

## トリアージネットワークにおけるセンサ密度と 搬送優先度に応じたデータ送信手法の検討

斎藤 卓也<sup>†1</sup> 田村 寛樹<sup>†1</sup>  
戸口 裕人<sup>†1</sup> 重野 寛<sup>†2,†3</sup>

大規模事故や災害発生時に傷病者の搬送優先度を定める「トリアージ」に、センサネットワークを適用した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収集するデータは傷病者の生体情報であるため、データの高到着率を維持する必要がある。しかし災害や事故の規模が大きくなると、傷病者の増加とともに取り扱うデータ量が増えるためトラフィック量が増加し、帯域圧迫によってデータ到着率が低下する。そこで本稿はセンサ密度と搬送優先度に応じてデータ送信間隔を変更するデータ送信手法を提案する。センサが低密度の際は帯域に余裕があるため短い間隔で全傷病者のデータを送信する。またセンサが高密度の際は搬送優先度が低い傷病者のデータ送信間隔を長くすることでトラフィック量を抑制し、データの高到着率を維持する。計算機を用いてシミュレーションを行い、提案手法の有効性を示す。

### Examination of Data Transmission Adapting to Density of Sensor and Priority of Transportation in Triage Network

TAKUYA SAITO,<sup>†1</sup> HIROKI TAMURA,<sup>†1</sup> YUTO TOGUCHI<sup>†1</sup>  
and HIROSHI SHIGENO<sup>†2,†3</sup>

Applying sensor network to emergency lifesaving systems called triage to decide priority of transportation in accidents or disasters is an actively done. In triage, a high data arrival rates are needed since living body information is handled. However, when the scale of disasters or accidents grows, the number of injured people and traffic rate increases and data arrival rates are decreases. In this paper, we propose data transmission adapting to density of sensor. When density of sensor is low, nodes of sensor transmit data at short intervals. The data transmission frequency is decreased by lengthening the transmission interval of the sensor node with a low emergency degree to avoid the band pressure, and the amount of traffic is controlled when the density of the sensor is high. We evaluate our proposal by the simulation and show this effectiveness.

#### 1. はじめに

列車事故等の大規模事故や、大規模災害によって多数の傷病者が発生した際に、トリアージ<sup>1)</sup> 2) と呼ばれる傷病者の搬送優先度を決定する救急救命方式が導入されてきている。搬送優先度とは、治療のため医療機関へ搬送するための優先度を示し、トリアージでは傷病者を搬送優先度の高い順に赤、黄、緑、黒の四つのカテゴリーに分類する。この搬送優先度の決定により多くの傷病者を救うことが可能となる。

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、多くの救命に貢献した<sup>3)</sup>。現在、傷病者の分類には紙製のトリアージタグが利用されており、医療従事者がトリアージタグに生体情報を記入することで搬送優先度が決定される。これに対してトリアージタグを電子化し、傷病者の状態を自動で監視する救急救命支援システムの研究が活発に行われている<sup>4) 5)</sup>。このシステムでは小型の無線モジュールを搭載した電子トリアージタグを利用し、トリアージ現場にセンサネットワークを構築する。傷病者の脈拍数や血中酸素濃度といった生体情報は構築されたネットワークを介して管理用サーバに収集される。このシステムを用いることで生体情報を自動で定期的に収集でき、これまで以上に迅速な治療や医療機関への搬送が可能となる。このようなセンサ端末を用いて傷病者の生体情報を収集するネットワークをトリアージネットワークと呼ぶ。

トリアージネットワークは人命救助を目的としたネットワークであり、傷病者の生体情報をデータとして取り扱う。そのためデータの到着率を維持する必要がある。また傷病者は状態によって搬送優先度が異なり、搬送優先度が高い傷病者ほど緊急性を伴う処置が必要となる。そのため一人でも多くの人命を救うためには搬送優先度が高い傷病者ほど短い間隔で定期的に監視し、また積極的にデータを収集する必要がある<sup>6)</sup>。

しかしトリアージネットワークは災害の規模が大きくなると、ネットワーク内に存在するセンサ端末が増加するため、センサ密度が高くなる。センサ密度が高くなると取り扱うデータ量も増え、トラフィック量が増加する。トラフィック量が増加すると帯域圧迫によ

<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

てデータ到着率が低下する。

そこで本稿はセンサ密度と搬送優先度に応じてデータ送信間隔を変更する手法DTaDP(Data Transmission Adapting to Density of Sensor and Priority of Transportation in Triage Network)を提案する。センサ密度が低いときは帯域に余裕があるため、全傷病者のデータを短い送信間隔で送信する。センサ密度が高いときは帯域圧迫の可能性が高くなるため、搬送優先度の低い傷病者のデータ送信間隔を長くする。データ送信間隔を長くすることでトラフィック量を抑制し、高センサ密度の際も高データ到着率を維持する。また搬送優先度の高い傷病者を常に短い間隔で監視し、積極的にデータ収集を行う。

提案方式を計算機シミュレータを用いて評価し、センサ密度が増加してもトラフィック量を抑制することでデータ到着率を維持していること、また搬送優先度が高い傷病者のデータを短い間隔かつ積極的に受信できることを示す。

## 2. トリアージネットワーク

本章では想定するトリアージネットワークについて述べる。トリアージネットワークとは、災害現場において傷病者に取り付けた電子トリアージタグを用いて、脈拍数、血中酸素濃度といった生体情報を自動的に収集するネットワークである。またトリアージネットワークを利用して傷病者の生体情報を自動的に収集するシステムをトリアージ支援システムと呼ぶ。図1にトリアージ支援システムの流れを示す。災害発生後、各傷病者は災害現場からトリアージポストと呼ばれる医療従事者が傷病者の状態を判断する場所に搬入される。傷病者は医療従事者からトリアージポスト内で電子トリアージタグを付与される。ここで医療従事者がタグに症状を入力し、搬送優先度の高い順に赤、黄、緑、黒と明示化される。電子トリアージタグは定期的に傷病者の生体情報をセンシングする。そして自身の生体情報、あるいは中継端末として他の生体情報を管理用サーバに向けて送信する。管理用サーバでは各ノードの詳細な生体情報が自動で一元管理されるため、多数の傷病者の状態をリアルタイムに把握できる。そして搬送優先度が最も高い赤タグの傷病者から順に医療機関へ搬送される。本稿では電子トリアージタグを付与された傷病者をノード、情報収集を行う管理用サーバをシンクと呼ぶ。

### 2.1 トリアージネットワークにおける要件

トリアージネットワークは一人でも多くの傷病者を救うことを目的としたネットワークであり、取り扱うデータは生体情報という極めて重要なものである。そのため、ネットワーク

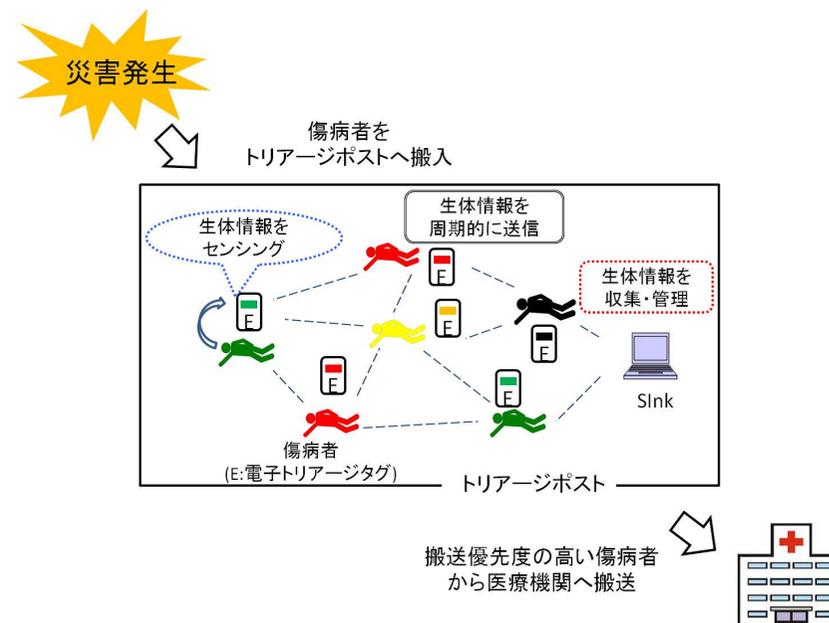


図1 トリアージ支援システム  
Fig.1 triage support system

全体においてデータの高到着率を維持する必要がある。また搬送優先度が高い傷病者ほど緊急での治療が必要となるため、搬送優先度が高いノードのデータほど重要性は高い(赤データ>黄データ>緑データ>黒データ)。従ってトリアージネットワークでは搬送優先度が高いノードほど短い間隔で監視し、そのデータを積極的に収集する必要がある。搬送優先度が低いノードほど短い間隔での監視と定期的なデータ収集の必要性は小さくなる。

### 2.2 既存方式と問題点

既存のデータ送信手法として、全ノードが同一間隔でデータ送信を行う CBR(Constant Bit Rate)<sup>7)8)</sup>が挙げられる。しかし CBR を用いた場合、全ノードが同一間隔でデータを送信するため、搬送優先度が高いノードの短い間隔での監視と積極的なデータ収集を行うことができない。また、トリアージ支援システムでは傷病者はトリアージポストへ順次搬入されるため、トリアージポスト内のセンサ密度が高くなる。センサ密度が高くなると取り扱う

表 1 シミュレーション条件  
Table 1 simulation condition

シミュレータ	Qualnet5.0
試行範囲	50m × 50m
ノード数	120
ノード搬入率	平均 30(sec/ノード)
搬入開始時刻	0(sec)
搬入終了時刻	3600(sec)

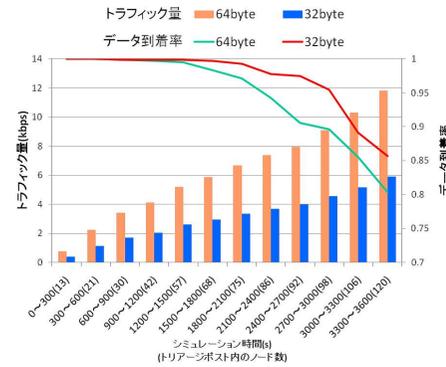
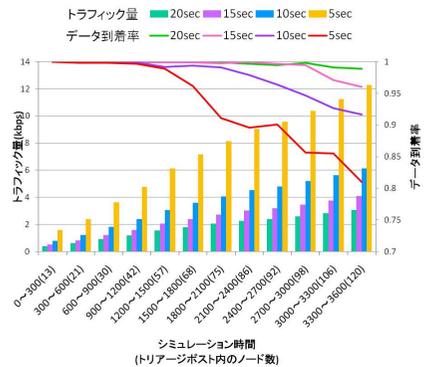


図 2 トラフィック量とデータ到着率 (送信間隔変更) 図 3 トラフィック量とデータ到着率 (データサイズ変更)  
Fig. 2 traffic rate and data arrival rate (transmission interval changed) Fig. 3 traffic rate and data arrival rate (data size changed)

データ量が増えるため、トラフィック量が増加し帯域圧迫が発生しやすくなる。

図 2, 図 3 に表 1 の条件の基で, CBR を用いた際のトラフィック量とデータ到着率の関係性を示す. 計算機シミュレータには Qualnet5.0<sup>9)</sup> を利用し, 120 個のノードが 3600(sec) かけてランダムにトリアージネットワークに参加するモデルでシミュレーションを行った. 図 2 はデータ送信間隔を 5, 10, 15, 20(sec) に, 図 3 はデータサイズを 32, 64 (byte) に変更し, それぞれ棒グラフはトラフィック量, 折れ線グラフはデータ到着率を表す.

図 2 から, どの送信間隔においてもトリアージポスト内のノード数, つまりセンサ密度が上昇するとトラフィック量が増加し, データ到着率が低下していることが分かる. また送信間隔を長くし, トラフィック量を抑制することでデータの high 到着率を維持できることが分

る. 同様に図 3 からデータサイズを小さくし, トラフィック量を抑制することでデータの high 到着率を維持できることがわかる. 従ってデータの high 到着率を維持するためにはトラフィック量を抑制することが有効とされる.

### 3. センサ密度と搬送優先度に応じたデータ送信手法 DTaDP

本章ではトリアージネットワークにおけるセンサ密度と搬送優先度に応じたデータ送信手法 DTaDP(Data Transmission Adapting to Density of Sensor and Priority of Transportation in Triage Network) を提案する.

#### 3.1 提案の概要

本提案はデータの high 到着率を維持し, また搬送優先度が高いノードの短い間隔での監視と積極的なデータ収集を目的としている.

トリアージネットワークではセンサ密度が高くなると取り扱うデータ量が増えるため, トラフィック量が増加する. そこで本提案ではセンサ密度に応じて各ノードが動的にデータ送信間隔を変更することでトラフィック量を抑制する. 具体的にはセンサ密度が低いときは帯域に余裕があるとみなし, 全ノードが短い送信間隔でデータを送信する. これにより全ノードを短い間隔で監視し, 全ノードのデータを積極的に収集する. しかしセンサ密度が高いときは, 帯域圧迫が起こる可能性が高くなるとみなし, 搬送優先度が低いノードが送信間隔を長くすることでデータ送信回数を少なくする. これによりセンサ密度が高い時のトラフィック量を抑制し, データの high 到着率を維持する. そして搬送優先度が高いノードの短い間隔での監視と, 積極的なデータ収集を行う.

本提案は以下の 2 つのパートに構成される.

- シンクによるトリアージポスト内の情報提供  
シンクがトリアージポスト内の情報を算出し各ノードへ提供
- 各ノードによるデータ送信間隔変更  
シンクが提供した情報を元にデータ送信間隔変更

#### 3.2 シンクによるトリアージポスト内の情報提供

提供する情報は「搬送優先度の最大値」と「センサ密度」の二つである. トリアージネットワークではトリアージポスト内に存在する全ノードがシンクに向けてデータを送信する. そのため, シンクはトリアージポスト内のセンサ密度と最優先するノードの色を把握することができる. トリアージポスト内の情報を管理しているシンクが, 一定間隔  $dt$  おきに搬送

優先度の最大値とセンサ密度を算出し、各ノードへブロードキャストする。これによって各ノードはトリアージポスト内の情報を把握することができる。

### 3.2.1 搬送優先度の最大値の算出

搬送優先度の最大値とはトリアージポスト内で最も優先すべき色を数値化した値である。搬送優先度に応じて各ノードに割り当てる値  $L_{color}$  を、それぞれ  $L_{red}, L_{yellow}, L_{green}, L_{black}$  とする。搬送優先度は赤ノード > 黄ノード > 緑ノード > 黒ノード > のため、 $L_{color}$  の値は  $L_{red} > L_{yellow} > L_{green} > L_{black}$  の順となる。仮に  $L_{red}, L_{yellow}, L_{green}, L_{black} = 4, 3, 2, 1$  とすると、ポスト内に赤、黄、緑、黒の全ての色ノードがいる時、 $L_{max}$  の値は  $L_{red} = 4$  となる。

### 3.2.2 センサ密度の算出

シンクは「時刻  $t$  のポスト内ノード数  $N_t$ 」と「トリアージポスト内の最大ノード数  $N_{max}$ 」をセンサ密度として算出する。センサ密度は本来センサの個数とセンサが分布される領域の面積によって定義される。しかしトリアージネットワークではトリアージポストという面積が一定の領域にネットワークが構築されるため、センサ密度はトリアージポスト内のノード数に依存する。またトリアージポストは立ち上げられた規模により搬入に対する許容ノード数は決定されるため、本稿では許容ノード数に  $N_{limit}$  というトリアージポストの面積に依存する定数を用いる。

ここでトリアージポスト内の最大ノード数  $N_{max}$  についてより詳しく説明する。トリアージネットワークではトリアージポスト内という一定範囲内でネットワークを想定しているため、センサ密度はノード数にのみ依存する。つまりトリアージポスト内のノード数が最大となる時に、センサ密度が最も高くなる。そこでセンサ密度が最大となる時のノード数を  $N_{max}$  とする。ブロードキャストで情報を受け取る各ノードは  $N_t$  と  $N_{max}$  を比較し、その結果を用いてデータ送信間隔を変更する。 $N_{max}$  は、トリアージポスト内の許容ノード数  $N_{limit}$  と時刻  $t$  までのトリアージポスト内の最大ノード数  $N_{premax}$  を用いて以下のように算出される。

$$N_{max} = \begin{cases} N_{limit} & (N_t > N_{t-dt}) \\ N_{premax} & (N_t \leq N_{t-dt}) \\ N_{limit} & (N_{premax} < N_t) \end{cases} \quad (1)$$

図4を用いて式(1)について説明する。トリアージ開始後、傷病者は順次トリアージポスト

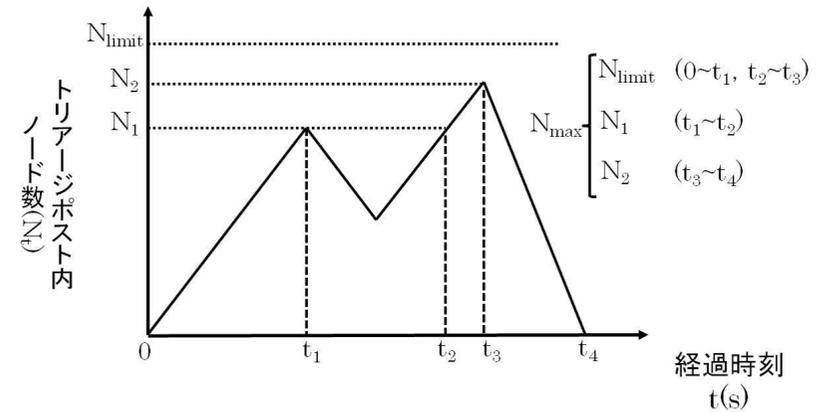


図4  $N_{max}$  の算出  
Fig. 4 calculation of  $N_{max}$

へ搬入されるので、トリアージポスト内のノード数は増加していく。この段階ではいつ傷病者の搬入が終了し、何人の傷病者が搬入されてくるか把握できないため、 $N_{max} = N_{limit}$  と予測する。そして時刻  $t_1$  において、ノードの搬送が開始されるため、時刻  $t_1$  以降は  $N_t > N_{t-dt}$  となる。従って  $N_{max} = N_{premax} = N_1$  と決定され、時刻  $t_1 \sim t_2$  の間は  $N_{max} = N_1$  を利用する。しかし時刻  $t_2$  において  $N_t > N_{premax}$  となるため、 $N_{max}$  の値が更新され、またいつ搬入が終了するか不明なため、 $N_{max} = N_{limit}$  と予測する。そして時刻  $t_3$  においてノードの搬送が開始されるため、 $N_{max} = N_{premax} = N_2$  と決定される。従って時刻  $t_3$  からノードの搬送が終了する時刻  $t_4$  まで  $N_{max} = N_2$  を利用する。

### 3.2.3 算出値のブロードキャスト

シンクは搬送優先度の最大値  $L_{max}$  とセンサ密度  $N_t, N_{max}$  を一定時間  $dt$  区間ごとに算出し、各ノードに向けてブロードキャストする。 $dt$  間隔で送信するのは傷病者の搬入や搬送によって刻々と変わるトリアージポストの情報を各ノードへ提供するためである。これにより、各ノードはその時々々のポスト内のセンサ密度や優先すべきノードの色を把握し、送信間隔変更のための情報を把握できる。本稿ではシンクが  $dt$  間隔で送信するパケットをブロードキャストパケットと呼ぶ。

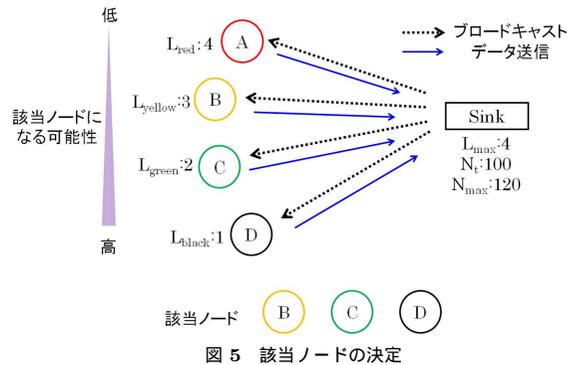


図 5 該当ノードの決定  
Fig. 5 determine node changing transmission interval

### 3.3 各ノードによるデータ送信間隔変更

各ノードはシンクからのブロードキャストパケットを基に、搬送優先度とセンサ密度に応じてデータ送信間隔を変更する。

#### 3.3.1 該当ノード決定

該当ノードとはデータ送信間隔を長く変更する候補となるノードである。図 5 はに該当ノード決定の例を示す。トライアージネットワークではネットワーク参加後、各ノードが初期送信間隔  $\alpha$  でセンシングしたデータをシンクに向けて送信する。そしてシンクからのブロードキャストパケットを受信した各ノードは、パケットに含まれている搬送優先度の最大値  $L_{max}$  と自身が搬送優先度に応じて保持する値  $L_{color}$  を比較し、 $L_{max} > L_{color}$  を満たすノードが該当ノードとなる。図 5 では  $L_{max} = L_{red} = 4$  となるため、該当ノードは黄、緑、黒ノードとなる。搬送優先度が高いノードほど  $L_{color}$  の値も大きくなるため、該当ノードになりにくく、データ送信間隔を初期送信間隔に維持しやすい。そのため、搬送優先度が高いノードを短い間隔で監視することができる。

#### 3.3.2 データ送信間隔変更

該当ノードは送信毎に初期送信間隔  $\alpha$  から確率  $P$  で送信間隔を長く変更する。この確率  $P$  を変更確率と呼び、式 (2) で表す。

表 2 利用間隔と推奨間隔  
Table 2 Using transmission interval and recommend transmission interval

	赤	黄	緑	黒
利用間隔	$\alpha$	$2\alpha$	$2\alpha, 3\alpha$	$2\alpha, 3\alpha, 4\alpha$
推奨間隔	$\alpha$	$2\alpha$	$3\alpha$	$4\alpha$

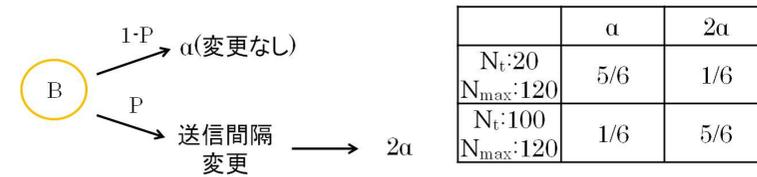


図 6 黄ノードのデータ送信間隔と変更確率  
Fig. 6 data transmission interval and the probability of change(yellow node)

$$\text{変更確率 } P = \frac{\text{時刻 } t \text{ のトライアージポスト内ノード数: } N_t}{\text{トライアージポスト内の最大ノード数: } N_{max}} \quad (2)$$

時刻  $t$  でトライアージポスト内のノード数が少ないとき、つまりセンサ密度が低いときは変更確率  $P$  が低くなり、初期送信間隔を維持する確率が高くなる。逆にトライアージポスト内のノード数が多いとき、つまりセンサ密度が高いときは、変更確率  $P$  が高くなるため、送信間隔を長く変更する確率が高くなる。

該当ノードの変更後の送信間隔は利用間隔の中から変更確率  $P$  を基に選択される。利用間隔とは、各ノードが搬送優先度に応じて変更後に利用する送信間隔のことである。また各ノードは利用間隔の中に、高センサ密度時に推奨される送信間隔である推奨間隔を持つ。表 2 に利用間隔と推奨間隔についてまとめる。表 2 から搬送優先度が高い順に推奨間隔が短くなっていることがわかる。これはセンサ密度が高い時も、搬送優先度が高いノードを短い間隔で監視し、そのデータを積極的に集めるためである。

図 6 を例にとり黄ノードのデータ送信間隔と変更確率について説明する。受信したブロードキャストパケットの中の  $N_t, N_{max}$  がそれぞれ 20, 120 であるとき該当ノードである黄ノードは確率  $P = 100/120 = 5/6$  で初期送信間隔  $\alpha$  を維持し、確率  $P = 20/120 = 1/6$  で送信間隔を変更する。黄ノードの利用間隔は  $2\alpha$  なので変更後の送信間隔は  $2\alpha$  となる。同様に、受信したブロードキャストパケットの中の  $N_t, N_{max}$  がそれぞれ 100, 120 のとき、

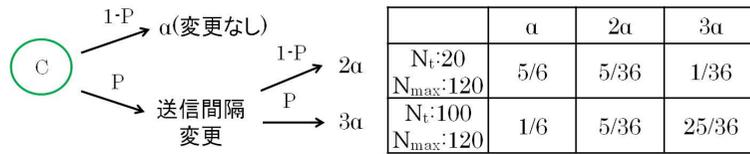


図7 緑ノードのデータ送信間隔と変更確率  
Fig.7 data transmission interval and the probability of change(green node)

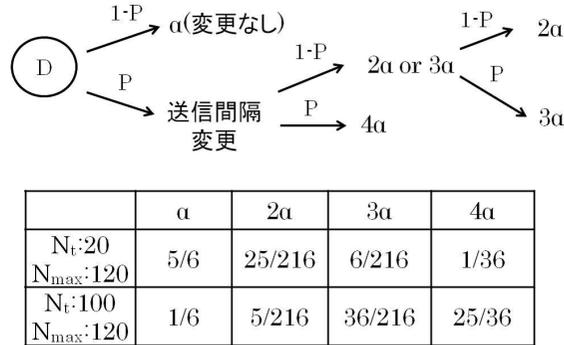


図8 黒ノードのデータ送信間隔と変更確率  
Fig.8 data transmission interval and the probability of change(black node)

黄ノードは確率  $P = 20/120 = 1/6$  で初期送信間隔  $\alpha$  を維持し、確率  $P = 100/120 = 5/6$  で  $2\alpha$  に変更する。このようにセンサ密度が低い時は初期送信間隔を維持する確率が高くなり、またセンサ密度が高い時は送信間隔を長くする確率が高くなる。

緑ノード、黒ノードは利用間隔が複数あるため、利用間隔の中から変更確率  $P$  に基づき送信間隔を選択する。緑ノード、黒ノードのデータ送信間隔と利用する確率について図7、8に示す。図7、8からセンサ密度が低いときは初期送信間隔を維持し、センサ密度が高くなるにつれて、推奨間隔を選択する確率が高くなることからわかる。推奨間隔は搬送優先度に基づいて決まるため、搬送優先度が高いノードほど推奨間隔は短くなる。従って搬送優先度が低いノードに比べて、搬送優先度が高いノードの方が変更後の送信間隔を短くする確率が高くなる。

このように、提案手法ではセンサ密度に応じて各ノードが送信間隔を動的に変更することによって、センサ密度が高い時もトラフィック量を抑制することができる。また変更後の送

信間隔は、搬送優先度が高いノードほど短い間隔になる確率が高くなるため、搬送優先度の高いノードほど短い間隔での監視を行うことができる。

#### 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。計算機シミュレータを用いて、提案手法 DTaDP を評価した。

##### 4.1 シミュレーション条件

表3にシミュレーションパラメータを示す。

表3 シミュレーション条件  
Table 3 simulation condition

シミュレータ	QualNet5.0	ノード配置	ランダム
試行範囲	50m × 50m	ノード数	80, 100, 120
ブロードキャスト間隔	300(sec)	許容ノード数 $L_{limit}$	150
初期送信間隔	5(sec/回)	ノード比率 (赤:黄:緑:黒)	1:1:1:1
ノード参加時刻	0(sec)	$L_{color}$ (赤, 黄, 緑, 黒)	4,3,2,1
搬入終了時刻	3600(sec)	ノード搬入率	ランダム
搬送開始時刻	7200(sec)	無線通信距離	30(m)
シミュレーション時間	10800(sec)	パケットサイズ	64(bytes)
シミュレーション回数	10(回)	mac 層	802.15.4

本提案はトリアージ支援システムに準拠し、列車事故のようなある特定の範囲に数百人規模の傷病者が発生し、その事故現場においてトリアージポストを設置し、トリアージを行う状況を想定している。50m × 50mの範囲でネットワークに存在するノード数を80から120まで変化させ、10回ずつシミュレーションを行った。各ノードはランダムにネットワークに参加し、一定時間後、搬送優先度が高いノードから順にネットワークから離脱するものとした。またセンサ端末には SunSPOT<sup>10)</sup> と呼ばれるセンサを用いるため、通信規格には ZigBee を用いる。比較対象はデータ送信間隔が 5(sec) の CBR とする。

評価項目としてはトラフィック量とデータ到着率、提案手法の各色ノードにおけるデータ送信間隔、シンクにおける各色別のデータ受信数を計測した。

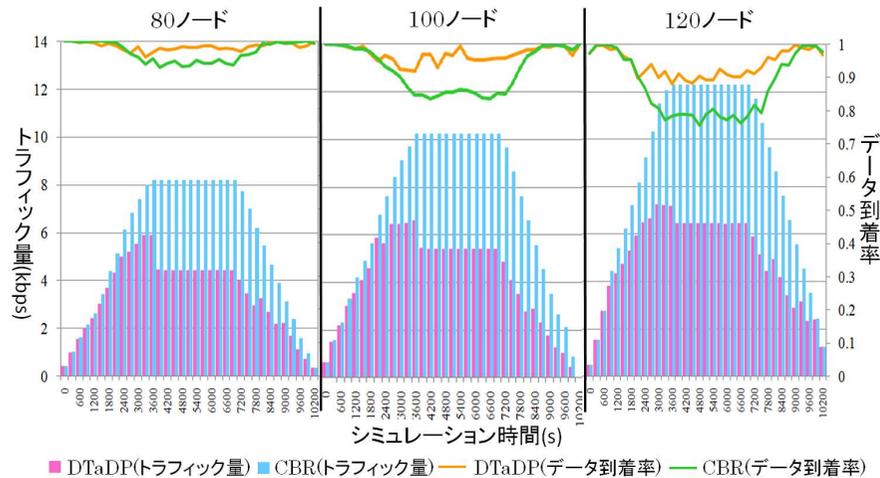


図9 トラフィック量とデータ到着率  
Fig.9 Traffic rate and packet arrival rate

#### 4.2 トラフィック量とデータ到着率

図9にトラフィック量とデータ到着率のグラフを示す．図9は横軸にシミュレーション時間，縦軸の第一軸にトラフィック量，第二軸にデータ到着率としている．

提案手法は CBR と比較してセンサ密度の増加に伴うトラフィック量の増加量を抑制できていることがわかる．これは CBR は一定間隔でデータを送信するため，ノードの搬入に伴いトリアージポスト内のセンサ密度が高くなると，トラフィック量が增大するのに対し，提案手法ではセンサ密度が上昇すると共に搬送優先度が低いノードがデータ送信間隔を長くするため，データ送信回数を抑制できるためだと考えられる．またデータ到着率においても CBR と比較して，センサが高密度の際にも，データの到着率を維持できていることがわかる．これは本提案がセンサ密度に応じてデータ送信間隔を変更することでトラフィック量を抑制しているためだと考えられる．

#### 4.3 各色ノードのデータ送信間隔

図10にノード数が120の際の，本提案の各色ノードのデータ送信間隔の変化を示す．図10は縦軸にシミュレーション時間とトリアージポスト内のノード数，横軸に各色ノードが

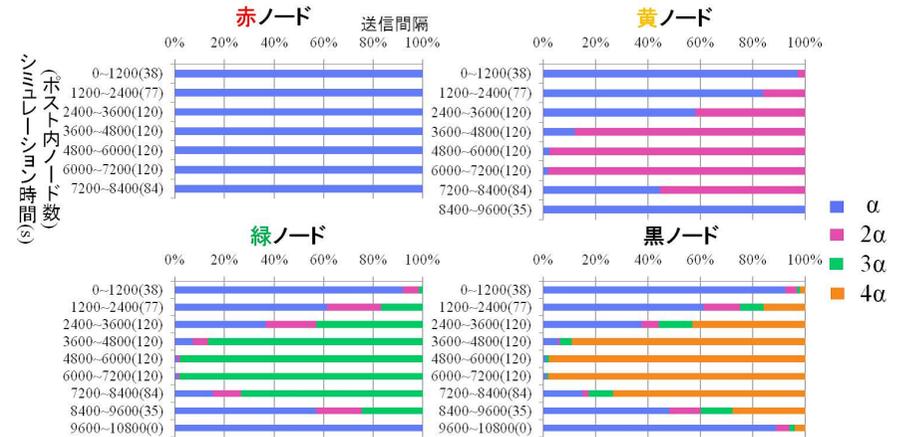


図10 DTaDPにおける各色ノードのデータ送信間隔 (ノード数 120)  
Fig.10 Transmission interval of each color node

利用したデータ送信間隔の割合を示している．黄，緑，黒ノードはそれぞれノードの搬入によってセンサ密度が高くなるとデータ送信間隔を長くし，ノードの搬送によってセンサ密度が低くなるとデータ送信間隔を短くしていることがわかる．このことから本提案がデータ送信間隔をセンサ密度に応じて変更できることがわかる．また図10のグラフを各色ノードごとに比較すると，搬送優先度が高いノードほど短い送信間隔を利用していることがわかる．これは搬送優先度に応じて利用する送信間隔が異なるためだと考えられる．以上のことから本提案が搬送優先度の高いノードほど短い間隔で監視できることがわかる．

#### 4.4 シンクにおける各色データ受信数

図11にノード数が120の際の，シンクにおける各色データの受信数を示す．図11は縦軸にシンクが受信した色別のデータ数，横軸にシミュレーション時間を示す．本提案は搬送優先度が高い赤，黄，緑，黒の順に積極的に受信し，CBRよりも多く赤データを受信していることがわかる，これは搬送優先度が最も高いノード以外がデータ送信間隔を長くすることでデータ送信回数を減らし，搬送優先度が高いノードに帯域を提供しているためであると考えられる．また赤ノードの搬送終了後は黄，緑，黒の順でデータを積極的に収集していることが分かる．これはトリアージポスト内で最も優先するデータが黄データに変わるため

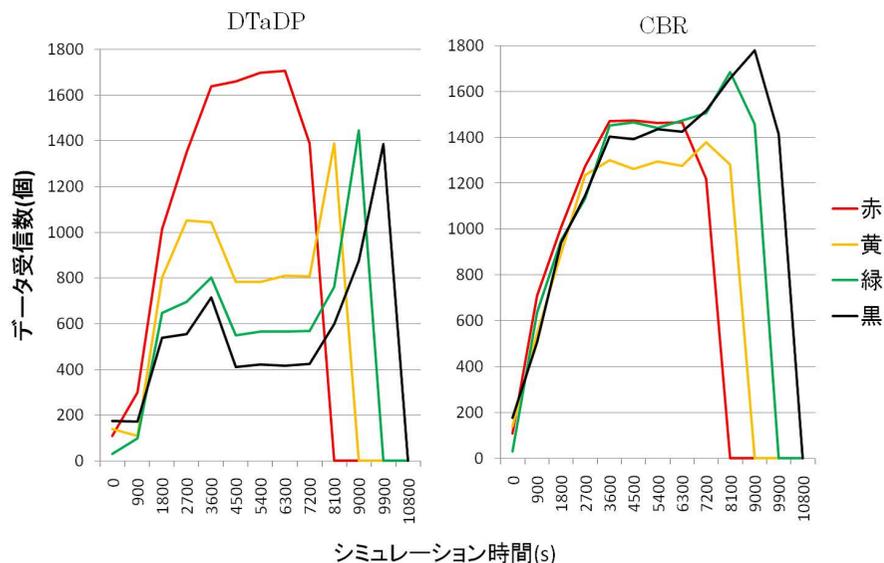


図 11 シンクにおける各色のデータ受信数 (ノード数 120)  
Fig. 11 Data for each color received

あると考えられる。以上のことから、本提案が常に最も搬送優先度の高いノードのデータを積極的に収集できることがわかる。

## 5. おわりに

トリアージネットワークでは傷病者の生体情報を取り扱うため、データの高到着率が必要とされる。またトリアージネットワークは一人でも多くの傷病者を救うことを目的としていることから、搬送優先度が高いノードほど短い間隔で監視し、積極的なデータ収集を行う必要がある。しかし傷病者の数が増えると取り扱うデータ量も増えるため、帯域圧迫によってデータ到着率が低下してしまう。この問題点に対し、本稿ではセンサ密度と搬送優先度に応じたデータ送信手法 DTaDP (Data Transmission Adapting to Density of Sensor and Priority of Transportation in Triage Network) を提案した。提案手法はセンサ密度が低いときは全ノードが短い間隔でデータ送信を行い、センサ密度が高い場合は搬送優先度が低いノードが送信間隔を長くする。従ってデータ送信回数を抑制し帯域圧迫によるデータ到着率

低下を防ぐことができる。そして搬送優先度の高いノードの短い間隔での監視と、積極的なデータ収集を行うことができる。

コンピュータシミュレータを用いて評価を行った結果、既存手法ではデータ到着率が 75 % まで低下するのに対し、提案手法はトラフィック量を抑えることで、90 % 程度に維持することができた。また搬送優先度の高いノードを短い送信間隔に維持することで、搬送優先度が低いノードと比べて短い間隔での監視と積極的なデータ収集を確認できた。

## 参考文献

- 1) 太田 宗夫 (編). 災害医療 EMERGENCY CARE. メディカ出版, 第 2007/01/09 版, 2007.
- 2) 高橋功, 玉川進. 消防職員のためのトリアージ. 東京法令出版, 2009.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 小林ひかる, 田村寛樹, 友澤弘充, 重野寛, 岡田謙一. パケット重要性に応じたパス多重度可変ルーティング. 情報処理学会論文誌, No. 1, pp. 165–174, 2011.
- 7) Noriaki Kamiyama and Victor O.K. Li. Renegotiated cbr transmission based on queue length of stb in ivod system. In *ICMCS'97*, pp. 12–19, 1997.
- 8) Chang, Ray-I and Chen, Meng Chang and Ho, Jan-Ming and Ko, Ming-Tat. Designing the ON-OFF CBR transmission schedule for jitter-free VBR media playback in real-time networks. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Real-Time Computing Systems and Applications*, Washington, DC, USA, 1997. IEEE Computer Society.
- 9) Qualnet, qualnet user manual. URL: <http://www.scalable-networks.com>.
- 10) Sunspotworld - home. URL: <http://www.sunspotworld.com/>.