

## 無線センサネットワークを利用したトリアージシステムの提案

杉山 阿葵<sup>†</sup> 栖関 邦明<sup>†</sup> 長橋 健太郎<sup>‡</sup> 重野 寛<sup>‡§</sup> 岡田 謙一<sup>‡§</sup>

### 概要:

災害時の救急救命活動において、多くの場合に医療を行うための人的、物的資源が不足する。従って同時に多数発生した傷病者の治療の優先順位の判定、医療救護施設への迅速かつ確実な搬送、搬送先の医療機関における適切な医療の一連の3つの活動は救急救命において非常に重要である。この際、傷病者の中から早期に治療を要する重症患者を発見し早期に適切な治療を受けさせることで、限りある医療資源を効率よく利用しより多くの人命を救うことができる。近年、特に緊急に治療を必要としない軽症患者や中等症患者の治療を一次的に遅らせることや、緊急度が高く助かる見込みのある傷病者をトリアージすることが災害時救急救命において行われている。我々は無線センサネットワークを利用し自動的にタグの色を決定し、搬送の優先度を提示するトリアージシステムを提案した。これにより現場の救急救命活動の迅速化が期待される。

## Proposal of Triage System using wireless sensor network

Aki Sugiyama<sup>†</sup>, Kuniaki Suseki<sup>†</sup>, Kentaro Nagahashi<sup>‡</sup>, Hiroshi Shigeno<sup>‡§</sup>, Ken-ichi Okada<sup>‡§</sup>

**Abstract:** In emergency aid procedures at the time of the disaster, person and equipment to perform medical care are short in most cases. Therefore, when there are a lot at injured people at the same time, It is very important to decide the priority of the treatment, to perform appropriate medical care and to transport surely. To discover seriously patients who need treatment early and give appropriate it enables to save many people and use limited health resources efficiently. Recently, ambulance crews triages to care injured persons at the time of disaster. We proposed the triage system which decided the color of the tag and the priority of transportation using wireless sensor network. This system enables speedy emergency aid procedures.

### 1. 背景

日本は島国という地形の特殊性から数多くの自然災害に見舞われてきた。自然災害の中で多いのは地震であり、代表例として日本災害史上最大の死者および行方不明者が発生した関東大震災がある。近年では阪神・淡路大震災や新潟県中越沖地震が記憶に新しい。このような自然災害においては多くの死者や傷病者、物的被害が膨大となることから、いかに政府のような社会インフラを安定させ、医療や救護体制を整えるかが被害を最小限にとどめるための最大の鍵となっている。自然災害以外にも、世界的にみると各地で化学兵器や生物兵器を使用したテロが頻発しており日本でも政府を中心にそれに対する対応が急がれている。また JR

西日本での福知山線脱線事故のような人的ミスによる大規模な事故も記憶に新しい。これまで日本の医療従事者は災害時に避難所の仮設診療所や巡回診療を行ってきた。現在更なる災害医療の充実を図るため、事前にトレーニングを受けた災害現場に向向く医療救護チームを組織する動きが高まっている。災害医療センターではアメリカなどの先進国を見習い、DMATと呼ばれる「機動力のある、トレーニングを受けた、医療チーム」を組織し、災害時救急救命活動において、同時に多数発生した負傷者の治療の優先順位の判定、医療救護施設への迅速かつ確実な搬送、搬送先の医療機関における適切な医療の一連の3つの重要な活動を担っている<sup>1)</sup>。この際の多くの場合に医療を行うための人的、物的資源が不足する。多くの傷病者が発生したときその中から早期に治療を要する重症患者を発見し早期に適切な治療を受けさせることで、限りある医療資源を効率よく利用しより多くの人命を救うことができる。このために特に緊急に治療を必要としない軽症患者や中等症患者の治療を一次的に遅らせることや、緊急度が高く助かる見込みのある傷病者をトリアージ

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

<sup>§</sup> 独立行政法人 科学技術振興機構  
JST

(選別) することが災害時救急救命において行われている<sup>2)</sup>。

以下、まず2章において先に述べたトリアージに関しての概要と、それを用いた災害時救急救命活動例を述べる。3章では現状のトリアージに基づく医療活動の問題点を述べ、それを解決すべく発展した情報機器を用いた活動支援の研究例について述べる。さらにこれらの研究例で残された課題を検討する。4章では問題点を解決するための本研究の提案の概要について述べる。5章では提案システムの実装について述べる。そして6章を本研究のまとめとする。

## 2. トリアージに基づく医療活動

### 2.1 トリアージの概要

災害時救急救命の際、日本では傷病者の緊急度や重症度を4段階に分類している。表1に一般的なトリアージカテゴリーを示す。

色	優先度	処置
赤 (1)	1	生命を救うため直に処置を必要とする者 例) 大出血, ショック症状の傷病者
黄 (2)	2	多少治療の時間が遅れても生命に危険がない者。 基本的には、バイタルサインが安定している者。
緑 (3)	3	上記以外の軽易な傷病で殆んど専門医の治療を必要としない者。
黒 (0)	4	既に死亡している者。 明らかに即死状態であり、心肺蘇生を施しても蘇生可能性のない者。

表1 トリアージカテゴリー

災害時の救急救命現場では人的、物的資源は限られる。このため、できるだけ多くの傷病者の救助を行うには、一人の傷病者に対しトリアージを一分以内で行うことが望まれる。日本では迅速にトリアージを行う方法としてSTART法 (Simple Triage and Rapid Treatment) が採用されている。START法は、傷病者を「呼吸」「循環」「中枢神経」の順番で優先度を評価する<sup>5)6)</sup>。図1にSTART法を用いたトリアージのフローチャートを示す。

日本では図2に示すトリアージタグと呼ばれる4色のマーカー付きタグを傷病者に取り付け、不要な色の部分を切り取り、取り付けた傷病者の優先度を表す色を先端に残すことにより判断結果をわかりやすくしている。

災害が起きた場合、医療従事者が迅速に被災地に駆けつけ、トリアージや医療活動の補助、後方支援を行

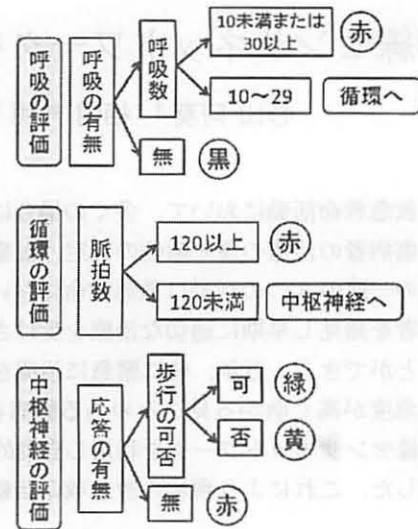


図1 START法を用いたトリアージ

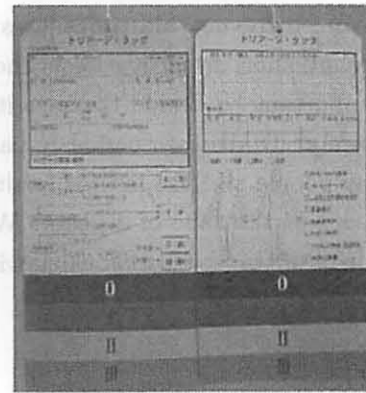


図2 トリアージタグ

う。災害が起きたときの医療従事者の活動の流れを以下に示す。

- (1) トリアージポスト (トリアージを行うために用意されたエアertent) に傷病者全員を搬送。
- (2) トリアージポストにて傷病者全員にトリアージタグを装着。
- (3) 医療従事者がトリアージを行いタグの色を決定。
- (4) トリアージされた傷病者をそれぞれの色のエアertentに搬送 (赤タグの傷病者は赤のエアertentに搬送)。
- (5) それぞれのタグの色に応じて搬送する医療機関、搬送する順番を決定する (赤タグの傷病者は第3次医療機関へ)。
- (6) 決定に基づいて医療機関に搬送する。(赤タグはドクターヘリなどで第3次医療機関へ、黄色は救急車などで第2次医療機関へ)

- (7) 医療機関の入り口などで必要に応じて複数回トリアージを行う。
- (8) 医療機関で適切な治療を受ける。

## 2.2 トリアージの活用例

死者 107 名、負傷者 549 名が発生した福知山線脱線事故では、救急救命において本格的にトリアージが実施された<sup>4)</sup>。この事故の発生後、現場では早期に救急隊によりトリアージが行われた。この際トリアージポストの設定等が適切に行われたことにより、トリアージ、搬送を円滑に行うことができた。トリアージが実施されたことにより優先度の高い患者への迅速な治療が可能となり、搬送においても、赤タグ相当の重篤な傷病者が特定の病院に集中することなく分散できた。医療従事者が到着してからは、応急救護所等において多数の人員により、2 次トリアージ及びエアートント内では簡単な応急処置などの各種の救急医療が実施され、また搬送の指示・調整・同乗が行われた。この結果重症患者への治療が優先的に行われ、後送病院の負担が軽減された点において「避けられた死」を防ぐことができたと言える。2 次トリアージポストを設定した際に、活動を開始したが、医療従事者の絶対数の不足と搬送能力をはるかに超える負傷者のために、応急救護所は搬送待ちの負傷者で溢れ、2 次トリアージと重症、中等症の負傷者の継続観察が混乱を極めたという課題も残された。

## 3. 電子医療機器を用いた活動支援

多くの病院等の医療機関内では、心電図検査機器や血圧測定機器など傷病者の生体情報を常にモニタリングが可能となる電子医療機器が使われており、これらの機器は効果的な治療に貢献している。近年は医療ミスや医療活動の効率化を目指し、より一層医療の IT 化が進んでいる。例として医療情報の電子化により医療ミスを防ぎ、医療費を削減することを目的として世界的にカルテの電子化の取り組みがなされている。<sup>9)</sup> 日本では、厚生労働省、政府の IT 戦略本部を中心に電子カルテシステムやレセプトの電子化などが行われている。また傷病者と医療従事者、薬剤に RFID タグを付けてその動きをモニタリングするという動きもある。今までバーコードを利用した医療ミスを防ぐシステムはあったが、RFID は汚れやねじれに強く、リーダーからの距離を考慮すると利点が多いことが実証されている。

現在のトリアージタグは紙製であることから、トリアージを実施した際に最優先となる赤タグの負傷者の居場所や病状の急変が把握できないことがあげられる。近年では、世界各国で災害救急救命において利用できる RFID やセンサを利用したシステムの研究が進められている。米国のカリフォルニア大学サンディエゴ校では、連邦政府援助によるワイヤレス技術を活用した大規模災害救急医療に関する研究プロジェクト WISARD (Wireless Internet Information System for Medical Response in Disasters) で活動を行い、アクティブ RFID を活用した傷病者の位置把握の実証実験を行っている。現在の救急救命現場では、人員が限られるため傷病者の急激な病状の悪化などを把握ができないという問題がある。これを解決するために、ハーバード大学とボストン大学が行っている CodeBlue プロジェクトでは、各種のセンサを用いて傷病者の心拍などの情報を情報端末に送信させて災害時の医療活動に役立たせている。<sup>12)</sup> また限られた設備を利用し、効率よく生体情報などを通信するためのネットワークに関する研究も行われている。<sup>11)</sup> 一方国内でもトリアージタグに RFID タグを埋め込み、救急隊の持つ入力端末にモバイルネットワーク機器を用いることで、負傷者の情報収集の自動化を目指した RFID を利用した救急トリアージシステムを構築し、そのシステムを用いて、80 名程度の負傷者を想定した実証実験<sup>7)</sup> が行われている。この結果、負傷者の搬送時間と情報収集にかかる時間を短縮できることが実証されている。

このほかに PDA などの小型情報端末を利用して傷病者の情報収集を行い、医療活動の効率化を目指した研究も行われている。<sup>14)</sup> 国内では、傷病者の情報収集を迅速かつ確実に実現することと救急活動時に適切な処置をすることを実現するために、傷病者の事前に登録された情報を利用する情報システムが提案されている。<sup>8)</sup>

上記のように医療において RFID を用いたシステムの研究が多数なされている。しかし、RFID には通信距離に制約があることが問題点としてあげられる。そして福知山線脱線事故のような傷病者が数百人発生した大規模災害の場合、赤タグ、黄タグとトリアージされた傷病者は数十人単位で発生する。この傷病者の搬送優先順位と搬送先の医療機関を決めるために各色のトリアージテントで 2 次トリアージが行われる。多数の赤タグ傷病者が発生した場合、救急隊員が傷病者の搬送順を決めることは困難である。しかしながら従来研究では搬送の優先度を提示するといった研究は行われていない。

#### 4. 提 案

トリアージは限られた資源で最大多数の傷病者を救命することを目的として行われている。したがって人的、物的資源の状況や、傷病者の人数、傷病者の外傷や生体情報の変化などによって誰を優先して搬送、治療するかは変わってくる。しかしながら現在、START法に見られるように生体情報による絶対評価で4段階に振り分けられている。我々は傷病者を絶対評価により4分類した後、2次トリアージの際に考慮される要素と生体情報を相対評価し、同じ色に分類された傷病者集団の中でどのくらい搬送を優先するのかを自動的に割り出すシステムが必要だと考えた。

##### 4.1 トリアージの自動化

外部から無線センサネットワークデバイスに1分間隔に入力される呼吸数、脈拍数と傷病者が歩行できるか否か、救急隊員の声に応答できるか否かという情報をもとにSTART法を用いて以下のような手順で4段階に分類するトリアージアプリケーションを構築する。

- (1) 呼吸数が0の場合黒タグと判断する。
- (2) 呼吸数が10未満または30以上の場合赤タグと判断する。
- (3) 呼吸数が正常(10以上30未満)だが、脈拍が120以上の場合赤タグと判断する。
- (4) 呼吸数が正常、脈拍が正常(脈拍120未満)だが、応答がない場合赤タグと判断する。
- (5) 呼吸数が正常、脈拍が正常で、歩行できない場合黄タグと判断する。
- (6) 呼吸数が正常、脈拍が正常で、歩行できる場合緑タグと判断する。

##### 4.2 搬送優先度の自動割り出し

搬送優先度を決める際に考慮しなければならない要素として、高エネルギー外傷と呼吸、脈拍の急激な変化があげられる。高エネルギー外傷とは通常の怪我に比べて生命の危険度が高いものを指す。<sup>10)</sup> 事故の場合、例として車外放出、車に轢かれた場合、救出に20分以上を要した場合、機械器具に巻き込まれた場合、体幹部が挟まれた場合、高所からの墜落などがあげられる。このような場合、生命を第一に考えなるべく早く病院に搬送しなければならない。地震などの災害時において建物の倒壊が起きた場合、がれきの下敷きになる傷病者が発生することから高エネルギー外傷は見過ごすことのできない事項である。また救急救

命において医学的観点から生体情報が急激に変化している傷病者の搬送は緊急を要する。

搬送の優先度は呼吸数、脈拍数の一定時間当たりの変化率、START法で決められている各色に分類するための呼吸数、脈拍数それぞれのしきい値からの外れ値(しきい値から傷病者の呼吸数、脈拍数がそれぞれどれだけ離れているか)、高エネルギー外傷の有無の値により決定する。すなわちパラメータは呼吸変化率、脈拍変化率、呼吸外れ値、脈拍外れ値、高エネルギー外傷の有無の5つの値である。基本方針はバイタルサインが不安定な傷病者を優先する。次点で安定しているが外れ値が大きい傷病者。その次にバイタルサインが安定し、しきい値に近いが外傷がある傷病者を優先する。傷病者の緊急を要する傷病者の順位の求め方は以下の通りである。

- (1) 脈拍の変化率が高い順に順位をつける。
- (2) 脈拍の変化率が同じ傷病者がいた場合、呼吸の変化率を見る。呼吸の変化率が高い順に順位をつける。
- (3) 脈拍、呼吸の変化率が同じ場合、脈拍の外れ値を見る。脈拍の外れ値が高い順に順位をつける。
- (4) 脈拍、呼吸の変化率、脈拍の外れ値が同じ場合、呼吸の外れ値が高い順に順位をつける。
- (5) 脈拍、脈拍の変化率、外れ値が同じ場合、外傷の有無により順位をつける。

システムの動作は以下の通りである。傷病者から自動的にセンシングした呼吸、脈拍と応答の有無、歩行の可否を基にSTART法により傷病者を4色に分類。(例:赤タグの傷病者15人、黄タグの傷病者10人 etc) 傷病者の生体情報の変化率、外れ値、外傷の有無をもとに各色ごとに緊急を要する傷病者の順位をつける。(例:赤タグは1~15位まで、黄タグは1~10位まで。) 図3に緊急順位判断例を示す。

赤タグ傷病者 ID	変化率	しきい値からの外れ値	外傷	緊急順位
0001	呼:0 脈:0	呼:0 脈:10	1	6
0002	呼:0 脈:0	呼:0 脈:10	0	7
0003	呼:5 脈:10	呼:1 脈:20	0	3
0004	呼:5 脈:10	呼:7 脈:14	0	4
0005	呼:8 脈:10	呼:2 脈:20	0	2
0006	呼:0 脈:0	呼:7 脈:10	1	5
0007	呼:0 脈:20	呼:4 脈:12	0	1

図3 緊急順位判断例

各色ごとの順位において、順位が上位3分の1の傷

病者は搬送優先度高, 下位 3 分の 1 の傷病者なら搬送優先度低, それ以外を搬送優先度中とする. このようにしてタグの色と搬送優先度を求める. さらに搬送車(ドクターヘリ, 救急車など)が到着したときには, その車に乗せられる人員(赤タグ傷病者はヘリで 2 名搬送可能など)の情報が来た際, 外部から人員の入力をすれば, 緊急順位の上位から人員分抽出する. このようにすることで即座に搬送を優先すべき傷病者がわかる.

## 5. 実装

### 5.1 使用するデバイス

本研究で用いる無線センサネットワークデバイスとしてサン・マイクロシステムズで開発された Sun SPOT を使用する. 図 4 に Sun SPOT デバイスの外観を示す.



図 4 Sun SPOT デバイス

開発はプログラミング言語 Java を用いて, Windows XP 上で行う.

Sun SPOT デバイスのプロセッサボードには 180MHz の 32bit ARM CPU が載っている. メモリは 512KB RAM/ 4MB フラッシュある. 無線通信方式は, 近距離無線規格として有名な ZigBee の物理層, MAC 層と同じ IEEE 802.15.4/2.4GHz 準拠の無線インタフェースが搭載されている. この他に Host PC と接続するための USB インタフェースが搭載されている. Host PC と接続した場合「ベースステーション」として動作させることもできる. このベースステーションは, Host PC 上のアプリケーションと Sun SPOT デバイスが通信したり, あるいは Sun SPOT からインターネット上の IP サービスにアクセスするための中継役となる.

Sun SPOT デバイスにはワイヤレスセンサデバイスとして機能する汎用センサボードが搭載されたデバイスがある. 汎用センサボードには 8 個の LED が

搭載されている. また入出力ポートを利用すれば, 外部のセンサやスピーカなどの機器を無線ネットワークに簡単に参加させることもできる. これらを利用してプログラミングを行うことにより, 外部センサからの入力によって LED の色を変えることができる. このデバイスにトリアージと搬送優先順位割り出しを行うアプリケーションを搭載する. そして判断されたタグの色に対応した色の LED を点灯し, 搬送優先度は LED の点灯している数で表す. 本研究では, システムの動作確認の際に各色に対応する生体情報をもつ傷病者に多数参加してもらうことは困難であるので生体情報を生成し Sun SPOT に入力するバイタルジェネレータアプリケーションを作成し小型 PC に搭載した. PC で発生した生体情報は USB 経由で Sun SPOT に入力される. 実際に災害現場で使用する際は Sun SPOT に生体情報を取得するセンサを傷病者に装着し, そのセンサを USB で Sun SPOT に接続する. またセンサが感知した生体情報を無線ネットワーク経由でリアルタイムに PC へ送ることが可能である. これにより入力された生体情報は Host PC に蓄積される. Host PC は搬送車で搬送可能な人員数の入力を受け付ける. また生体情報をもとに緊急順位を割り出し, それをもとに搬送優先度を算出する機能を持つ.

図 5 にシステム構成を示す.

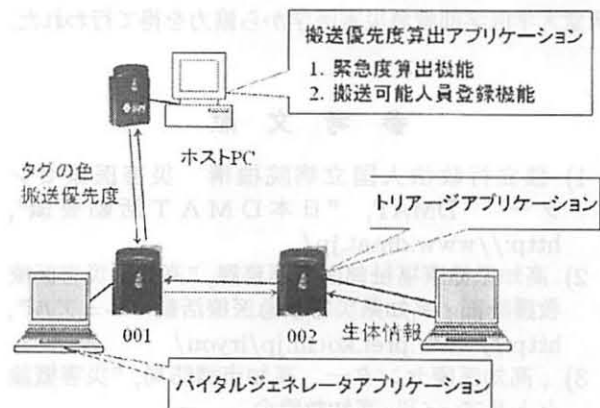


図 5 システム構成

## 6. まとめ

近年, 特に緊急に治療を必要としない軽症患者や中等症患者の治療を一次的に遅らせることや, 緊急度が高く助かる見込みのある傷病者をトリアージすること

が災害時救急救命において行われている。トリアージが実施されたことにより優先度の高い患者への迅速な治療が可能となり、搬送においても、赤タグ相当の重篤な傷病者が特定の病院に集中することなく分散できるようになったが課題は残っている。例として現在のトリアージタグは紙製であることから、トリアージを実施した際に最優先となる赤タグの負傷者の居場所や病状の急変が把握できないことがあげられる。また搬送に関しても救急隊員が多数の赤タグ傷病者が発生した場合、その搬送順を決められないことがあげられる。しかしながら災害時の救急救命においては電子医療機器の導入はまだ本格的に行われていない。本研究では災害時に生体情報センサ機器を傷病者に取り付けることで生体情報をリアルタイムで測定し、トリアージを行うシステムを提案した。このとき生体情報センサ機器を無線センサネットワークデバイスに接続することにより、サーバが各傷病者の生体情報を受信することでトリアージを自動的に行う。またサーバにより収集された多数の傷病者の生体情報を相対的に比較することで、同じタグの色を持つ傷病者の中での搬送優先度をレベル分けする。本研究より救急救命時における現場の傷病者搬送の迅速化が期待される。

## 謝 辞

この研究の一部は JST の戦略的創造研究推進事業 (CREST) の支援により行われた。また、本研究は順天堂大学医学部救急災害医学から協力を得て行われた。

## 参 考 文 献

- 1) 独立行政法人国立病院機構 災害医療センター DMAT, "日本DMAT活動要領", <http://www.dmat.jp/>.
- 2) 高知県健康福祉部医療業務課, "高知県災害医療救護計画・高知県災害救急医療活動マニュアル", <http://www.pref.kochi.jp/iryuu/>.
- 3) , 高知医療センター 高知市消防局, "災害概論とトリアージ", 高知救愛会, <http://www.kochikyuaikai.com/>.
- 4) 兵庫県災害医療センター, "JR福知山線列車事故における現地医療活動について", <http://www.hemc.jp/>.
- 5) 大阪府医師会 救急・災害医療部, "災害時における医療施設の行動基準(第1版)", <http://portal.osaka-bousai.net/>.
- 6) 社団法人 長岡市医師会, "自然災害発生時における医療支援活動マニュアル", 新潟県中越地震を踏まえた保健医療における対応・体制に関する調査研究, <http://www.nagaoka-med.or.jp/>.
- 7) 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システムの実証実験", 情報処理学会論文誌, 2007, Vol.48, pp. 802-810.
- 8) 園田 章人, 井上 創造, "救急活動における個人情報効率よい利用について", 電子情報通信学会第18回データ工学ワークショップ, 2007.
- 9) Wisdom ホームページ, "ユビキタス医療に向けた医療分野のRFID事情", <http://www.blwisdom.com/>, 2006.
- 10) 湘南地区メディカルコントロール協議会, "外傷救急活動ガイドライン 2004", <http://shonan-mc.or.tv/>.
- 11) Tia Gao, Tammara Massey, Leo Selavo, Matt Welsh, Majid Sarrafzadeh, "Participatory User Centered Design Techniques for a Large Scale Ad-Hoc Health Information System", Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE international workshop on Systems and networking support for healthcare and assisted living environments, 2007, pp.43-48.
- 12) Tia Gao, Tammara Massey, Will Bishop, Daniel Bernstein, Leo Selavo, Alex Alm, David White, and Majid Sarrafzadeh, "Integration of Triage and Biomedical Devices for Continuous, Real-Time, Automated Patient Monitoring", Proceedings of the 3rd IEEE-EMBS International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors, 2006, pp.34-39.
- 13) Susan P. McGrath, Eliot Grigg, Suzanne Wendelken, George Blike, Michael De Rosa, Aaron Fiske and Robert Gray, "ARTEMIS: A Vision for Remote Triage and Emergency Management Information Integration", IEEE Transaction on Biomedical Engineering, 2003.
- 14) Polun Changa, Yueh-Shuang Hsub, Yuann-Meei Tzengb, I-Ching Houc, Yiing-Yiing Sangb, "Development and Pilot Evaluation of User Acceptance of Advanced Mass-Gathering Emergency Medical Services PDA Support Systems", Proceedings Of The 11th World Congress On Medical Informatics, 2004.