

推薦論文

災害時救急救命支援に向けた 電子トリアージシステムの設計開発

木山 昇^{†1} 楠田 純子^{†1} 藤井 彩恵^{†1}
内山 彰^{†1,†2} 廣森 聡仁^{†1,†2} 梅津 高朗^{†1,†2}
中村 嘉隆^{†1,†2} 大出 靖将^{†3,†2} 田中 裕^{†3,†2}
山口 弘純^{†1,†2} 東野 輝夫^{†1,†2}

本論文では、大規模事故や災害時に発生する多数の傷病者の生体情報（バイタルサイン）をリアルタイムで一括監視し、現場での救命活動を支援する電子トリアージシステムの設計開発について述べる。本システムでは、IEEE802.15.4 および生体センサを備えたセンサノードを傷病者に装着し、それらの間でアドホックネットワークを構築する。これを介して傷病者の生体情報をリアルタイムに収集すると同時に、センサノード間の無線通信情報を基にノードの位置推定を行い、医療従事者に対して傷病者の病状と大まかな位置に関する情報を提供することで救命活動を支援する。開発したシステムを大学附属病院で実施されたトリアージ演習などで使用し、システムの有用性を確認するとともに今後の改良に向けた情報収集を行った。

An Advanced Electronic Triage System for Rescue Operations in Disasters

NOBORU KIYAMA,^{†1} JUNKO KUSUDA,^{†1} SAE FUJII,^{†1}
AKIRA UCHIYAMA,^{†1,†2} AKIHITO HIROMORI,^{†1,†2}
TAKAAKI UMEU,^{†1,†2} YOSHITAKA NAKAMURA,^{†1,†2}
YASUMASA OODE,^{†3,†2} HIROSHI TANAKA,^{†3,†2}
HIROZUMI YAMAGUCHI^{†1,†2} and TERUO HIGASHINO^{†1,†2}

In this paper, we consider situations where many persons are simultaneously injured in large accidents and disasters, and propose an advanced electronic

triage system called e-Triage for sensing physical condition of those injured persons and collecting the sensed data in IEEE802.15.4-based wireless ad-hoc networks. The e-Triage system presents dynamic change of injured persons' location and physical condition on monitors in real time. We have evaluated our system through a triage training held in a hospital. From the experimental results, we have confirmed the effectiveness of the e-Triage system and obtained feedback from doctors and nurses.

1. はじめに

近年、大事故や災害時の救急救命において、トリアージと呼ばれる救急救命方式が導入されつつある。トリアージとは、傷病者の脈拍や自発呼吸の状況（バイタルサイン）から重症度・緊急度を判断し、傷病者の治療および病院への搬送の優先度を決定する手法である。トリアージは医療資源や医療従事者が限られた環境下でできる限り多くの人命を救助することを目的としている。日本で実際にトリアージが実施された主な例としては、2005年の福知山線脱線事故、2008年の秋葉原無差別殺傷事件などがあげられるが、現場やその後の評価により様々な問題点が指摘されている。現行のトリアージでは、トリアージ・タグ（図1）と呼ばれる紙製のカードを傷病者に装着することで、その傷病者の搬送優先度を示す。しかしこの紙製のタグを用いたトリアージでは、(1) 時間経過にともなう傷病者の容態変化が把握できない、(2) 傷病者の搬送順序を迅速に決定できない、(3) 搬送の優先度が高い傷病者や医療従事者の位置が不明である、(4) 医療従事者間での情報共有が困難である、などの問題点があげられている^{1)–5)}。

我々はこれらの問題を解決するため、多数の傷病者のバイタルサインをリアルタイムで一括監視し、現場での救命活動を支援する電子トリアージシステムの研究開発を実施している^{6),7)}。本論文では電子トリアージシステムの設計開発、位置推定アルゴリズム、性能評価、ならびに医療従事者らとトリアージ訓練によるシステムの有用性評価などについて述べる。

†1 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

†2 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

Japan Science Technology and Agency, CREST

†3 順天堂大学医学部

Urayasu Hospital Emergency & Critical Care Center, Juntendo University

本論文の内容は2009年7月のマルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOMO2009)シンポジウムにて報告され、同プログラム委員長に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。



図 1 現行方式のトリアージタグ
Fig. 1 Triage tags in current practice.

本システムではアドホックネットワーク構築機能を有するセンサ端末を開発し、これを装着した傷病者のバイタルサインをアドホックネットワークにより現場に臨時に設置された災害対策本部のサーバへと集約する。集約した情報を分析・一括表示することで、傷病者の状況を一元的に管理することが可能となる。また、傷病者に関するデータを医療従事者が装備する専用の端末に配信することで、複数の医療従事者間での情報共有が可能となる。同時に、アドホックネットワークの無線通信情報を用いて傷病者や医療従事者の位置を推定し、現場全体の傷病者と医療従事者の位置関係を把握することで、災害対策本部から医療従事者に対して、傷病者の状況に合わせた適切な指示を出すことが可能となる。

2. 関連研究

米国では、アメリカ国立航空宇宙局 (NASA) やアメリカ合衆国連邦緊急事態管理庁 (FEMA), The National Library of Medicine (NLM) などのプロジェクトで、アドホックネットワークを用いたトリアージの IT 化や高度化に関する研究が進められている。たとえば、AID-N (Advanced Health and Disaster Aid Network) プロジェクト^{8),9)} では、医療向けセンサプラットフォーム CodeBlue^{10),11)} を利用してトリアージ・タグの情報を電子的に入力し、血圧・血中酸素濃度・心電図などのバイタルサインおよび GPS による位置情報を IEEE802.15.4 によるメッシュネットワーク経由で転送するシステムを制作している。転送されたデータはウェブシステムで公開され、携帯情報端末 (PDA) を持つ医療従事者は傷病者に関する情報を閲覧できる。また、Tech Specs プロジェクトでは WIISARD (Wireless Internet Information System for Medical Response in Disasters)¹²⁾ と呼ばれ

る災害時用のネットワークを IEEE802.11 で形成し、タグの電子化や傷病者の位置追跡などトリアージの高度化を図っている。

一方、国内でも情報通信研究機構 (NICT) が宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と共同で、衛星通信実験用の携帯端末を用いた情報伝達実験による防災アプリケーションの評価を行っている¹³⁾。また、文部科学省の「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」¹⁴⁾ では、レスキューロボットなどと連携して高度な防災インフラを構築するための試みがなされている。さらに総務省の「安心・安全な社会の実現に向けた情報通信技術のあり方に関する調査研究会」の最終報告書 (2007 年 3 月)¹⁵⁾ においても、大規模災害時に被災地の被害状況の把握やトリアージなどの救命救急活動を目的とした電子タグの活用が提言されている。文献 16) では、実際に IC タグを活用したトリアージの事例が報告されている。しかし、傷病者を発見するための位置推定技術については考慮されていない。無線 IC タグを対象とした位置推定法に関しては、たとえば文献 17) において、タグを格子状に配置した環境下での位置測位方式の研究が進められている。

このように、トリアージの電子化については国内外でいくつかの取り組みがなされているが、本論文は 2 種類の電子トリアージタグ (小型軽量版と完全機能版) ならびにバイタルサイン収集システムを救命救急診療科の医師らと連携して開発し、大学病院での演習や性能解析を通じた有用性検証ならびに課題発見の結果を述べた論文であり、きわめて重要な知見が得られていると考える。また Code Blue などの既存の取り組みでは、傷病者端末に GPS や超音波デバイスを搭載でき、超音波測距用の専用局を設置すれば屋内の位置推定も実行できるシステム構成となっている。一方で本論文では、傷病者端末の機能軽量化による長時間駆動や局設置コスト軽減など災害時に求められる要件を考慮し、バイタルサイン収集時に得られる通信ログのみを用いる専用の位置推定アルゴリズムを提供している点で大きく異なる。

3. トリアージの現状と課題

トリアージでは図 2 に示す START (Simple Triage And Rapid Treatment) 法と呼ばれる判定基準に基づき、まず傷病者の容態を重症度・緊急度に応じて 4 つのカテゴリに分類し、色分けされた紙のタグを傷病者に取り付ける (表 1)。

トリアージは効率良く救助を行うことを目的とした手法であるが、事故現場およびその後の実施評価から現行方式に対して以下の問題点が報告されている。

- (1) 傷病者の病状変化への対応

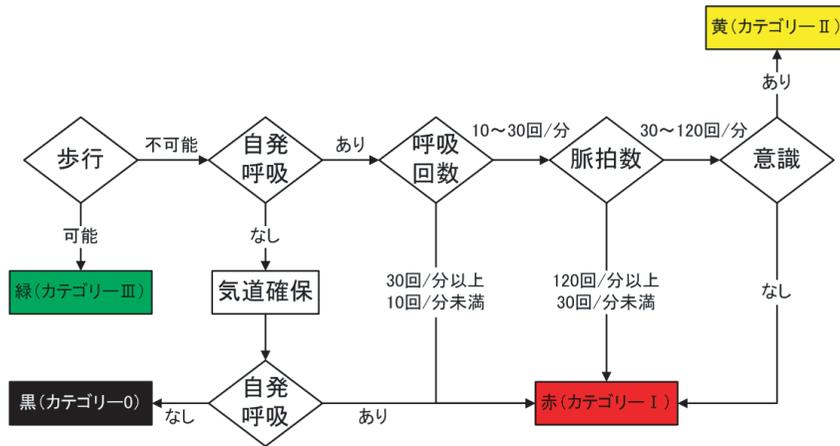


図 2 START 法による重症度決定
Fig. 2 Classification of severity by START method.

表 1 色, カテゴリ, 重症度および搬送優先度の対応表
Table 1 Categories in triage.

色	カテゴリ	重症度	優先度
赤	I	生命に関わる重篤な状態で、早急な処置が必要	高
黄	II	重篤な状態ではないが、早期な処置が必要	・
緑	III	救急での搬送の必要がない軽症	・
黒	0	死亡、もしくは現状の医療資源では救命不可能	低

現行方式では、傷病者の病状変化をリアルタイムに把握できないという問題点がある。強い打撲や圧迫を受けた場合は時間の経過とともに外傷性ショックやクラッシュ症候群による急激な病状の悪化の可能性があるため、トリアージ当初はカテゴリ III (緑) やカテゴリ II (黄) の判定を受けた傷病者が、至急の搬送ならびに措置を要する容態に急変する可能性がある。災害現場では医療従事者の人員不足などから、すべての傷病者の容態を継続的に監視することは難しい。

(2) 同カテゴリに属する傷病者の搬送順序の決定

カテゴリ I (赤) に分類された傷病者が目の前に多数いた場合、搬送順を医療従事者が瞬時に決定できないという問題点がある。赤に分類された傷病者のバイタルサインを比較する環

境も整っていない状況で、同カテゴリに属する傷病者の搬送順序を迅速に決定することは容易ではない。

(3) 傷病者および医療従事者の所在把握

現行方式では、傷病者および指示を受ける医療従事者の居場所の把握が困難である。空港など大規模災害が想定される場所にはカテゴリ別の仮設テントが準備され、傷病者の所在を容易に確認できる場合もあるが、密集している都市街区で大規模な事故が発生した場合などでは、傷病者の位置把握は容易ではない。

(4) 医療従事者間での情報伝達

災害時における医療従事者間での情報共有の難しさは多くの文献において強く主張されており^{1),5)}、災害時の現場救命救急において克服すべき重要な課題である。この原因は、災害発生時の日本の医療組織は複数の医療組織からアドホックに構成され、トップダウン式の組織構成ができないためと考えられる。

4. 電子トリアージシステムの全体設計

4.1 概要

電子トリアージシステムは表 2 に示す 4 つの機器から構成され、以下の 4 つの機能を持つ。

機能 1 傷病者のバイタルサインをリアルタイムにモニタリング

機能 2 傷病者および医療従事者の位置推定

機能 3 医療従事者および対策本部担当者への情報提供

機能 4 災害対策本部における傷病者および医療従事者の一元的管理

各機器は IEEE802.15.4 デバイスを備え、それら間でマルチホップメッシュネットワークをアドホックに構築する。このアドホックネットワークを介してバイタルサインを収集すると同時に、ネットワークポロジを利用した電子トリアージタグと医師端末の位置推定を行う。

電子トリアージシステムの概要を図 3 に示す。本システムでは、傷病者の発見から搬送までの次の 6 ステップにおいて、医療従事者、対策本部担当者に対する支援を行う。

(1) 現場にて医療従事者に発見された傷病者は、その場で応急処置を受けた後トリアージポストと呼ばれる初期トリアージ実施場所に搬送される。

(2) トリアージポストに搬送された傷病者は初期治療を受けた後、電子トリアージタグを着装しバイタルサインを基にカテゴリの分類を実施する(1次トリアージ)。電子トリアージタグにより取得したバイタルサインはアドホックネットワークを介して対策本部の情報

表 2 電子トリアージシステム構成機器
Table 2 Devices of electronic triage system.

機器名	利用対象者
電子トリアージタグ	傷病者
医療従事者専用端末 (医師端末)	医療従事者
情報管理サーバ	対策本部担当者
基地局 (アドホックネットワーク基地局)	—

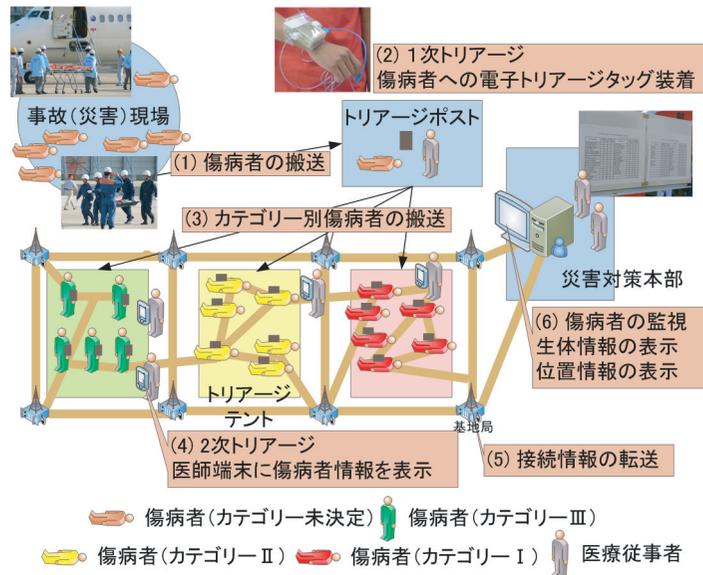


図 3 電子トリアージシステムを用いた救急救命活動
Fig. 3 The overview of electronic triage system.

管理サーバに転送され、一括管理される。

(3) トリアージにより自身のカテゴリが決定された傷病者は、対応するトリアージ Tent へと搬送される。Tent 内では医療従事者が応急処置を行いながら、同じカテゴリの傷病者に対する搬送優先度を医師端末に表示される全傷病者のバイタルサインを比較することで決定する (2 次トリアージ)。

(4) 電子トリアージタグは常時基地局を介してタグ間の無線リンクによる隣接関係情

報を災害対策本部の情報管理サーバに転送する。情報管理サーバは隣接関係情報を基に位置推定を実行し、サーバおよび医師端末のモニタに推定結果を表示する。

(5) 対策本部担当者や医療従事者は、情報管理サーバや医師端末のバイタルサイン表示機能により、処置が必要な傷病者を発見でき、同時に傷病者の位置も知ることができる。そのような傷病者を発見した場合には、すぐに医療従事者を派遣する。到着後、医療従事者は傷病者の取違いを防ぐために人体通信を利用し、傷病者のバイタルサインを再度確認するとともに、治療すべき傷病者であるかを確認し、治療を行う。

(6) 搬送車が到着次第、2 次トリアージによる搬送優先度の高い傷病者は病院へと搬送される。

これらの支援機能により、2 章で述べた (1) 傷病者の病状変化への対応 (2) 同カテゴリに属する傷病者間での詳細な搬送優先度決定 (3) 傷病者および医療従事者の所在把握 (4) 医療従事者間での情報伝達の問題を解決することができる。

4.2 電子トリアージ機器の説明

本システムで使用する機器間の情報の流れを図 4 に示す。以下では、各機器が所有する機能、およびその役割を説明する。

4.2.1 電子トリアージタグ

電子トリアージタグは、トリアージポストにおいて、傷病者 1 人ひとりに装着される機器である。傷病者のバイタルサインや位置を把握するために、電子トリアージタグはバイタルサインを取得する生体センサ、IEEE802.15.4 ネットワークノード、人体通信送受信機¹⁸⁾の 3 つの機器から構成される。この IEEE802.15.4 ネットワークノードは、SunSPOT¹⁹⁾を基に開発を行い、無線ネットワーク機能を備えたベース基板と、生体センサ、人体通信送受信機とのデータ通信をサポートする基板から構成されている。生体センサとしては、指先に装着可能な小型軽量型 (Light 型) と腕部に装着可能な完全型 (Full 型) の 2 種類があり、これらの生体センサと他の機器を組み合わせたととしても、装着した傷病者に負担がかからないサイズ (Light 型: 幅 11.7 cm 高さ 5 cm 奥行 2.3 cm, Full 型: 幅 10 cm 高さ 8.3 cm 奥行 2.9 cm) で開発を行っている。Light 型の生体センサは、脈拍数・血中酸素濃度^{*1}を取得可能であり、Full 型の生体センサは加えて呼吸数も取得可能である。また、Full 型はより詳細にバイタルサインを計測可能で脈波波形ならびに呼吸波波形も出力できる。傷病者の急なバイタルサインの変化にも即座に対応できるように、1 秒間隔で生体センサからバイタルサイン

*1 動脈中血液の酸素濃度を示す。動脈血酸素飽和度とも呼ばれる。

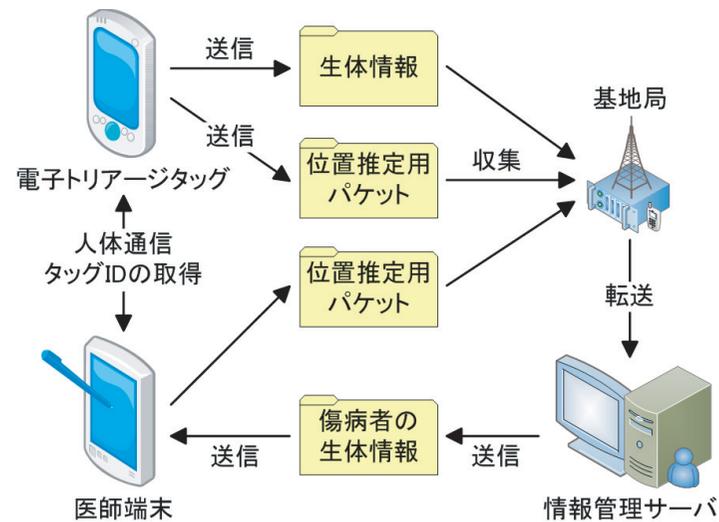


図4 電子トリアージ機器間のデータフロー
Fig. 4 Data flows among devices.

を取得する。

4.2.2 医療従事者専用端末（医師端末）

電子トリアージタグおよび情報管理サーバと情報をやりとりする医師端末は、IEEE802.15.4 ネットワークノード、IEEE802.11 ネットワークノード、人体通信送受信機、タッチパネル式モニタの4つの機器を組み合わせたノードである。本システムではIEEE802.11 とタッチパネル式モニタの機能を有する機器として iPod touch²⁰⁾ を利用した。IEEE802.15.4 ネットワークノードとしては、SunSPOT を利用している。人体通信送受信機に関しては、医療従事者の救命活動の妨げにならないよう、腕に取り付けるか首から下げることが可能なサイズ（幅6cm 高さ9cm 奥行2.5cm）での開発を行っている。

医療従事者は装着した医師端末を通して対策本部担当者の指示を受けることができる。その際、医療従事者自身が、病状が変化した傷病者のバイタルサインを見ることができるよう、医師端末からサーバシステムで管理される全傷病者のバイタルサインへアクセスする機能を持つ。

傷病者を治療する医療従事者は、容態に応じてカテゴリを変更する必要がある。そのた

め、医師端末は直接電子トリアージタグにアクセスし傷病者情報を変更する機能を持つ。また、傷病者が多数存在する環境では位置推定結果に信頼性がない場合もあるため、傷病者の取り違えを防ぐために医師端末は同様に直接電子トリアージタグにアクセスし傷病者の確認を行う人体通信機能²¹⁾を持つ。この機能により、医療従事者は傷病者に接触するだけで、IEEE802.15.4 経由で情報管理サーバに対して接触通知パケットが転送され、医師端末は情報管理サーバから IEEE802.11 経由で、接触した傷病者が装着する電子トリアージタグの識別 ID を受け取ることができる。

4.2.3 情報管理サーバ

傷病者および医療従事者に関する情報を一括管理するサーバは、IEEE802.15.4 ネットワークノード、IEEE802.11 ネットワークノードおよびモニタの3つの機器を組み合わせたものである。IEEE802.15.4 ネットワークノードとしては、SunSPOT を利用している。情報管理サーバは、災害対策本部に設置され、モニタ上に傷病者のバイタルサインをリアルタイムに表示するとともに、バイタルサインが閾値を下回った傷病者を赤く表示し、警告音を発生する機能を持つ。また、電子トリアージタグを装着した傷病者や医師端末を持った医療従事者の位置を特定するための位置推定を行う。この位置推定によって得られた傷病者や医療従事者の位置情報もモニタ上に地図と組み合わせて表示され、対策本部担当者は、容態が急変した傷病者に対し即座に対応することができる。さらに、傷病者の搬出先である病院・救急救命センターでも傷病者の状態を確認できるように、ウェブサーバ機能を有しており、IEEE802.11 ネットワークノードを介し、様々な場所からアクセスできるようになっている。

5. 位置推定手法

5.1 概要

一般に無線通信を用いた位置推定手法では、あらかじめ位置が分かっている基準ノード（ランドマーク）と推定対象となるノード間の地理関係（距離や角度）を計測することで位置を推定する。計測には大別して超音波や指向性アンテナなどの特殊な測定デバイスを用いる手法^{22),23)}と、IEEE802.11 などの無線通信用デバイスをそのまま用いる手法^{24)–28)}が存在する。特殊なデバイスを用いる場合は高い精度が得られるが高コストである。また、電子トリアージシステムでは電子タグが小型でなければならないという制約から、生体情報の収集に必要な無線通信デバイスをそのまま応用した位置推定手法が望ましい。

無線通信デバイスのみでも、電波強度などを用いてある程度の測距は可能であるが、電波強度は反射や回折などの影響を受けやすく不安定であり、正確な距離を測ることは難しい。

しかし、電波強度が一定以上の場合に端末間の距離は少なくとも最大無線到達距離より短いと見なす緩やかな制約として電波強度を利用する場合、電波強度の不安定性を緩和できるため、比較的安定した位置推定結果を得ることができると考えられる。提案手法では電波強度が一定以上であることを、端末間のパケット転送の成否（端末間の接続関係）から判定する。これにより、バイタルサインの収集に必要なルーティングプロトコルのビーコンなどを用いて隣接ノードテーブルを定期的に更新するだけで、電波強度を測定するためのプログラムを実行することなく位置推定が可能となる。

これまでに端末間の接続関係を利用した位置推定法がいくつか提案されており、分散型と集中型に大別できる。分散型アルゴリズムは各端末が得られた周辺情報を基に各自の位置を推定する。たとえば MCL²⁴⁾ では、各移動ノードが存在している可能性のある範囲（存在範囲）を保持し、ランドマークと遭遇した場合にはランドマークの位置情報を基に自身の存在範囲を更新する。また、UPL²⁵⁾ ではランドマーク以外の存在範囲および障害物情報を利用することにより、精度を向上させる。一方、本電子トリアージシステムでの位置情報の利用目的は、対策本部における全ノードの位置把握、および急変患者の通知などの必要時における医師端末での特定ノードの位置表示である。このような要求に対して低コストで高精度な位置推定を実現するため、集中型アルゴリズムでの設計を行う。集中型アルゴリズムは全端末間の接続関係をサーバに集約して位置を推定するため、分散型アルゴリズムよりも利用する情報が多く一般に推定精度は高い。文献 27) では多次元尺度構成法 (MDS: Multi Dimensional Scaling) を用いて各端末の相対的な位置を導出する。TRACKIE²⁸⁾ では、ランドマーク間を直線的に移動したノードを推定し、その推定移動軌跡を基に他のノードの移動軌跡を推定する。TRACKIE はランドマーク間が直線で結ばれていることを想定しているため、障害物などが存在する状況では精度が低下する可能性があり、またある程度の時間接続情報を蓄積しないと推定ができないなど、推定の即時性に欠ける。

提案手法では時間をタイムスロットに分割し、各タイムスロットにおける他ノードとのパケット転送の成否および直前のタイムスロットでの推定位置からの移動可能な範囲を現在位置に対する制約として与え、現在位置を絞り込む。しかし、これらの制約に矛盾しないようにすべてのノードの推定位置を短時間で導出することは困難である。そこで提案手法では、制約の矛盾をできるだけ少なくするヒューリスティックアルゴリズムを採用している。具体的には、線形補完で導出した初期推定位置に対して、通信したにもかかわらず通信半径内に存在しないノードのペアに対して引力を、通信していないにもかかわらず通信半径内に存在するノードのペアに対して斥力を働かせる。また、連続するタイムスロットにおける推定位

表 3 記号と意味
Table 3 Notations.

R	ノードの最大無線到達距離
V	ノードの最大移動速度
$\phi_u^{[k]}$	ノード u の k 番目のタイムスロット
$p_u^{[k]}$	ノード u の $\phi_u^{[k]}$ における推定位置
$P_u^{[k,k']}$	ノード u の $p_u^{[k]}$ から $p_u^{[k']}$ までの推定移動軌跡
$N_u^{[k]}$	ノード u の $\phi_u^{[k]}$ における隣接ノード情報テーブル
$D(p_u^{[k]}, p_v^{[k]})$	$(p_u^{[k]}$ と $p_v^{[k]})$ 間の距離

置間の距離が 1 タイムスロットで移動可能な最大距離よりも遠い場合はこれらの推定位置の組に対して引力を働かせる。全ノードに対して引力・斥力に従う位置補正を一定回数繰り返して適用することで、制約がなるべく満たされるノードの推定位置を導出する。

5.2 各ノードの基本動作

以降の説明で用いる主な記号と意味を表 3 に示す。ノードの最大無線到達距離 R と最大移動速度 V は分かるものとする。時間を長さ T のタイムスロットに分割し、1 タイムスロットごとに情報管理サーバは位置推定アルゴリズムを実行する。ここで、T の値はすべてのノードで共通であるものとする。以降、ノード u の k 番目のタイムスロットを $\phi_u^{[k]}$ で表す。 $p_u^{[k]}$ をノード u の $\phi_u^{[k]}$ における推定位置とし、 $P_u^{[k,k']}$ をノード u の $p_u^{[k]}$ から $p_u^{[k']}$ までの推定移動軌跡とする ($k \leq k'$)。すなわち、 $P_u^{[k,k']}$ は推定位置の並び $p_u^{[k]}, p_u^{[k+1]}, \dots, p_u^{[k']}$ を表す。各ランドマークおよびノード u は Hello パケットを 1 タイムスロットごとに 1 回、直接通信可能なノード（以下、隣接ノードと呼ぶ）に対しブロードキャストする。これにより、各ノードは自身の隣接ノード情報を入手できる。ノード u が $\phi_u^{[k]}$ に送信した Hello パケットには、ノード u の固有 ID および Hello パケット送信時刻 t が含まれる。各ノード u は受信した Hello パケットを基に隣接ノード情報テーブル $N_u^{[k]}$ を生成する。隣接ノード情報テーブルは 1 タイムスロットごとに 1 回、情報管理サーバに転送される。

5.3 位置の推定および軌跡の更新

サーバは各ノード u から受信した隣接ノード情報テーブル $N_u^{[k]}$ を基に、全ノードの位置推定および推定移動軌跡の修正を行う。位置推定は (1) 現在位置の推定 (2) 通信および移動制約に基づく推定移動軌跡の修正の順に行われる。

(1) 現在位置の推定 ノード u の現在のタイムスロットを $\phi_u^{[n]}$ とする。 $p_u^{[n]}$ の推定は、直近の W 以内 (W はある自然数とする) の各タイムスロット $\phi_u^{[n-k]}$ において、 $p_u^{[n-k]} - p_u^{[n-(k+1)]}$ で定義されるベクトル、すなわち各タイムスロット間での移動ベクトル

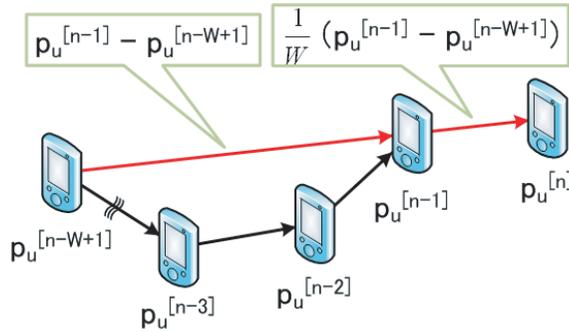


図 5 現在位置の推定
Fig. 5 Estimation of current position.

を求め、前時刻の推定位置である $p_u^{[n-1]}$ にそれらの平均を加えることによって求める。すなわち、現在の推定位置 $p_u^{[n]}$ は以下の式により決定される (図 5)。

$$\begin{aligned} p_u^{[n]} &= p_u^{[n-1]} + \frac{1}{W} \sum_{k=1}^W (p_u^{[n-k]} - p_u^{[n-(k+1)]}) \\ &= p_u^{[n-1]} + \frac{1}{W} (p_u^{[n-1]} - p_u^{[n-(W+1)]}) \end{aligned} \quad (1)$$

(2) 軌跡の更新 次に、隣接ノード情報テーブル $N_u^{[n]}$ に含まれる隣接ノードおよび隣接ノード情報テーブルから求められる非隣接ノードとそれらの推定移動軌跡を用いて、直近の L 個のタイムスロットにおける推定移動軌跡 $P_u^{[n-(L-1),n]}$ を更新する。推移移動軌跡の更新には、同時刻における 2 ノード間の位置関係または同じノードにおける前後の時刻間の位置関係を規定する下記の 3 種類の制約を用いる (図 6)。

- 通信制約 (positive radio-range constraint) は任意のタイムスロット $\phi_u^{[k]}$ とノード v に対し、 $\phi_u^{[k]}$ においてノード v がノード u の隣接ノードであった場合、2 ノードの推定位置 $p_u^{[k]}$ と $p_v^{[k]}$ 間の距離 $D(p_u^{[k]}, p_v^{[k]})$ は無線到達距離 R 以内でなければならないことを表す (ただし、 $\phi_u^{[k]} - \phi_v^{[k]} \leq 1$)。

- 非通信制約 (negative radio-range constraint) は任意のタイムスロット $\phi_u^{[k]}$ とノード v に対し、 $\phi_u^{[k]}$ においてノード v がノード u の非隣接ノードであった場合、 $p_u^{[k]}$ と $p_v^{[k]}$ 間の距離 $D(p_u^{[k]}, p_v^{[k]})$ は無線到達距離 R よりも大きくななければならないことを表す (ただし、

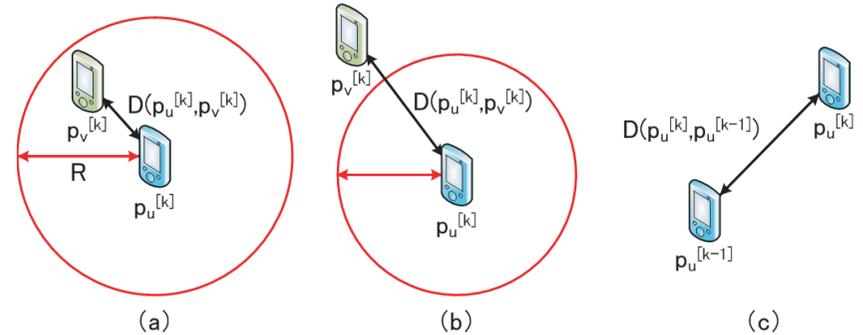


図 6 (a) 通信制約, (b) 非通信制約, (c) 移動制約
Fig. 6 (a) positive radio-range constraint, (b) negative radio-range constraint, (c) movable-range constraint.

$\phi_u^{[k]} - \phi_v^{[k]} \leq 1$).

- 移動制約 (movable-range constraint) は任意のタイムスロット $\phi_u^{[k]}$ において、 $p_u^{[k]}$ と $p_u^{[k-1]}$ 間の距離 $D(p_u^{[k]}, p_u^{[k-1]})$ は時間 T 内にノードが移動できる最大距離 $V \cdot T$ 以内でなければならないことを表す。

ノードの位置は上記の 3 つの制約により時間的、空間的に相互に関係するため、あるタイムスロットにおける位置の更新が異なるタイムスロットの位置に対する制約を満たさなくなる可能性がある。これらすべての制約を満足する位置を決定する必要があるが、隣接ノードや非隣接ノードの位置情報は正確ではない可能性があるため、それらの位置を基準とした制約をすべて満足する位置が必ず存在するとは限らない。存在する場合でも、そのような位置をどのように発見するかが問題となる。本アルゴリズムでは、現時点での推定位置と、制約を満たす位置との距離に応じた大きさのベクトルを定義し、すべての制約に対するそれらのベクトルの線形和を現時点での推定位置に加えることで、より制約を満たす新しい推定位置に修正する。すなわち各ノード u について、通信制約に反するノード x が存在した場合は $p\vec{o}s = p_x^{[k]} - p_u^{[k]}$ を、非通信制約に反するノード y が存在した場合は $n\vec{e}g = p_u^{[k]} - p_y^{[k]}$ を、移動制約に反する連続するタイムスロット $\phi_u^{[k-1]}$ 、 $\phi_u^{[k]}$ が存在した場合は $m\vec{o}v = p_u^{[k-1]} - p_u^{[k]}$ を算出し、位置修正ベクトル $\vec{a}dj$ を

$$\vec{a}dj = \frac{K_{pos} \sum^x p\vec{o}s + K_{neg} \sum^y n\vec{e}g + K_{mov} m\vec{o}v}{cn} \quad (2)$$

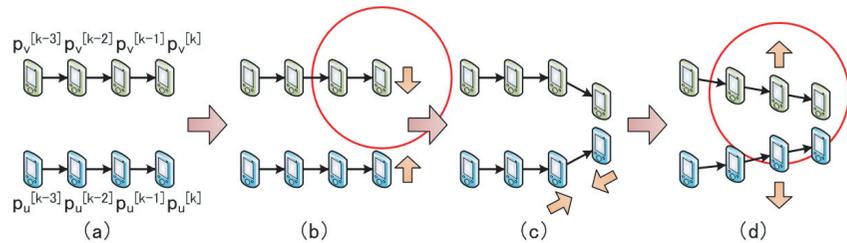


図 7 位置推定アルゴリズムの動作例
Fig. 7 Example of localization process.

により算出したうえで、現在の推定位置 $p_u^{[k]}$ に加える。ただし、 cn は制約に反したノード数であり、 K_{pos} 、 K_{neg} 、 K_{mov} は定数である。 K_{pos} 、 K_{neg} 、 K_{mov} の数値を変化させることでどの制約に重きをおくかを調整する。これを直近の L 個のタイムスロットにおける推定移動軌跡の各点に順次繰り返し適用することで、すべてのノードの移動軌跡を制約を満たすよう徐々に修正する。

簡単なアルゴリズム動作例を説明する。図 7 は 2 つのノード u, v の推定移動軌跡 $P_u^{[k-3,k]}$ 、 $P_v^{[k-3,k]}$ の変化の様子を示している。ノード u, v は k 番目のタイムスロット $\phi_u^{[k]}$ 、 $\phi_v^{[k]}$ において初めてお互いに隣接ノードと認識したものとす。ノード u は各制約による修正を繰り返し実行することで $P_u^{[k-3,k]}$ が修正される。まず、過去の移動速度を基に、現在の推定位置 $p_u^{[k]}$ が推定される (図 7(a))。次に、ノード u は $\phi_u^{[k]}$ にノード v から受信した Hello パケットによって得られる通信制約を基に、 $p_v^{[k]}$ に近づくよう $p_u^{[k]}$ を修正する (図 7(b))。修正によって移動制約が破られた場合、移動制約を満たすため $p_u^{[k-1]}$ に近づくよう $p_u^{[k]}$ を修正する (図 7(c))。修正によって $p_u^{[k-1]}$ および $p_v^{[k-1]}$ の非通信制約が破られた場合、非通信制約を満たすため、 $p_v^{[k-1]}$ から遠ざかるよう $p_u^{[k-1]}$ を修正する (図 7(d))。

6. システム性能評価

6.1 通信トラフィック

本システムでは様々なパケットを複数の機器間で送受信する。IEEE802.15.4 における MAC 層でのパケットヘッダは合計 15 byte であり、自身のノード ID (IP アドレス) として 8 byte、送信時刻 (long 型) として 8 byte 利用するため、Hello パケットの場合、1 パケットあたり $15 + 8 + 8 = 31$ byte となる。次節で述べるとおり、タイムスロット $T = 1.0$ s と

表 4 各端末の利用転送レート

Table 4 Data transmission rate of devices.

電子トリアージタグ	利用転送レート
Hello パケット	$15 + 8 + 8 = 31$ (byte/s)
バイタルサイン	34 or 255 (byte/s)
隣接ノード情報	$31 + (8 + 8) * n$ (byte/s)
合計	$98 + 16n$ (byte/s) or $317 + 16n$ (byte/s)

医師端末	利用転送レート
Hello パケット	$15 + 8 + 8 = 31$ (byte/s)
隣接ノード情報	$31 + (8 + 8) * n$ (byte/s)
人体通信成功通知	26 (byte/s)
合計	$88 + 16n$ (byte/s)

定義するため、Hello パケットの利用転送レートは 31 byte/s となる。また、他のパケットのサイズは表 4 に示すとおりである。隣接ノード情報のデータサイズは隣接ノード数 n に依存して変化する。またバイタルサインの転送レートは、1 秒おきに心拍数、脈拍数、 SpO_2 を転送する場合は 34 byte/s、加えて呼吸波・脈波を転送する際には 255 byte/s となる。

ZigBee の最大転送速度は 250 Kbps (理論値) であり、隣接ノード数の平均を 8 とし、指先装着型 (Light 型) 80 台、腕部装着型 (Full 型) 20 台、医師端末 20 台が存在する環境においても、理論上全ノード間の通信は可能である。実測値をふまえた場合の利用可能台数の最大値は理論値よりかなり減少すると考えられるが、相当数の台数を運用できると考えられる。また、後の 7 章で示す実環境実験では 10 台の電子トリアージタグ、2 台の医師端末、1 台の情報管理サーバシステムおよび 9 台の基地局を配備した状況下で実験を行った。この際、バイタルサインパケットなどが欠落するという事態はほとんど発生していないことを確認している。

6.2 位置推定精度

位置推定アルゴリズムの性能を評価するため、MobiREAL²⁹⁾ を利用して災害現場の傷病者の移動の流れ (モビリティ) を再現した。シミュレーションでは図 3 で示した傷病者の動きを基に、傷病者がトリアージ間を移動するモビリティを用いた。シミュレーション環境および位置推定アルゴリズムにおけるパラメータ設定は表 5 に示すとおりである。

結果を図 8 に示す。最大電波到達距離に応じて精度が変化するものの、TRADE ではおよそ 2 m ~ 3 m の誤差で位置を推定できることが分かる。最大電波到達距離が 5 m の場合では通信制約が少ないため位置推定結果の精度が悪化する。

表 5 シミュレーション環境
Table 5 Simulation environment.

フィールド範囲	30 (m) × 50 (m)
ノード数	60
ノードモビリティ	Random Way Point
ノードの移動速度	0.25 ~ 0.5 (m/s)
シミュレーション時間	600 (s)
タイムスロット T	1.0 (s)
W, L	10
$K_{pos}, K_{neg}, K_{mov}$	0.2

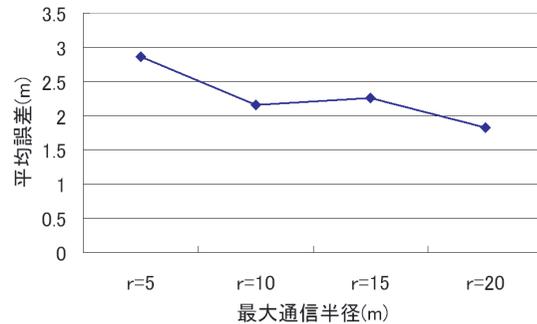


図 8 位置推定アルゴリズムによる推定誤差
Fig. 8 Errors of estimated positions.

電子トリアージシステムに要求される位置推定精度は、端末密度が高い状況でも数人程度まで対象となるノードが絞り込める程度であり、約 2 m の誤差であれば十分実現可能であると考えられる。対象を絞り込んだ後、人体通信機能を用いて電子タグの ID を取得することで、最終的な傷病者の特定は可能である。一方、消費電力の観点からは一般に要求される位置推定精度を満たす範囲でできる限り消費電力の電波到達距離を設定することが求められる。一般に電波到達距離が長いほど通信に電力を消費するため、シミュレーションを行った環境では無線電波強度を 10 m 程度に設定することが適当と考えられる。

7. 災害訓練での実験

本章では、提案システムの開発の流れおよび病院での集団災害時対応訓練で実施した実験内容について述べる。訓練は平成 20 年 9 月 7 日および平成 21 年 9 月 6 日に順天堂大学医

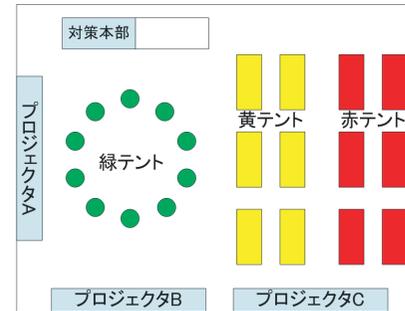


図 9 訓練配置図
Fig. 9 Layout of training.



図 10 訓練風景
Fig. 10 Scene of training.

学部附属浦安病院で実施し、提案する電子トリアージシステムを用いた場合の災害時対応訓練やシステムの検証、およびシステム使用側と開発側の意見交換を行った。以下では、各々の訓練内容および医療従事者から得られた意見や改良点について述べる。

7.1 訓練内容

参加者は医師・看護師などの訓練参加者約 25 名とシステム開発プロジェクト開発関係者約 15 名の合計約 40 名である。本訓練は大規模事故・災害発生時のトリアージ現場を想定し、対策本部と 2 次トリアージテントを配置し、2 次トリアージテント内に START 法による判定を受けた傷病者と応急処置を行う医療従事者がいる状況を再現した。図 9 に対策本部および 2 次トリアージテントの配置図を、図 10 に訓練風景を示す。

図 9 のように、本訓練ではカテゴリ I (赤) およびカテゴリ II (黄) の判定を受けた傷病者は各カテゴリに対応した 2 次トリアージテントに横たわっており、カテゴリ III (緑) の判定を受けた傷病者は椅子に座って待機している。電子トリアージタグ (図 11, 図 12) の装着対象は、カテゴリ I (赤) およびカテゴリ II (黄) の判定を受けた傷病者各 6 名のうちそれぞれ 4 名ずつに、カテゴリ III (緑) の判定を受けた傷病者 10 名のうち 2 名とした。電子トリアージタグにて取得されたバイタルサインは、アドホックネットワークにより対策本部に設置された情報管理サーバへと転送され、プロジェクタ B とプロジェクタ C に傷病者名とともに表示する。図 13 および図 14 に示すとおり、医師端末および情報管理サーバには傷病者のバイタルサインを一括表示するだけでなく、特定の傷病者を選択することでバイタルサインの時刻変化を確認することができる。また、医師端末では医療従事者が触れている傷病者を人体通信機能により自動的に把握し、その傷病者をハイライト表示させるこ



図 11 指先装着型タグ (Light)

Fig. 11 Electronic triage tag “Light” for fingertip.

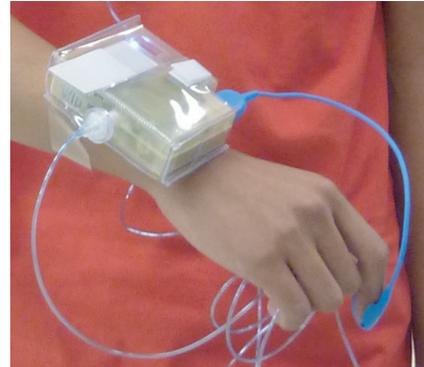


図 12 腕部装着型タグ (Full)

Fig. 12 Electronic triage tag “Full” for arm.



図 13 医師端末画面

Fig. 13 Doctors' view.

とができる (図 13)。対策本部では、図 14 に示す画面を確認しながら担当者が傷病者のバイタルサインを監視し、バイタルサインの急な変化に基づいて医療従事者に指示を出す。

救急救命センターの医師との協議のうえで、傷病者の容態を急変させる 6 つのシナリオを準備し、これらのシナリオに基づき訓練を実施した。症例の 1 つを表 6 に示す。この症例

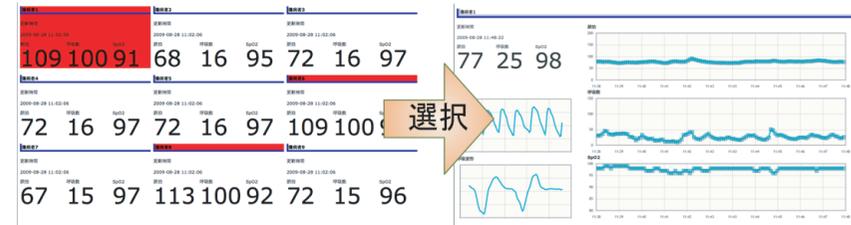


図 14 情報管理サーバ画面

Fig. 14 Screen shot of information management sever.

表 6 訓練用の症例

Table 6 An example case for training.

症例 1	落ちてきた看板が頭に当たった (硬膜外血腫)	
症状	側頭部裂創, 頭部から外出血あり	
バイタルサイン	容態変化前	容態変化後
カテゴリ	カテゴリ II (黄)	カテゴリ I (赤)
意識レベル	呼びかけで開眼	呼びかけで開眼せず
脈拍	60 回/分	45 回/分
呼吸	12 回/分	4 回/分
血中酸素濃度	98%	88%

では硬膜外血腫の症例を再現しており、時間変化にともなうバイタルサインの数値変化を細かく設定している。訓練では、これらのシナリオに定められたバイタルサインの変化をあらかじめ電子トリアージタグにプログラムし、装着した傷病者の脈拍や血中酸素濃度の低下を意図的に発生させた。訓練では以下の 4 ステップが症例ごとに繰り返し行われた。

- (1) 対象とするシナリオに定められたバイタルサインの変化を、ある傷病者の電子トリアージタグにおいて再現する。
- (2) 対策本部では、情報管理サーバのモニタ上で傷病者のバイタルサインを監視し、傷病者の異常を発見する。位置推定結果を基に、最も適切な医療従事者を選択し、その傷病者のもとへ急行するよう指示する。
- (3) 指示を受けた医療従事者は医師端末を用いて傷病者のバイタルサインおよび位置推定結果を参照する。確認後、医療従事者は指示された傷病者のもとへ急行し、位置推定の誤差による傷病者の入れ違えがないか人体通信を用いて確認する。
- (4) 医療従事者は傷病者に適切な処置を行う。処置終了後、対策本部担当者に処置終了の

旨を通知し、対策本部担当者は情報管理サーバのモニタ上で傷病者のバイタルサインが平常値に戻ったことを確認する。

7.2 訓練結果

訓練後、訓練参加者や見学者、開発者の間で意見交換を行った。その結果、病院関係者、救命活動関係者からは以下の意見が得られた。

- 非常に小型であり、傷病者の負担にならない。
- 紙製のタグの場合では STRAT 法による判定結果を傷病の軽いカテゴリに変更できないが、電子タグであれば可能である。
- 緑などの判定を受けた自力で動ける傷病者の場合は、医療従事者の治療を求めて勝手に紙のタグを千切ってしまう可能性があるが、電子タグなら回避できる。
- 医師端末で傷病者の状況をどこにいても確認できるため、迅速な判断が可能である。
- バイタルサインの時刻変化を確認できるため、症状を把握しやすい。
- 大規模事故・大規模災害現場以外の状況下、たとえば平時の緊急外来の場でも有用である。

しかし、同様に提案するシステムの問題点として次のものがあげられた。

(1) 電子トリアージタグの問題点

- 電子トリアージタグに一目で処置の必要な傷病者と分かる仕組み (LED やブザーによる警告) が必要である。
- 応急処置が完了した傷病者から情報管理サーバに対して自動的に応急処置完了の旨を伝達する機能が必要である。
- 出血している傷病者への取り付けが想定されるため、耐水性が必要である。
- 呼吸センサが重症感をあおってしまうので、カテゴリ III (緑) の判定を受けた傷病者は、不安感から過呼吸の発症へとつながる恐れがある。
- 着脱が行いやすい分、傷病者がはずしてしまう可能性もあるため、固定器具が必要である。

(2) 医師端末の問題点

- 人体通信が不安定である。

(3) 情報管理サーバの問題点

- モニタに出力される傷病者の状況を表す色が分かりにくい。医療機器で標準的に使用されている色に変更すべきである。
- 現場医療従事者が見られるよう、トリアージポスト・2次トリアージテント内に対策本

部と同様のモニタが必要である。

- 傷病者の位置推定の精度が不十分な場合がある。

以上に示したとおり、医療機関における実地訓練を通して、提案システムにおいて、病状変化が把握できること、傷病者のバイタルサインを全体として把握できることを示した。特に、バイタルサインをリアルタイムに把握できることから早期に治療が行える点、開発した電子トリアージタグは小型でかつ簡単に取り付け可能で、傷病者にとって負担にならず長時間使用できる点において、医療従事者から高い評価を得た。また、我々のシステムでは、病状が変化した傷病者をすぐに特定できるよう、屋内において電子トリアージタグの位置を推定できる機能、さらに、人体通信を利用し、医療従事者が触れている傷病者を特定する機能を導入し、実証実験において、病状変化の確認後すぐにその傷病者を発見し治療にとりかかれることを示した。しかしながら、屋内環境においては、医療機器など狭い区域に多数の障害物があり、また、位置推定に用いる電波が壁面で反射するなど、電波への影響が大きく、傷病者を正確に特定できない例がいくつかみられた。同様に、傷病者の姿勢や医療従事者の動きによっても、検出される電波の傾向は大きく変化し、位置の検出精度に大きな違いが確認された。そのため、屋内環境で位置推定を行う際には、部屋の形状や障害物の位置、人の動きなど対象環境を考慮したような屋内環境に特化した位置推定手法が望まれる。それと同時に、災害現場においては、突発的な状況が頻繁に生じることが想定されるため、その場の状況にあわせて柔軟に位置推定が行えることが求められる。今後、順天堂大学医学部附属浦安病院において、救急外来の治療優先度決定のために提案システムの運用が検討されており、提案システムの実用化に向け、位置推定精度の向上だけでなく、利用可能範囲の拡大や長時間の稼働に耐えうるネットワークの構築など、提案システムの改良を続けていく予定である。

8. まとめ

本論文では、災害時救急救命支援方式であるトリアージについて現行方式の問題点を分析し、解決手法として電子トリアージシステムを提案した。提案するシステムでは、傷病者の生体情報 (バイタルサイン) を無線アドホックネットワークを利用することで一括管理する。同時に、アドホックネットワークの接続情報を利用した位置推定を行う。これらの情報を基に、医療従事者の救命活動の効率化を支援し、同時に防ぎえた死を最小化することを目的としている。大学附属病院において実施された集団災害時対応演習を通して、提案する電子トリアージシステムを評価し、その有効性を確認した。今後は医療従事者から得られた意

見を基に、さらなる改良を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 日本集団災害医学会尼崎 JR 脱線事故特別調査委員会：尼崎 JR 脱線事故特別調査委員会報告書 JR 福知山線脱線事故に対する医療救護活動について，日本集団災害医学会 (2006).
- 2) 高橋 功：消防職員のためのトリアージ，東京法令出版 (2009).
- 3) 山本保博：災害医学，2nd edition，南山堂 (2009).
- 4) 丸川征二郎：経験から学ぶ大規模災害医療 対応・活動・処置，永井書店 (2007).
- 5) 吉岡敏治，松岡哲也，田中 裕，中村 颯：集団災害医療マニュアル 阪神・淡路大震災に学ぶ新しい集団災害への対応，へるす出版 (2000).
- 6) 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業：災害時救命救急支援を目指した人間情報センシングシステム．http://www.sen.jst.go.jp/theme/theme_h19/Higashino.html
- 7) 東野輝夫：災害時救命救急支援を目指した人間情報センシングシステム．<http://etriage.jp/>
- 8) Gao, T., Massey, T., Selavo, L., Crawford, D., Chen, B., Lorincz, K., Shnayder, V., Hauenstein, L., Dabiri, F., Jeng, J., Chanmugam, A., White, D., Sarrafzadeh, M. and Welsh, M.: The Advanced Health and Disaster Aid Network: A Light-Weight Wireless Medical System for Triage, *IEEE Trans. Biomedical Circuits and Systems*, Vol.1, No.3, pp.203–216 (2007).
- 9) Gao, T., Pesto, C., Selavo, L., Chen, Y., Ko, J., Lim, J., Terzis, A., Watt, A., Jeng, J., Chen, B., et al.: Wireless Medical Sensor Networks in Emergency Response: Implementation and Pilot Results, *Proc. 2008 IEEE International Conference Technologies for Homeland Security* (2008).
- 10) Shnayder, V., Chen, B., Lorincz, K., FulfordJones, T.R.F. and Welsh, M.: Sensor Networks for Medical Care, Technical Report, Harvard University (2005).
- 11) Malan, D., Fulford-Jones, T., Welsh, M. and Moulton, S.: CodeBlue: An Ad Hoc Sensor Network Infrastructure for Emergency Medical Care, *Proc. International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, pp.12–14 (2004).
- 12) University of California, S.D.: Wireless Internet Information System for Medical Response in Disasters (WIISARD). <https://www.wiisard.org/>
- 13) 情報通信研究機構報道発表：平成 20 年度鹿児島県総合防災訓練における技術試験衛星 VIII 型「きく 8 号」を用いた通信実験等の実施について．<http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h19/080108/080108k.html>
- 14) 文部科学省：大都市大震災軽減化特別プロジェクト (2002). http://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/jishin/04031203.htm
- 15) 総務省：安心・安全な社会の実現に向けた情報通信技術のあり方に関する調査研究会最終報告書 (2006). http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/

<chousa/anshinanzen/index.html>

- 16) 園田章人，井上創造，岡賢一郎，藤崎伸一郎：RFID を利用した救急トリアージの実証実験，情報処理学会研究報告，2006-MBL-36, Vol.2006, No.14, pp.351–356 (2006).
- 17) 科学技術振興機構 (JST)：平成 18 年度科学技術振興調整費科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進「電子タグを利用した測位と安全・安心の確保」実施計画．http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/18/05/06051814/001.htm
- 18) 安部史江，西垣正勝：人体通信による電子トリアージタグへの情報伝達の提案，暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2009)，pp.20–23 (2009).
- 19) サン・マイクロシステムズ：Sun SPOT 無線センサーネットワークデバイス．<http://jp.sun.com/products/software/sunspot/>
- 20) Apple: iPod touch. <http://www.apple.com/jp/ipodtouch/>
- 21) カイザーテクノロジー：人体通信技術 Wirelesswire. <http://www.kaisertech.co.jp/>
- 22) Priyantha, N.B., Chakraborty, A. and Balakrishnan, H.: The Cricket Location-Support System, *Proc. International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pp.32–43 (2000).
- 23) Niculescu, D. and Nath, B.: Ad hoc positioning system (APS) using AOA, *Proc. Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, pp.1734–1743 (2003).
- 24) Hu, L. and Evans, D.: Localization for Mobile Sensor Networks, *Proc. International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pp.45–57 (2004).
- 25) Uchiyama, A., Fujii, S., Maeda, K., Umedu, T., Yamaguchi, H. and Higashino, T.: Ad-hoc Localization in Urban District, *Proc. Conference on Computer Communications (INFOCOM) 2007 Mini-Symposium*, pp.2306–2310 (2007).
- 26) Bahl, P. and Padmanabhan, V.N.: RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system, *Proc. Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, pp.775–784 (2000).
- 27) Shang, Y., Rml, W., Zhang, Y. and Fromherz, M.: Localization from Connectivity in Sensor Networks, *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, Vol.15, No.11, pp.961–974 (2004).
- 28) Fujii, S., Uchiyama, A., Umedu, T., Yamaguchi, H. and Higashino, T.: An Off-line Algorithm to Estimate Trajectories of Mobile Nodes Using Ad-hoc Communication, *Proc. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, pp.117–124 (2008).
- 29) 東野輝夫：アドホックネットワークシミュレータ MobiREAL. <http://www.mobireal.net/index-j.html>

(平成 22 年 1 月 10 日受付)

(平成 22 年 6 月 3 日採録)

推薦文

本論文では、大規模事故や災害が発生した際の救命活動を支援する電子トリアージシステムを設計・開発している。このシステムでは、傷病者に装着した生体センサによってアドホックネットワークを構築し、これを用いて生体情報の収集と、傷病者の位置特定を行っている。提案システムについてプロトタイプシステムを構築し、医学分野での演習にて実際に使用することで、その有用性を確認しており、完成度は非常に高い。無線ネットワーク、インタフェースを含むアプリケーション全体に対し、多くの知見が得られており、関連研究分野に対して大きく貢献する成果となることが期待される。以上より、推薦論文として推薦する。

(マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2009) シンポジウム
プログラム委員長 土井美和子)



木山 昇 (正会員)

平成 22 年大阪大学大学院情報科学研究科情報ネットワーク学専攻博士前期課程修了。在学中はアドホックネットワークに関する研究に従事。現在、株式会社日立製作所に勤務。



楠田 純子

平成 22 年大阪大学大学院情報科学研究科情報ネットワーク学専攻博士前期課程修了。在学中はアドホックネットワークに関する研究に従事。現在、日本アイ・ピー・エム株式会社に勤務。



藤井 彩恵 (学生会員)

平成 20 年大阪大学大学院情報科学研究科情報ネットワーク学専攻博士前期課程修了。同年同大学院博士後期課程進学。平成 20 年より日本学術振興会特別研究員。アドホックネットワークに関する研究に従事。



内山 彰 (正会員)

平成 15 年大阪大学基礎工学部情報科学科退学後、同大学院情報科学研究科博士前期課程進学。平成 20 年同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年イリノイ大学客員研究員。平成 21 年より大阪大学大学院情報科学研究科特任助教。博士 (情報科学)。位置推定法や無線ネットワークプロトコルに関する研究に従事。IEEE 会員。



廣森 聡仁 (正会員)

平成 16 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。平成 17 年株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ入社。平成 20 年より大阪大学大学院情報科学研究科助教。博士 (工学)。モバイルアプリケーションやモバイルネットワークの設計および性能評価に関する研究に従事。IEEE 会員。



梅津 高朗 (正会員)

平成 13 年大阪大学大学院基礎工学研究科情報数理系専攻博士前期課程修了。同年同大学院博士後期課程進学。平成 14 年同大学院博士後期課程退学後、同大学院情報科学研究科助手。平成 19 年より同大学院情報科学研究科助教。博士 (情報科学)。アドホックネットワーク用ミドルウェアや開発環境の研究に従事。



中村 嘉隆 (正会員)

平成 14 年大阪大学基礎工学部情報科学科卒業。平成 19 年同大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。平成 22 年より大阪大学大学院情報科学研究科特任助教。博士 (情報科学)。センサネットワークセキュリティに関する研究に従事。IEEE 会員。



大出 靖将

平成 4 年大阪大学法学部法学科卒業。平成 12 年同大学医学部医学科卒業。同年大阪大学医学部特殊救急部入局。その後、国立水戸病院外科、社会保険中京病院救急救命科、大阪大学医学部高度救命救急センターを経て、平成 19 年 9 月から順天堂大学医学部附属浦安病院救急診療科勤務。



田中 裕

昭和 57 年大阪大学医学部医学科卒業。昭和 61 年同大学医学部救急医学研究生。平成 2 年セントルイス大学医学部留学。平成 5 年大阪大学医学部救急医学助手。平成 9 年同講師。平成 10 年同助教授。平成 19 年 9 月より順天堂大学医学部救急・災害医学教授。独立行政法人科学技術振興機構、CREST、研究分担者。博士 (医学)。救急医学、災害医学、外科学等の研究に従事。日本救急医学会指導医、評議員。日本外傷学会評議員。



山口 弘純 (正会員)

平成 6 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。平成 10 年同大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年オタワ大学客員研究員。平成 11 年大阪大学大学院基礎工学研究科助手。平成 14 年同大学院情報科学研究科助手。平成 19 年より同大学院情報科学研究科准教授。博士 (工学)。分散システムや通信プロトコルの設計および実装に関する研究に従事。IEEE、電子情報通信学会各会員。



東野 輝夫 (フェロー)

昭和 54 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。昭和 59 年同大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年同大学助手。現在、同大学大学院情報科学研究科教授。平成 19 年 10 月より、独立行政法人科学技術振興機構、CREST、研究代表者。博士 (工学)。分散システム、通信プロトコル、モバイルコンピューティング等の研究に従事。電子情報通信学会、ACM 各会員。IEEE Senior Member、本会フェロー。