

トリアージネットワークにおける搬送優先度に応じた 中継ノード選択手法の検討

田村 寛樹^{†1} 小林 ひかる^{†1}
重野 寛^{†2,†3} 岡田 謙一^{†2,†3}

災害時に傷病者の搬送優先度を定めるトリアージと呼ばれる救急救命方式にセンサネットワークを適用するトリアージネットワークの研究が活発となっている。トリアージネットワークでは各傷病者に付与されたセンサによって情報収集を継続する必要がある。情報収集の際、中継ノードとなるセンサは消費電力が多く、電力切れを起こしやすい。また負傷者は順次搬送されるため、センサはネットワークから離脱していく。しかし搬送が遅いセンサはネットワークに長時間残るため消費電力が多く、電力切れを起こしやすい。そこで本稿は搬送優先度に応じた中継ノード選択手法を提案する。シンクによるブロードキャストを利用した複数経路の生成により、パケット到着率を維持し全体的に電力消費を抑える。そして搬送優先度の利用により、搬送の遅いセンサの電力消費をさらに抑える。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 Selection for Relay Nodes Using Priority of Transportation in Triage Network

HIROKI TAMURA,^{†1} HIKARU KOBAYASHI,^{†1}
HIROSHI SHIGENO^{†2,†3} and KENICHI OKADA^{†2,†3}

It is necessary to keep collecting the data by sensors fixed in injured people. Sensors selected as relay nodes consume battery in large quantity and are easy to be out of battery in collecting the data. In addition, sensors secede from the network because injured people are transported sequentially. But sensors transported late are easy to be out of battery because of remaining in the network for a long time. So in this paper, we propose selection of relay nodes using priority of transportation. Our proposal keeps the packet arrival rate and suppresses the battery consumption totally by generating multiple paths by broadcast from the sink. In addition, it suppresses battery consumption of sensors transported late by using priority of transportation. We evaluate our proposal by the simulation and show this effectiveness.

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の状況から搬送優先度を決定し、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急救命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、多数の傷病者の救命に貢献した¹⁾。現在トリアージタグには紙が用いられているが、トリアージタグを電子化してセンサネットワークを構築し、傷病者の病状変化を監視・収集するトリアージネットワークの研究が活発となっている²⁾³⁾。センサネットワークとは、センサノード、プロセッサ、無線通信機、バッテリーから構成されるセンサノード同士が相互に通信を行い、ネットワークを構築するものである。センサネットワークで実現できるアプリケーションには様々なものがあり、環境や施設管理、医療等の分野へ応用されている。

トリアージネットワークでは、各傷病者の情報を収集し続けることによって、病状変化を把握する。この病状変化を把握し続けるためには、センサノードの電力状況について考慮し、電力切れを起こさないようにする必要がある。これは、センサノードの電力が切れてしまった場合、そのセンサノードが取り付けられている傷病者の情報を得ることができなくなるだけでなく、そのセンサノードが中継していた他の傷病者の情報も同時に失うことになる可能性があるためである。この必要性に対し、多くのセンサノードに中継として選択されたセンサノードは負荷が大きくなるため、消費電力が大きくなり、電力切れの可能性が高くなる。また、傷病者は順次搬送されるため、センサネットワークから離脱していく。このため、搬送が遅いセンサノードはセンサネットワーク内に長時間残ることになるため、搬送が早いセンサノードと比べて消費電力が大きくなり、電力切れの可能性が高くなる。

この問題点に対し、本稿では搬送優先度を利用することにより、搬送の遅いセンサノードの消費電力をさらに抑える中継ノード選択手法を提案する。具体的な手法としては、情報を収集する側でそれぞれのセンサノードへの経路を確立し、全体的な電力消費を抑える。そし

^{†1} 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University

^{†2} 慶應義塾大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

^{†3} 独立行政法人科学技術振興機構, CREST
JST CREST

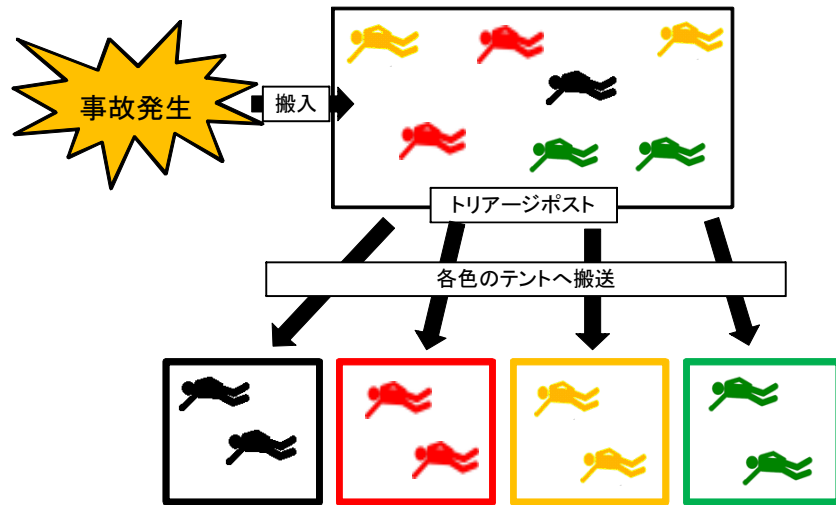


図1 トリアージ手順
Fig.1 triage step

て搬送優先度を利用することによって、搬送が早いと予測されるセンサノードを中継として多く利用することにより、搬送の遅いセンサノードの消費電力をさらに抑える。提案手法についてコンピュータシミュレーションによる評価を行い、提案手法がより確実に傷病者の情報を届け、消費電力を抑えることができるかを示す。

2. 関連研究

2.1 トリアージネットワーク

トリアージとは、大事故・大規模災害など多数の傷病者が突発的に発生した際に、傷病者の脈拍や自発呼吸、血中酸素濃度の状況から搬送優先度を決定し、できるだけ多数の人命を救助する救急救命方式である⁴⁾。図1でトリアージ手順を示す。まず、各傷病者は災害現場からトリアージポストと呼ばれる場所に搬送される。そして、トリアージポスト内でトリアージ・タグと呼ばれるタグを付けられ、赤、黄、緑、黒の順に搬送優先度を明示化される。その後、各傷病者は各色のテントへ順次搬送されていく。

トリアージを実施したことで多数の人命が救助されたが、現在のトリアージ・タグは紙製であるため、傷病者の居場所や急変が把握できないという問題がある。この問題点に対し、

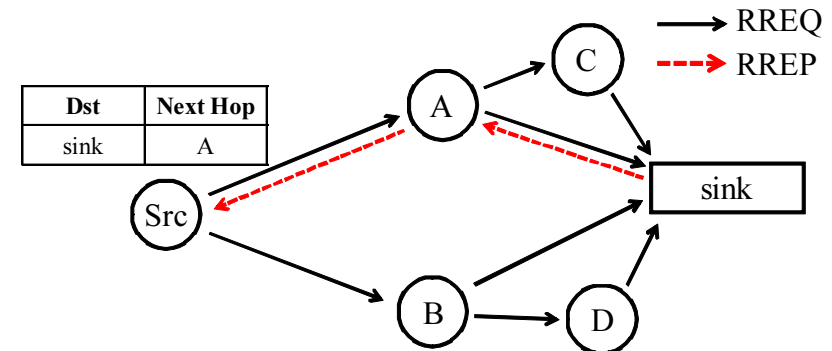


図2 AODVにおける経路生成
Fig.2 path generation in AODV

センサネットワーク技術を用いたインテリジェント・トリアージ・タグの開発が行われている⁵⁾。各傷病者に装着した脈拍センサや血流センサなどのセンシング情報をボディ・エリア・ネットワークを介して収集すると共に、災害現場に臨時に敷設した無線ネットワークとの間にアドホックネットワークを構築する。このようにして、傷病者の位置や病状変化をリアルタイムで監視・収集・整理することができ、また各色の傷病者の搬送状況等も把握することができるようなトリアージネットワークの研究が活発となっている。本稿では傷病者をセンサノード、センサノードの情報を収集するホストPCをシンクノードと呼ぶこととする。

2.2 既存方式と問題点

傷病者が順次搬送され、センサノードがネットワーク内から離脱していくようなトリアージネットワークにおいて適した既存のルーティング方式として、経路修復の効率が良いAODV⁶⁾が挙げられる。図2にAODVにおける経路生成の例を示す。ここで、Srcをソースノード、sinkをシンクノードとする。経路が確立されていない状態では、まず、Srcは周辺のセンサノードにRREQと呼ばれるパケットをブロードキャストする。そして、このRREQパケットをノードA、Bが受け取ったとする。ノードA、Bは目的地ではないため、同様にRREQを周辺のセンサノードへブロードキャストする。そして、sinkに届いたとする。このとき、sinkは最初に到着したRREQが辿ってきた経路に対し、RREPと呼ばれるパケットを返送する。その後、RREPパケットをSrcが受信することにより、経路が確立される。

この経路生成の際、AODV では経路表に目的地までの経路上の、Next Hop の中継ノードのみを格納している。このため、リンク先が切れているセンサノードのみが経路探索を行えばよいから、経路修復の効率が良いルーティング方式といえる。

しかし、AODV をトリアージネットワークに適用することにおいて、2つの問題点がある。それは、「冗長なパケットによる電力消費の増大とパケット衝突」と「搬送状況の把握ができない」という点である。

まず、冗長なパケットによる電力消費量の増大とパケット衝突について示す。AODV は経路生成の際に、それぞれのセンサノードがブロードキャストを繰り返すため、冗長な RREQ が増大する。また、中継ノードであるノード A が離脱した場合、AODV は一つの目的地に対して一つの経路しか経路表に格納していないため、経路を再探索する必要がある。トリアージ現場では次々と傷病者が搬送され、中継ノードの離脱が多いため、使用していた経路が使えなくなりやすく、その度に経路の再探索を行わなければならない。AODV は、経路を探索する際も同様に RREQ をブロードキャストし、その RREQ を受け取ったノードも RREQ のブロードキャストを繰り返すことにより、経路を構築する。図 2 の例では、ノード B 側の経路を探索し、メッセージを送信することができた。しかし、ノード B からノード D へ向かう RREQ や、ノード D からノード B へ向かう RREQ など、冗長な RREQ が増大する。これにより、センサノードの離脱が多いトリアージ現場では各センサノードが RREQ を行う回数が増えるため、全体的な送受信の回数が増えることにより、電力消費が大きくなるという問題がある。また、ネットワーク内に RREQ が溢れることにより、パケット衝突が発生しやすいといった問題も発生する。よって、冗長なパケットを減らし、電力消費とパケット衝突を抑える必要がある。

つぎに、搬送の状況を把握することができない点について示す。トリアージ現場において、傷病者は順次搬送されていくため、搬送の遅いセンサノードは長時間トリアージネットワーク内に残ることになる。AODV は各ノードはシンクノードまでの経路を一つしか保持していないため、どの色の傷病者がどのくらい搬送されているかといった搬送の状況を把握することにより、経路を切り替えるといったことができない。このため、搬送の遅いセンサノードの電力消費を抑えるといった事ができない。よって、搬送状況を把握し、搬送の遅いセンサノードの電力消費を抑える必要がある。

3. 搬送優先度を考慮した中継ノード選択手法 SPT

本稿では、トリアージネットワークにおける搬送優先度に応じた中継ノード選択手法

SPT(Selection of Relay Nodes Using Priority of Transportation) を提案する。本提案は、トリアージネットワークにおいて各傷病者の病状変化を把握し続けるために、センサノードの電力切れを回避し、パケット到着率を維持することを目的としている。

3.1 提案の概要

トリアージネットワークは、すべてのセンサノードは自身の情報を、1つのシンクノードに対して送信するといった特徴がある。このようなネットワークでは、AODV のように各センサノードが経路探索を行うよりも、シンクノードが主体となって各センサノードへの経路を生成する方が効率が良いと考えられる。よって提案手法では、シンクノードがトリアージネットワーク内のセンサノードに対しブロードキャストを行い、シンクノードまでの経路を複数生成する。これにより、各センサノードが RREQ をブロードキャストをする必要がなく、冗長なパケットによる電力消費の増大とパケット衝突を抑制することができる。

またトリアージネットワークは、搬送優先度の高い傷病者から順に搬送されていくといった特徴がある。よって、提案手法ではシンクノードからのブロードキャストの際に搬送状況の情報を付与する。この情報を基に、早く搬送されると予測される色のセンサノードを積極的に中継ノードとして使用するようにより、経路表内の複数経路から経路を決定する。これにより、ネットワーク内に長時間残ることにより電力消費が必然的に多くなる搬送が遅いセンサノードの電力消費を抑えることができる。

以上により、センサノードの電力切れを回避し、パケット到着率を維持する。

3.2 提案の詳細

提案手法は「シンクノードの動作」と「各センサノードの動作」の2つに分類される。本節では、これらについて詳細に説明する。

3.2.1 シンクノードの動作

つぎに、シンクノードの動作について説明する。シンクノードの動作は「各色の搬送率の計算」と「搬送率のブロードキャスト」の2つに分類される。

各色の搬送率の計算

まず、用語の定義について説明する。現在時刻から時間 dt 前までに搬送された色 i の傷病者数を搬送率 $C_i(dt)$ と表すこととする。また、シンクノードが搬送率を計算し、ブロードキャストする間隔を dt と表すこととする。

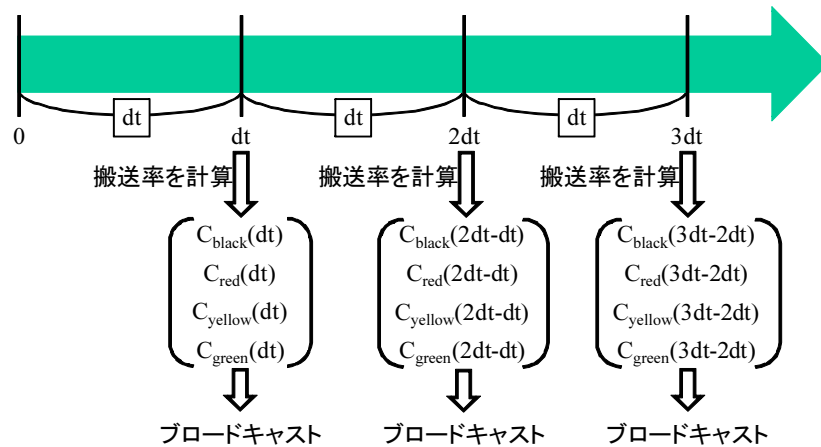


図 3 搬送率の計算とブロードキャスト
Fig. 3 the calculation and broadcast of the transportation rate

つぎに、各色の搬送率の計算方法について説明する．シンクノードはすべての傷病者のデータを管理しているため、どの傷病者がいつ搬送されたかということ把握している．シンクノードは搬送された傷病者数を色ごとに計算する．図 3 は搬送率の計算とブロードキャストのタイミングを示したものであり、横向き矢印は時間の経過を示している．図 3 のように、時間 dt 間隔で各色の搬送率を再計算し、搬送率をブロードキャストする．これは、その時々搬送状況を把握することができるようにするためである．

搬送率のブロードキャスト

シンクノードからのブロードキャストについて説明する．

シンクノードは時間 dt ごとに計算した搬送率の情報を、トリアージポスト内にあるセンサーノードに対して n ホップ分ブロードキャストする．ここで、 n ホップ分に制限するのは、ブロードキャストを繰り返すことにより送受信の回数が増え、電力消費が大きくなることを防ぐためである．

本稿では、この搬送率情報のブロードキャスト packets を搬送率 packets と呼ぶことにする．

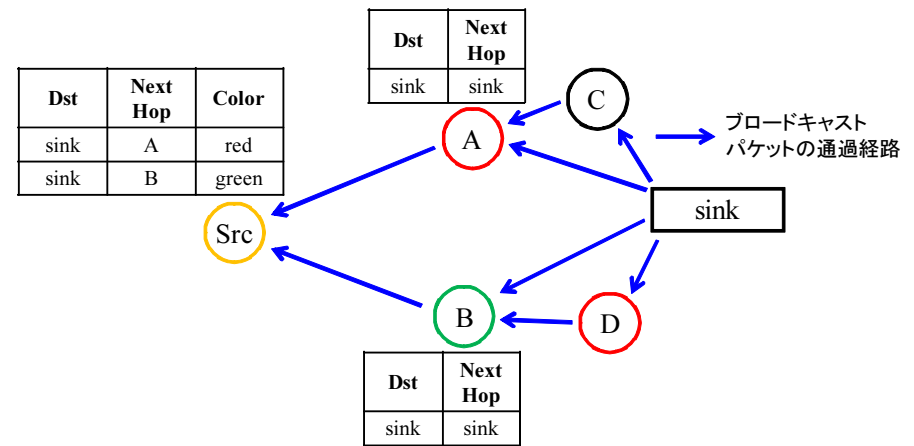


図 4 経路の生成・更新
Fig. 4 the generation and updating of paths

3.2.2 各センサーノードの動作

次に各センサーノードの動作について説明する．各センサーノードの動作は「経路の生成・更新」、「中継ノードの色選択」、「傷病者データの送信」の 3 つに分類される．

経路の生成・更新

経路の生成・更新方法について説明する．

各センサーノードはシンクノードからの搬送率のブロードキャストを利用して経路を生成・更新する．各センサーノードは搬送率 packets を受信したとき、原則として各搬送率 packets が通過した経路を全て経路表に格納する．ただし、シンクノードまで 1hop の距離であるときは、他の経路は経路表に格納しない．本提案の経路表は、シンクノードまでの経路上の Next Hop の中継ノードを格納し、Next Hop のセンサーノードの色情報も同時に経路表に格納する．図 4 に経路の生成・更新の例を示す．シンクノードから搬送率 packets を受信したノード A, B は、シンクノードまで 1hop であるため Next Hop にシンクノードを格納する．また、Src は「Src → A → sink」と「Src → B → sink」の二つの経路を経路表に格納する．ここで、搬送率 packets が届かず経路の生成ができなかった場合、自ら経路生成を行いシンクノードまでの経路を生成する．

このように複数の経路を経路表に格納する理由は2つある。1つ目は、中継ノード決定のための経路選択の際に候補を多くするためである。2つ目は、改めて経路の探索を行うことなく、他の経路を使用できるようにするためである。

中継ノードの色選択

中継ノード決定のための色選択方法について説明する。

搬送率パケットを受信したセンサノードは、そのパケットに含まれている各色の搬送率情報を基に中継ノード決定のための色選択を行う。このとき、搬送率パケットを受け取るごとに色選択を行い、中継ノードの再選択を行う。中継ノード決定のための色選択は搬送率の高い色タグを中継ノードとして選択する確率が高くなるようにする。これは、搬送が早いセンサノードの電力を積極的に使用することを目的としている。本提案では、「搬送率の比 (normal)」、「搬送率の2乗比 (duplicate)」、「搬送率の1/2乗比 (second root)」の3パターンを使用し、それぞれのパターンに対する各色 i の選択確率を $p_{i,normal}$, $p_{i,duplicate}$, $p_{i,secondroot}$ とする。

- 搬送率の比 (normal)

黒：赤：黄：緑 = $C_{black}(dt) : C_{red}(dt) : C_{yellow}(dt) : C_{green}(dt)$

$$p_{i,normal} = \frac{C_i(dt)}{C_{black}(dt) + C_{red}(dt) + C_{yellow}(dt) + C_{green}(dt)} \quad (1)$$

- 搬送率の2乗比 (duplicate)

黒：赤：黄：緑 = $C_{black}(dt)^2 : C_{red}(dt)^2 : C_{yellow}(dt)^2 : C_{green}(dt)^2$

$$p_{i,duplicate} = \frac{C_i(dt)^2}{C_{black}(dt)^2 + C_{red}(dt)^2 + C_{yellow}(dt)^2 + C_{green}(dt)^2} \quad (2)$$

- 搬送率の1/2乗比 (second root)

黒：赤：黄：緑 = $\sqrt{C_{black}(dt)} : \sqrt{C_{red}(dt)} : \sqrt{C_{yellow}(dt)} : \sqrt{C_{green}(dt)}$

$$p_{i,secondroot} = \frac{\sqrt{C_i(dt)}}{\sqrt{C_{black}(dt)} + \sqrt{C_{red}(dt)} + \sqrt{C_{yellow}(dt)} + \sqrt{C_{green}(dt)}} \quad (3)$$

そして、この確率を用いてランダムに決定したNext Hopの中継ノードの色を決定する。normalを用いた場合、他の色との搬送率の差があまり出ず、中継ノード決定のための色選択確率にも差がでないということが考えられる。ここで、duplicateを用いることにより、中継ノード決定のための色選択確率に差を出すことができる。また、normalを用いた場合、他の

色との搬送率の差が大きく、中継ノード決定のための色選択確率に差が出すぎてしまうことが考えられる。ここで、second rootを用いることにより、中継ノード決定のための色選択確率の差を小さく抑えることができる。以上の理由により本提案では、normal, duplicate, second rootの3パターンを使用している。センサノードは複数の経路を経路表に保持しているため、決定した中継ノードの色と一致する経路を経路表から探し、決定する。このとき、決定した中継ノードの色と一致する経路が経路表に複数存在するとき、その中からランダムに経路を決定する。また、決定した中継ノードの色と一致する経路が経路表に存在しない時、ランダムに経路を決定する。このように搬送率が高い色タグのセンサノードを中継ノードとして積極的に使用することにより、搬送が遅いと予測されるセンサノードの電力消費を抑える。

傷病者データの送信

各センサノードは傷病者の脈拍や呼吸数などの情報をシンクノードに定期的を送信する。本提案では10秒間隔で傷病者情報を送信する。

3.3 提案の動作例

提案手法における $n = 2$ の動作例を示す。

3.3.1 搬送率のブロードキャスト ($n = 2$)

図5のように搬送率を計算したシンクノードは、トリアージポスト内にいるセンサノードに搬送率をブロードキャストする。

この例では、シンクノードから1hop圏内にB,C,D,F,Gが存在しており、2hopの距離にSrc,A,Eが存在している。ここで、Srcに着目すると、Srcは「sink → C → Src」、「sink → D → Src」、「sink → F → Src」の3つの経路から搬送率パケットを受信している。よって、Srcはsinkへの経路として、Next Hopの中継ノードがC,D,Fである3つの経路を経路表に格納する。

3.3.2 中継ノード選択と傷病者データの送信

この例では、中継ノードの選択において各色を選択する確率として、搬送率の比 (normal) の確率 $p_{i,normal}$ を用いるとする。Srcが傷病者のデータを送信するとき、ブロードキャストにより搬送率の比が「黒：赤：黄：緑=1:2:3:4」であることがわかったため、各色の中継ノードとしての選択確率は以下ようになる。

ここで、 $\frac{4}{10}$ の確率でNext Hopの中継ノードとして緑を選択したとする。この時、Src

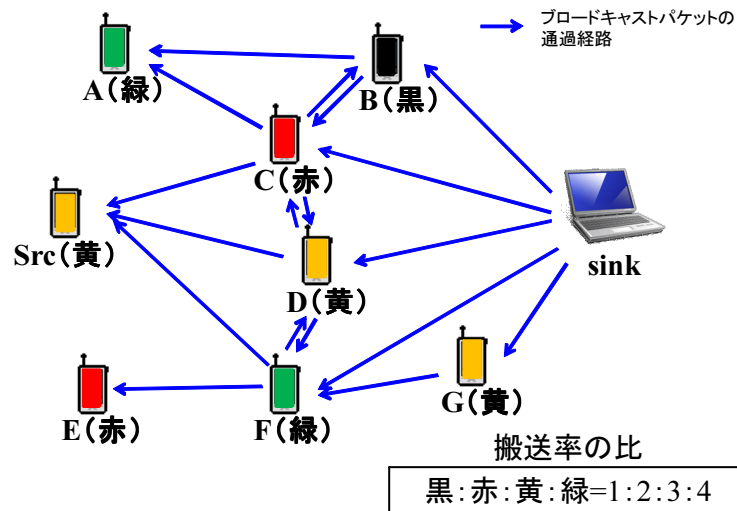


図 5 搬送率のブロードキャスト ($n = 2$)
Fig. 5 the broadcast of transportation rate ($n = 2$)

は経路表から Next Hop が緑である経路を探す．そして図 6 のように，F を選択し，傷病者のデータを sink へ送信する．の確率で Next Hop の中継ノードとして黒を選択した場合，Src は経路表に Next Hop が黒である経路を持っていないため，経路表の中から最新の経路を探し，その経路で傷病者のデータを送信する．以上のようにして，提案手法は，シンクノードからのブロードキャストにより経路を複数構築し経路探索の回数を減らすことによって，パケット到着率の維持と全体的な電力消費を抑制する．さらに搬送優先度を考慮して搬送が早いと予測されるセンサノードを中継ノードとして選択する確率が高くなるようにし，搬送が遅いセンサノードの電力消費を抑える．

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 QualNet4.5.1⁷⁾ に，提案手法 SPT を構築した．

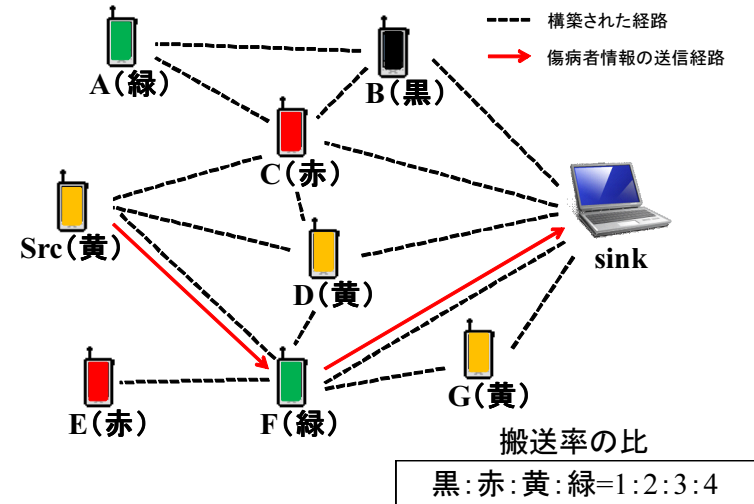


図 6 中継ノード選択と傷病者情報の送信
Fig. 6 the selection of relay nodes and sending the date of injured people

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．

本提案は，センサノードに SunSPOT⁸⁾⁹⁾ と呼ばれるセンサを用いることを想定している．よって，本シミュレーションでは，トリアージポスト内での ZigBee¹⁰⁾ を用いた通信を想定しており，傷病者が順次搬送されていく状況を想定している．また，ノード初期電力は 750mA としており，電力消費モデルは無線通信チップ TI CC2420¹¹⁾ に準拠し，送信電力を 17.4mA，受信電力を 19.7mA としている．シミュレーションエリアは 2hop でシンクノードまで情報を送信できる環境であるため，ブロードキャストホップ数は $n = 2$ 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．比較対象は AODV としている．

4.2 トリアージポスト内の総電力残量

図 7 にトリアージポスト内の総電力残量のグラフを示す．図 7 は横軸に時間，縦軸にトリアージポスト内の総電力残量を示しており，AODV と normal, duplicate, second root, そしてブロードキャストによる経路構築は行わぬが搬送率を使用しない no used との関係を示す．

表 1 シミュレーション条件

Table 1 simulation conditions

シミュレータ	Qualnet 4.5.1
シミュレーションエリア	50m × 50m
シミュレーション時間	7200 sec
無線到達距離	30m
ノード数	50
搬入頻度	0 ノード/min
搬送頻度	0.5 ノード min
送信電力	17.4 mA
受信電力	19.7 mA
ノード初期電力	750 mAh
センサノード情報送信間隔	10 sec
ブロードキャスト間隔 dt	300 sec
ブロードキャストホップ数 n	2
試行回数	5 回

示している。

提案手法は AODV と比較して全体的に電力消費を抑えることができていることが確認できる。搬送率を使用していない no used を用いた場合においても電力消費を抑えることができていることを確認できる。これは、中継ノードが搬送された場合、AODV は経路を再探索するため RREQ をブロードキャストするため、各センサノードの送受信回数が増加するのに対し、提案手法はシンクノードが経路を構築し、各センサノードが複数の経路を経路表に格納しているため、初期状態や中継ノードが搬送された場合に経路を再探索する必要が少ないためであると考えられる。

normal, duplicate, second を比較すると、ほとんど差がでなかったが、normal, second root, duplicate の順に電力消費を抑えることができている。これは、duplicate ではそれぞれの搬送率の差を大きくした確率であるが、それにより差が大きくなりすぎたためであると考えられる。同様に second root はそれぞれの搬送率の差を小さくした確率であり、それにより差が小さくなりすぎたためであると考えられる。

搬送率ありの場合と搬送率なしの場合、つまり、normal, duplicate, second root と no used を比較した場合、搬送率ありの場合はシミュレーション後半部分で電力残量を多く残しており、電力消費を抑えることができていることがわかる。よって、搬送率を使用することにより、搬送が遅いセンサノードの電力消費を抑えることができるということがわかる。

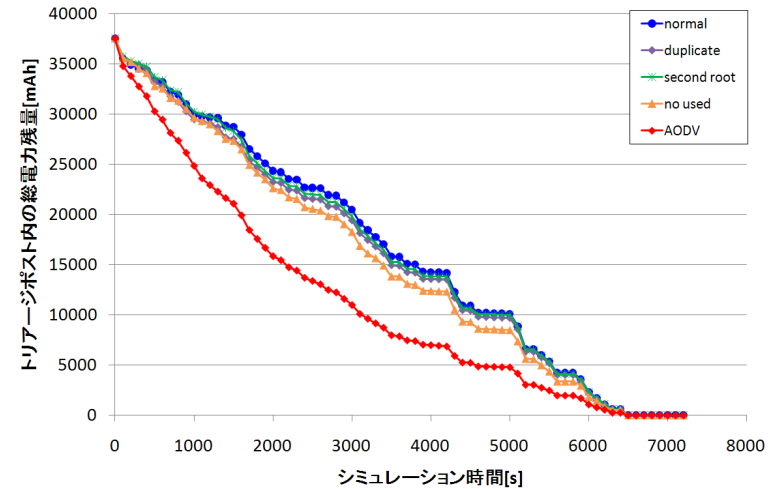


図 7 トリアージポスト内の総電力残量
Fig.7 the battery remaining in triage post

4.3 パケット到着率

図 8 にパケット到着率のグラフを示す。図 8 は横軸にノード数、縦軸にパケット到着率を示している。

AODV はノード数が増えるにつれてパケット到着率が下がっており、ノード数が 60 の時は 75% まで下がっている。これに対し、提案手法は全体的に 90% 前後の値となっており、パケット到着率の維持ができていることが確認できる。これは中継ノードが搬送される度に AODV は経路を探索するために RREQ をブロードキャストするため、ネットワーク内のパケットが増加し、パケット衝突が増えるためであると考えられる。これに対し、提案手法は複数経路を経路表に格納しているため、RREQ をブロードキャストする回数が少なく、パケットの衝突が少ないため、パケット到着率を維持できていると考えられる。

5. おわりに

トリアージネットワークにおいて、中継として選択されたセンサノードは負荷が大きくなり、電力消費が大きくなるため、電力切れの可能性が高くなる。また、搬送が遅いセンサノードはセンサネットワーク内に長時間残ることになるため、搬送が早いセンサノード

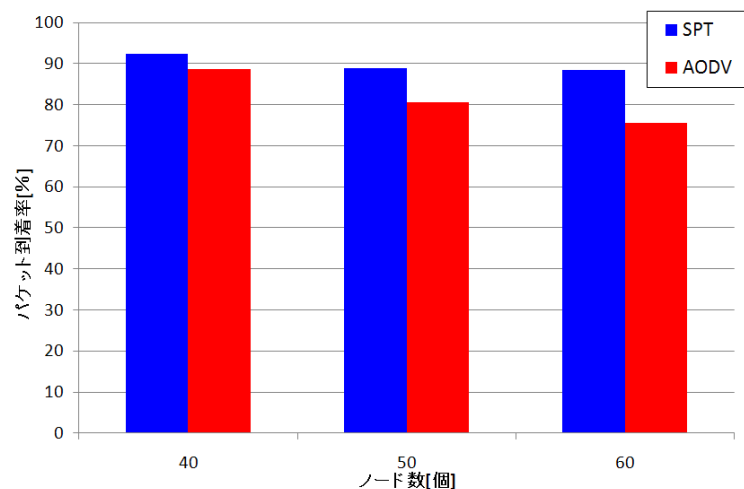


図 8 パケット到着率
Fig. 8 packet arrival rate

と比べて電力消費量が大きくなり、電力切れの可能性が高くなる。これらの問題点に対し、本稿では、搬送優先度に応じた中継ノード選択手法 SPT(Selection of Relay Nodes Using Priority of Transportation) を提案した。提案手法は、まずシンクノードによるブロードキャストを利用して経路を複数構築することにより、パケット到着率を維持し、全体的に電力消費を抑える。そして、搬送優先度を利用し、搬送が早いセンサノードを中継ノードとして積極的に使用することにより、搬送の遅いセンサノードの電力消費をさらに抑える。

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、提案手法は全体的にセンサネットワーク内の電力消費を抑えることができた。そして搬送の遅いセンサノードの電力消費をさらに抑えることができることを示した。またパケット到着率において、既存方式はノード数が増えるにつれて 75% 程度まで低下するのに対し、提案手法はノード数が増えても 90% 程度に維持できることを示した。

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) S.Fujii, A.Uchiyama, T.Umedu, H.Yamaguchi, 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) 太田 宗夫 (編). 災害医療 EMERGENCY CARE. メディカ出版, 第 2007/01/09 版, 2007.
- 5) James P. Killeen, Theodore C. Chan, Colleen Buono, William G. Griswold, and Leslie A. Lenert. A wireless first responder handheld device for rapid triage, patient assessment and documentation during mass casualty incidents. In *Proc. of the AMIA 2006*, 2006.
- 6) 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.
- 7) Qualnet, qualnet user manual. URL: <http://www.scalable-networks.com>.
- 8) サン・マイクロシステムズ. URL: <http://jp.sun.com/products/software/sunspot/>.
- 9) Sunspotworld - home. URL: <http://www.sunspotworld.com/>.
- 10) 阪田史郎, 田中成興, 西室洋介, 川崎光博, 福井潔, ユビキタスネットワークワーキング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.
- 11) 2.4 ghz ieee 802.15.4 / zigbee-ready rf transceiver, March 2007. URL: <http://focus.tij.co.jp/jp/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>.