KENICHI OKADA<sup>†2,†3</sup>

It is difficult to discover walkable path for a doctor going to the target patient basis in the confused calamity spot. Applying a sensor network to an emergency lifesaving system called triage which makes a lifesaving order decision is an active area of research. Although research which saves the energy and the traffic in the case of the information gathering to a sink node is done, they do not inquire about offer of walkable path to the patient for a doctor treating. It is indispensable to support discovery and its navigation of walkable path in the calamity spot. In this paper, we propose the walkable path discovery technique of suppressing bandwidth oversaturation at the same time it supports navigation of walkable path. Walkable path and a network path are held simultaneously and sudden change message transfer is performed using the network path. Simulation evaluation is performed and we show effectiveness of our proposal.

### 1. はじめに

阪神淡路大震災の教訓から、列車事故等の大事故や、ハリケーン・台風等の大規模災害によって多数の傷病者が発生した際に、傷病者の脈拍や自発呼吸や血中酸素濃度の状況からタグをつけ、その重度により救命の順序(緊急度)を決定し、できるだけ多数の人命を救助するトリアージと呼ばれる救命救急方式が導入されてきている。トリアージは、国内ではJR福知山線列車事故の際に初めて適用され、多数の負傷者の救命に貢献した<sup>1)</sup>。現在はトリアージタグに紙を用いているが、電子化されたトリアージタグ(以下、電子タグと呼ぶ)を使用してセンサネットワークを構築し、負傷者の位置や病状変化を監視・収集する救急救命支援システムの研究が活発となっている<sup>2)3)</sup>。トリアージにおけるネットワーク(以下、トリアージネットワークと呼ぶ)では電子タグに取り付けられたセンサによって傷病者の状態や位置情報のデータをセンシングする。

トリアージネットワークでは傷病者数が増えるほどデータ量は増加する。増加したデータの中には、人命に関わる重要度の高いデータ(急変メッセージ)が存在する。そのようなデータを送信した傷病者は実際に医者による治療を必要とする。医者が傷病者の元に行くためには通行可能な経路(医者から病状急変者までの実際に通行できる道)が必要であり、医者への通行可能な経路のナビゲートをサポートする必要がある。

通行可能な経路の必要性に対し、既存の方式では、通行可能な経路の発見ができない。目的の傷病者の位置はGPSを使用することで推定できる。しかし位置推定だけでは通行可能な経路が発見できるわけではない。そこで、フラッディングを使用し傷病者の位置を医者に伝達し、災害・事故現場の地図を利用してマッピングを行い医者に通行可能な経路を提供するという方法が考えられる。しかしマッピングに必要なGPSが使用不可能な環境は多数存在する。また、GPSが使用できる環境であり地図を用いて経路を発見しても、災害・事故時にもその経路が通行可能とは限らない。またGPSが使用できない環境でネットワーク的に見ると、ネットワーク全体への医者探索によりデータのコピーが大量に生成されるため帯域

<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

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学理工学部  
Faculty of Science and Technology, Keio University

<sup>†3</sup> 独立行政法人科学技術振興機構, CREST  
JST CREST

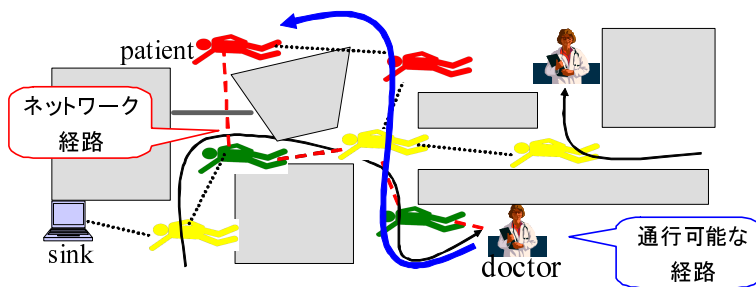


図1 トリアージ現場  
Fig.1 triage spot

を圧迫しやすいという問題点がある。

通行可能な経路発見ができないということ、また帯域圧迫という問題点に対して本稿では、電子タグを用いたトリアージネットワークにおいて、医師の移動軌跡にそって急変メッセージを伝達することで病状急変者の近隣探索と通行可能な経路発見を両立する、通行可能な経路発見手法 WPD を提案する。トリアージ現場を傷病者を治療しながらランダムに移動する医師の移動軌跡を電子タグに記憶させ、急変メッセージをその移動軌跡を記憶したノードにそって伝達することで、医師に病状が急変した傷病者までの通行可能な経路のナビゲートをサポートする。医師の移動軌跡を記憶したノードにそって急変メッセージを伝達すると、その経路は一度医師が移動しているため通行できる。それと同時にネットワーク全体への医師探索を防ぐことでトラフィック量を抑える。さらに、提案方式についてシミュレーションによる評価を行い、本提案の有用性を示す。

## 2. 関連研究と問題点

### 2.1 トリアージネットワーク

トリアージネットワークでは、一度電子タグを付けられた傷病者は搬送されるのを待つだけでなく、病状が悪化し医師による治療が必要となることもある。センサネットワークでは通行可能な経路が存在しなくても電波さえ届けばセンサ同士がデータのやりとりを行うことができる。

図1はトリアージ現場の例である。トリアージ現場では医師が現場をランダムに移動している。傷病者は病状急変が発生する。その際傷病者は医師からの治療が必要となり、急変

メッセージを医師に送信する。急変メッセージを受信した医師は、病状急変した傷病者のもとへ向かう必要があり、そのためには通行可能な経路が必要となる。本稿では傷病者のもとへ実際に通行できる道を通行可能な経路と呼ぶ。また、医師へ急変メッセージを伝達する際に使用する経路をネットワーク経路と呼ぶこととする。

### 2.2 通行可能な経路の必要性と急変メッセージ取り扱い

トリアージ現場にセンサネットワークを適用する際に考慮すべき重要な点は、実際の事故・災害現場に存在する通行可能な経路の発見方法である。近年の研究では帯域圧迫を低減することや、ライフタイムを延ばすために電力消費を制御する議論が多くされている。しかし、現場の通行可能な経路を考慮した議論はされていない。

トリアージネットワークでは、病状急変した傷病者はシンクへのデータ送信とともに急変メッセージを医師へ伝達し、医師からの治療が必要となる。つまり医師が傷病者の治療を行う為、傷病者のもとに医師が向かう過程が存在する。そのためには傷病者の病状をリアルタイムで監視することの他に、医師に傷病者までの通行可能な経路のナビゲートをサポートする必要がある。よって、事故・災害時に実際存在する通行可能な経路の考慮が必要となる。

病状急変した傷病者を発見するために欠かせない急変メッセージを医師まで送る手法として、最も基本的なものにユニキャストがある。ユニキャストは、メッセージのコピーは行わず、一つのメッセージのみを中継し、宛先へ送り届ける<sup>4)</sup>。一つのメッセージのみを中継することにより、帯域の圧迫は避けられる。しかし、急変メッセージの送信対象である医師はネットワーク中を移動している為、メッセージ送信の度に経路の再構築が頻繁に発生する。また、傷病者が、中継するはずのメッセージを受け取る直前で搬送されてしまった場合や、何らかの原因で電源が切れてしまった場合など、中継ノードの離脱によって伝達が行えなくなるという問題もある。経路の再構築を行おうとしても、周辺のノードが全て搬送された場合など、物理的に隔離されてしまう場合には再構築が行えない。トリアージを行う現場において、急変メッセージについては特にこのような事態は避けなければならない。

### 2.3 既存研究の問題点

既存研究を使用し医師へ傷病者までの通行可能な経路のナビゲートをサポートする方法を考えると、より確実にメッセージを送り届けるための手法であるフラディング<sup>5)</sup>による探索を行った後、地図を使用することが考えられる。フラディングを使用し傷病者の位置を知らせ、災害・事故現場の地図を利用してマッピングを行い傷病者までの経路をナビゲート

する方法である。しかしマッピングに必要な GPS<sup>6)</sup> が使用不可能な環境ではこの方法は使用できない。また、災害現場というのは建築物や公共の道などにも災害の影響が及んでいることがある。その為、現場の地図通りの道が事故・災害時にも存在するとは限らないし、通行可能とも限らない。このことから通行可能な経路が提供できないという問題がある。

また、フラッディングを使用することでネットワーク全体へ医者探索を行うため、帯域が圧迫されるという問題がある。フラッディングは、急変メッセージを発信するノードが医者までブロードキャストを繰り返す。ブロードキャストを利用するため、メッセージが大量にコピーされる。経路を複数利用して送るので、経路途中でのパケットロスには強くなる。しかし、トリアージ現場においては、多数の傷病者が存在することが想定され、それに比例して急変メッセージを送るノード数の増加が考えられる。また、ネットワーク中には通常メッセージ（定期的に送信する自身の生体情報）だけでもトラフィックが多く存在する。各傷病者に取り付けられた電子タグからメッセージは発せられ、急変メッセージでなくともその人数の分だけ通常メッセージが送られるためである。このようにネットワークに対し余分なメッセージを大量に発生させてしまうため、負荷が高くなるという問題点<sup>7)</sup>があり、帯域負荷は抑える必要がある。

### 3. 通行可能な経路発見手法 WPD

本稿では、医者の移動軌跡を利用した、通行可能な経路とネットワーク経路の同時保持を行う、通行可能な経路発見手法 WPD (Walkable Path Discovery) を提案する。提案手法では医者の移動軌跡により通行可能な経路をノードが保持することで、GPS を使用することなく医者に事故・災害現場での傷病者のもとへ繋がる通行可能な経路のナビゲートをサポートする。また、急変メッセージの伝達に医者の移動軌跡を利用して作成されるネットワーク経路を使用することで、医者探索による帯域圧迫を抑える。

#### 3.1 ノードのモード切替

本提案ではセンサノードを、医者ノード・傷病者ノードの2種に分類する。医者ノードとは医者が傷病者を治療しながら移動している際に持ち歩いているノードであり、モードの切替は行わない。傷病者ノードとは傷病者に取り付けられたノードであり、3種のモードに切替を行う。

傷病者ノードは、トレーシングモード (T モード)・病状急変モード (P モード)・通常モード (N モード) の3種のモードに切り替わる。

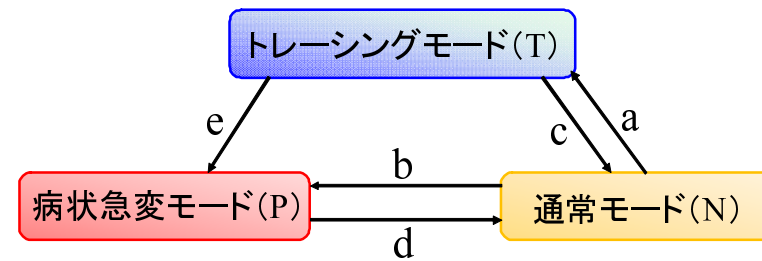


図2 モード切替  
Fig.2 Mode change

図2は傷病者ノードのモード切替の遷移図である。Nモードのノードが医者ノードから医者メッセージ (Dmsg) を受信すると、Tモードへ切替を行う (図中 a)。Nモードのノードを持つ傷病者が病状急変すると、そのノードはPモードへ切替を行う (図中 b)。Tモードのノードは自身の持つカウンタを利用し一定時間経過したら、Nモードへ切替を行う (図中 c)。Pモードのノードは自身のもとに医者が到着するとNモードへ切替を行うものとする (図中 d)。Tモードのノードを持つ傷病者が病状急変すると、そのノードはPモードへ切替を行う (図中 e)。

TモードからPモードへ切替わる際 (図中 e) は、TモードとPモードの両方の動作を行う。PモードのノードがDmsgを受信した際も、PモードとTモードの両方の動作を行う。

#### 3.2 各ノードの特徴と動作

医者ノードの特徴・動作、傷病者ノードのモードごとの特徴・動作について説明する。

##### 3.2.1 医者ノード

医者ノードは mobility のあるノードである。医者の移動にあわせ、定期的に Dmsg をブロードキャストする。急変メッセージ (Pmsg) を受信すると、Dmsg に Pモードの傷病者ノード探索メッセージを追加する。

##### 3.2.2 傷病者ノード

傷病者ノードは mobility のないノードである。

Tモードは Dmsg を受信した傷病者ノードのモードである。受信した Dmsg のシーケンス番号と受信時間を保持し、自身の持つカウンタを作動させる (このカウンタは Tモードであるための時間を計るものである。) Pmsg を受信したら、自身よりも医者に近い位置に

いる T モードノードに Pmsg を中継する。T モードになる直前のモードが P モードであった場合は P モードの動作も行う。

P モードは病状急変した傷病者ノードのモードである。P モードになると P メッセージを医者へ送信する。P モードになる直前のモードが T モードであった場合は T モードの動作も行う。

N モードは T モードでも P モードでもない傷病者ノードのモードである。Pmsg を受信したら周辺ノードにその Pmsg を送信する。

### 3.3 トレーシングモードの傷病者ノードによる軌跡保持

通行可能な経路とネットワーク経路は、医者の移動軌跡を示す T モードノードを繋ぐことで出来る。

医者は 1hop 圏内のノードに定期的に医者メッセージを送信しながら現場を移動する。医者メッセージを受信した N モードノードはモードの切替を行い T モードとなる。その際、T モードノードは受信した医者メッセージのシーケンス番号を記憶する。医者に近い T モードノードの方が保持する医者メッセージのシーケンス番号は大きい。つまり、医者の移動軌跡を保持することで、通行可能な経路とネットワーク経路ができ、発見できる。

### 3.4 医者への急変メッセージ伝達

次に、医者の移動軌跡を使用する Pmsg 伝達手法の流れを説明する。

病状が急変し P モードとなった傷病者ノードは、Pmsg を作成し周辺のノードに送信する。Pmsg を受信した N モードノードはそのまま周辺ノードに送信する。もし以前に同一メッセージを受信していたら受信メッセージは破棄する。Pmsg を受信した T モードノードは受信した Pmsg を周辺ノードに送信する。この時、メッセージの受信対象ノードは自身より大きい Dmsg のシーケンス番号を保持している T モードノード、または医者ノードである。保持するシーケンス番号が大きい方に Pmsg の中継を繰り返すことで、自身より医者に近い T モードノードにメッセージ伝達ができる。これを繰り返し、Pmsg は T モードノードにそって、つまり移動軌跡によりできたネットワーク経路にそって流れ、医者ノードまで伝達される。

T モードノードにそってメッセージ伝達を行うことで、ネットワーク全体への医者探索を防ぐことが出来る。

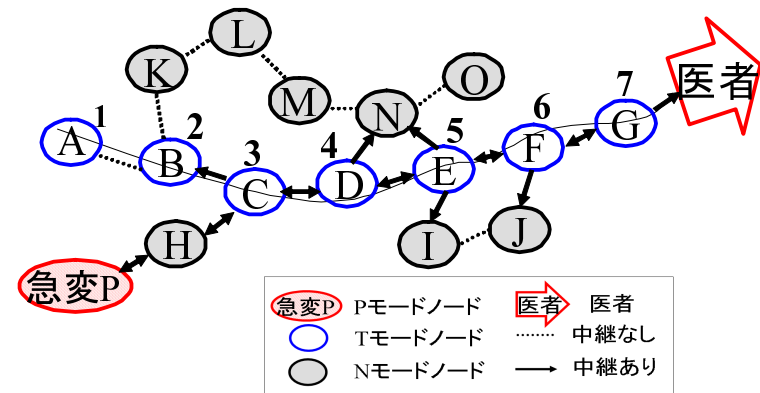


図 3 Pmsg 伝達の動作例

Fig.3 The example of Pmsg transfer of operation

### 3.5 動作例

図 3 に T モードへのモード切替と T モードノードを用いた Pmsg 伝達の動作例を示す。図中では医者は Dmsg をブロードキャストしながらノード A, B...G のように移動している。Dmsg を受信した傷病者ノードは T モードにモードの切替を行い、受信した Dmsg のシーケンス番号を保持する。図中ではノード A が Dmsg を受信し T モードになり、受信した Dmsg のシーケンス番号 1 を保持する。同様にノード B→2, ノード C→3,... ノード G→7 の Dmsg のシーケンス番号を保持し、T モードへ切替を行う。

傷病者ノードが病状急変し P モードとなり、Pmsg を作成し医者へ送信する。Pmsg の中継は T モードと N モードで異なる。T モードノードは自身より大きい Dmsg シーケンス番号を保持する T モードノードに中継する。N モードノードはフラッディングベースの中継を行う。図中では P モードノードから Pmsg が発生しノード H が受信する。ノード H は N モードである為、周辺ノードに Pmsg を送信する。ノード H の中継した Pmsg をノード C が受信する。ノード C は T モードである為、メッセージの受信対象は自身より医者に近い位置にいる T モードノードである。つまり、ノード C が送信したメッセージはノード B, D, H が受信するがノード H は以前に同一メッセージを送信しているため、メッセージの中継をやめ破棄する。ノード B は T モードであるがノード C より保持している Dmsg のシーケンス番号が小さい為メッセージの中継をやめ破棄する。ノード D はノード C より保持している Dmsg のシーケンス番号が大きい。つまりノード C より医者に近い位置にいるので

メッセージを中継する。以降、ノード  $D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow$  医者とメッセージが伝達される。  
 以上のように医者の移動軌跡を保持することで通行可能な経路とネットワーク経路を同時に保持できる。また、Tモードノードを使用したメッセージ伝達を行うことで、ネットワーク全体への医者探索を抑えられる。

#### 4. シミュレーション評価

本節では、提案手法の評価を行う。ネットワークシミュレータ QualNet<sup>(8)</sup> に、提案方式 WPD を構築した。

##### 4.1 シミュレーション条件

表 1 にシミュレーションパラメータを示す。

表 1 シミュレーション条件

Table 1 simulation conditions	
シミュレータ	Qualnet 4.0
シミュレーションエリア	200m × 200m
ノード数	50,100,150
有効帯域	250 kbps
無線到達距離	30m
パケットサイズ	512B
医者	2人
試行回数	10回

ノード 50 は傷病者の密度が低い時、ノード 150 は密度が高い時のトリアージ現場を想定している。また、無線環境に ZigBee<sup>(9)</sup> の使用を想定し、有効帯域は 250kbps、無線到達距離は 30m としている。

上記の条件でシミュレーションによる評価を行う。

##### 4.2 経路生成

図 4 にシミュレーションによる経路生成の様子を示す。

傷病者に電子タグが付けられたトリアージ現場が図 4(a) である。医者は二人いて、それぞれ  $D_1 \rightarrow A$ 、 $D_2 \rightarrow B$  へ移動する。

図 4(b) で急変メッセージが発生し、医者の探索が開始する。医者は移動し、 $D_1$  と  $D_2$  にいる状態である。次時刻の図 4(c)(d) では急変メッセージ (Pmsg) が医者の移動軌跡周辺

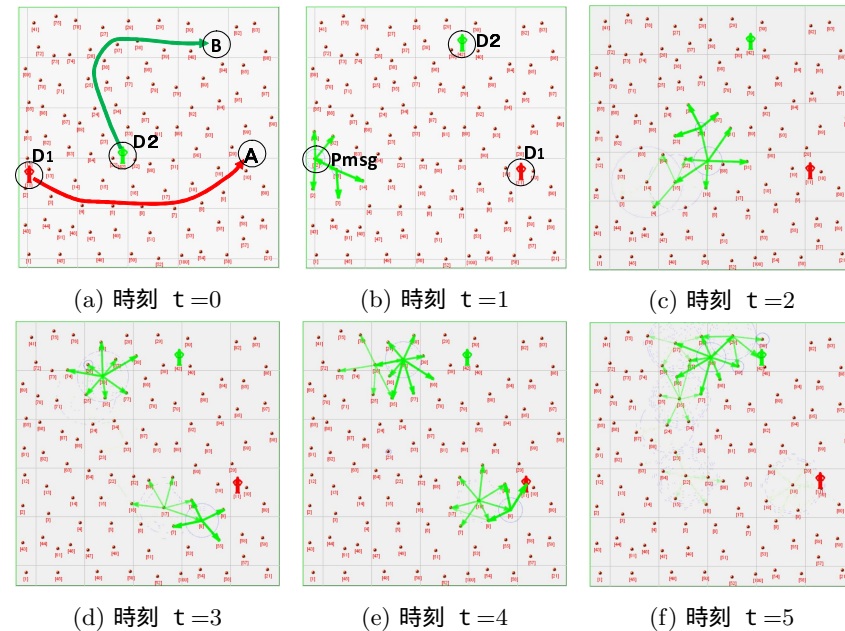


図 4 経路生成の様子

Fig. 4 The situation of path generation

のトレーシングモード (Tモード) の傷病者ノードを繋ぐことでできるネットワーク経路にそって中継されている。次時刻の図 4(e) で医者  $D_1$  に Pmsg が到達し、図 4(f) で医者  $D_2$  に Pmsg が到達している。よって Tモードノードにより通行可能な経路とネットワーク経路が同時保持できていることが確認できる。

メッセージが伝達されたネットワーク経路は、一度医者が通過している経路である。つまり実際に通行可能な経路である。ネットワーク経路として使用された Tモードノードをたどると Pmsg を送信した傷病者のもとに戻ることができる。

##### 4.3 急変メッセージ 1 つあたりの平均トラフィック量

本節では、ノード数を変化させ、それぞれのノード数に対する急変メッセージ (Pmsg) 1 つあたりの平均トラフィック量を既存手法であるフラディングと比較評価する。この評価により、ネットワーク経路を使用することで帯域圧迫が抑えられることを示す。

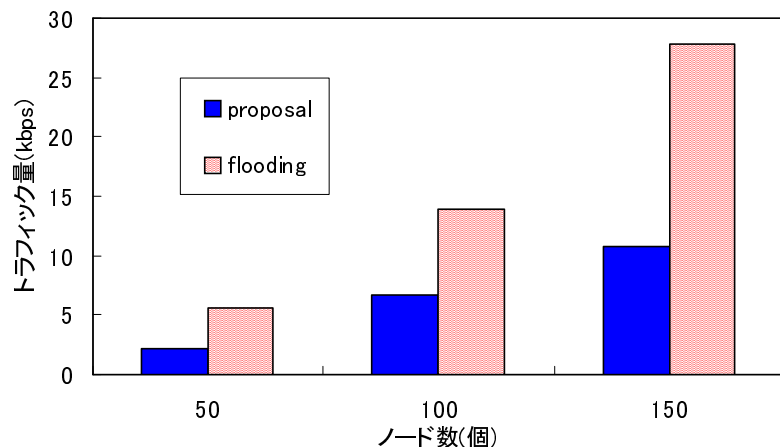


図5 急変メッセージ1つあたりの平均トラフィック量  
Fig.5 The amount of average traffic per Pmsg

図5にシミュレーション結果を示す。

図5を見ると、フラッディングではノード数が増えるにつれてブロードキャスト数が増えトラフィック量が急激に増加している。これに対し提案手法では、平均トラフィック量は約50%に抑えられている。これはトレーシングモードノードにそってPmsgが流れることにより、ネットワーク全体への医者探索を防ぐことが出来ているからである。

## 5. おわりに

本研究の目的は、トリアージ現場における通行可能な経路の発見と医者探索における帯域圧迫を抑えることである。トリアージ現場では病状が急変した傷病者の治療が必要となり、その傷病者のもとへ医者が行くための通行可能な経路が必要となる。既存研究では通行可能な経路の発見は困難であり、医者探索の際の帯域圧迫も問題となる。

本稿では医者の移動軌跡を利用し通行可能な経路とネットワーク経路を同時保持する、通行可能な経路発見手法WPDを提案した。提案方式では、ノードを医者ノードと傷病者ノードに分ける。通常モード(Nモード)の傷病者ノードが医者が近くを通過した際メッセージを受信しトレーシングモード(Tモード)にモードを切り換え、医者の移動軌跡を保持す

る。急変メッセージ(Pmsg)が発生するとTモードノードをたどり医者までPmsgを届ける。Tモードノードを使用することで通行可能な経路とネットワーク経路を同時に保持できる。それと同時にフラッディングで問題となる帯域圧迫を抑えることができる。

コンピュータシミュレーションを用いて評価を行った結果、提案方式は通行可能な経路を発見できることを示した。医者の移動軌跡周辺ノードのTモードノードにそってPmsgを伝達することで、通行可能な経路とネットワーク経路が一致する。Tモードノードをたどることで急変した傷病者のもとまでの通行可能な経路が発見できる。また同条件でフラッディングと比較してトラフィック量を抑えることができることを示した。

よって、提案方式は医者に通行可能な経路のナビゲートサポート方式として有効である。

## 参考文献

- 1) 兵庫県 JR 福知山線列車事故検証委員会. JR 福知山線列車事故検証報告書, 2006.
- 2) T. Gao and D. White. A Next Generation Electronic Triage to Aid Mass Casualty Emergency Medical Response. In *Proc. of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference*, August 2006.
- 3) T.Umedu H.Yamaguchi S.Fujii, A.Uchiyama and T.Higashino. An off-line algorithm to estimate trajectories of mobile nodes using ad-hoc communication. *Proc. of 6th Annual IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2008)*, pp. 117-124, 2008.
- 4) C. E. Perkins and E. M. Royer. Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing. In *Proc. of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 90-100, February 1999.
- 5) C. Ho, K. Obraczka, G.Tsudik, and K. Viswanath. Flooding for reliable multicast in multi-hop ad hoc networks. In *Proc. of the International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communication(DIALM)*, pp. 64-71, 1999.
- 6) B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichteneeger, and J.Collins. Global positioning system: Theory and practice. *New York, springer*, 2001.
- 7) Esa Hyytiä and Jorma Virtamo. On traffic load distribution and load balancing in dense wireless multihop networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, May. 2007. Special Issue on Novel Techniques for Analysis & Design of Cross-Layer Optimized Wireless Sensor Networks.
- 8) Qualnet, qualnet user manual. URL: <http://www.scalable-networks.com>.
- 9) 阪田 史郎 and 田中 成興 and 西室 洋介 and 川崎 光博 and 福井 潔 and ユビキタスネットワークフォーラム センサネットワーク部会. ZigBee センサネットワーク通信基盤とアプリケーション. 株式会社廣済堂, 2005.