

## 傷病者 ID 認識のための携帯端末向け イメージセンサ通信方式の開発

平生隆智<sup>†1</sup> 内山 彰<sup>†2,†3</sup>  
山口弘純<sup>†2,†3</sup> 東野輝夫<sup>†2,†3</sup>

現在、大規模災害において多数傷病者の生体情報を無線ネットワークによりサーバに収集する電子トリアージシステムが開発されている。本システムにおいて現場の医師を支援するため、拡張現実感技術により生体情報を傷病者に重ねて表示することを検討しているが、そのためには画像中の傷病者の ID 認識が必要となる。本研究では、医師が保持する携帯端末で迅速かつ高精度な ID 認識を実現するため、傷病者に取り付けた LED を点滅させることで ID を送信するイメージセンサ通信方式の開発を行った。想定する送受信機では LED の点滅や画像の取得を正確に一定間隔で行えないため、これらの誤差を考慮しビットを誤りなく検出できる必要十分な判定条件を決定している。また、マンチェスター符号を用いて 1 ビット毎に送受信機間の同期を取ることで、誤差の蓄積を回避する。オフィス室内における性能評価の結果、8bit の ID を平均約 4.5 秒で受信可能であり、ID 認識成功率は 94 % 以上であった。

### Image Sensor Communication for Patient ID Recognition using Mobile Devices

TAKANORI HIRAO,<sup>†1</sup> AKIRA UCHIYAMA,<sup>†2,†3</sup>  
HIROZUMI YAMAGUCHI<sup>†2,†3</sup> and TERUO HIGASHINO<sup>†2,†3</sup>

Our research group has developed an Electronic-Triage-System (eTriage) which collects vital signs of patients to a server, for the disaster relief. In order to provide vital signs of patients by augmented reality for doctors in eTriage, ID recognition of patients in captured images is required. For this purpose, we have developed an image sensor communication for quick and accurate ID recognition using mobile devices. In the proposed method, an LED is attached to a patient and controlled to send the patient ID by blinking patterns. We derived an appropriate encoding interval to avoid bit losses and errors considering timing errors due to limitations of senders and receivers. In addition, receivers synchronize with senders in every bit by using Manchester code. We

have evaluated the accuracy of the proposed method in our office, and the results show that the proposed method can correctly recognize 94% of 8-bit IDs in approximately 4.5 seconds on average.

#### 1. ま え が き

現在、大規模災害などで救命の優先順位を決定するトリアージを情報通信技術により支援するため、電子トリアージシステムの設計開発が進められている。電子トリアージシステムでは生体情報を無線ネットワークでサーバに収集する電子タグが傷病者に装着され、現場の医療従事者は収集された生体情報にアクセスして治療や重症度の判定を行う。この活動を支援するために、取得した生体情報を拡張現実感技術を用いて医療従事者の視野に表示する方法が考えられる。医療従事者が携帯端末のカメラを用いて傷病者を見た時に、その傷病者の生体情報が表示されれば、医療従事者が傷病者の危険度を即時に判断する助けとなる。このためには画像中の各傷病者に対して、電子タグごとに固有の ID (傷病者 ID) を高精度かつ迅速に取得する手段が求められる。

このため、マーカを用いて対象の ID をカメラで認識する手法<sup>2),3)</sup> が提案されているが、数 m 程度の近距離を対象としている<sup>4)</sup>。一方で、カメラ等に用いられるイメージセンサを用いて取得した画像の画素について、点滅パターンを認識することで情報を受信するイメージセンサ通信を用いる手法も提案されている<sup>5)-8)</sup>。これらのイメージセンサ通信では、専用の高性能な CMOS イメージセンサを開発して用いるため、導入コストが問題となる。

そこで本研究では、医師が保持するスマートフォンなどの携帯端末上で迅速かつ高精度な傷病者 ID 及び位置認識を実現するため、傷病者に LED が取り付けられた腕章を装着し、その LED を点滅させることで ID を送受信するイメージセンサ通信方式の開発を行った。提案方式では遠方でも判別可能な輝度成分のみを基準として画像中の光源の候補点を抽出し、抽出した候補点に含まれるノイズを光源の大きさと点滅パターンに基づいて除外する。また、想定する送受信機では LED の点滅や画像の取得を正確に一定間隔で行うことが困難

<sup>†1</sup> 大阪大学基礎工学部情報科学科  
School of Engineering Science, Osaka University, Japan

<sup>†2</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Japan

<sup>†3</sup> 独立行政法人 科学技術振興機構, CREST  
Japan Science and Technology Agency, CREST

なため、これらの誤差を考慮し、ビットを誤りなく検出できる必要十分な判定条件を決定している。これに加え、各ビット周期の中間で必ず一回の点滅が発生するマンチェスター符号<sup>9)</sup>を用いて1ビット毎に送受信機間の同期を取ることで、誤差の蓄積を回避してID認識精度を向上させる。更に符号化ルールに従わない点滅パターンを利用することで、プリアンブルを短縮し、迅速な傷病者ID認識が可能である。また、高負荷な光源の抽出処理を低頻度で行い、抽出された光源の画素のみを点滅の追跡対象とすることで更なる高速化を図っている。

性能評価のため、一般的なオフィス室内において送信機と受信機が固定されている理想環境下でID認識成功率を測定した結果、8bitのIDを平均約4.5秒で受信することが可能であり、ID認識成功率は94%以上であるという結果を得た。

## 2. 関連研究

近年、カメラなどに用いられるイメージセンサの高速化と低価格化に伴い、可視光通信の受光デバイスとしてイメージセンサを用いることが注目されている。イメージセンサ通信では光源の点滅に基づき情報を送信するため、まずイメージセンサを用いて取得した時間的に連続する複数の画像から光源の場所を特定する必要がある。画像中の光源の場所を特定するということは、送信機の画像中の位置(観測者から見た相対位置)を特定することに等しい。よって、位置基準点となる基地局を多数設置するといった事前の環境構築をすることなく、IDと位置情報を同時に取得することが可能となる<sup>5),6)</sup>。実際にイメージセンサ通信と拡張現実感技術を利用したシステム<sup>7),8)</sup>も提案されており、イメージセンサ通信は拡張現実感技術と相性がよい通信方式である。

文献7)では、低消費電力で高フレームレートでの撮影が可能なCMOSイメージセンサを開発している。連続する一定枚数のフレームに対し各画素ごとに高速フーリエ変換を行った結果を評価関数とし、評価関数の値が閾値を超えた画素をLEDとして抽出する。一方文献8)のように、専用のイメージセンサではなく市販のWebカメラを用い、デコードに関する処理を全てソフトウェアで行う手法も提案されている。この手法はLEDの特定にRGB成分とRGB成分から算出したYCrCb成分を用いている。Y成分は輝度、Cr成分とCb成分は色相を表す値であり、これらとRGB成分がLEDに近い画素をLEDとみなす。この手法は5m前後までであれば1枚の画像からLEDを検出することが可能である。しかしLEDからの距離が離れるにつれて、蛍光灯の光やその反射光などのノイズとLEDをこれらの成分のみで区別することは難しくなる。

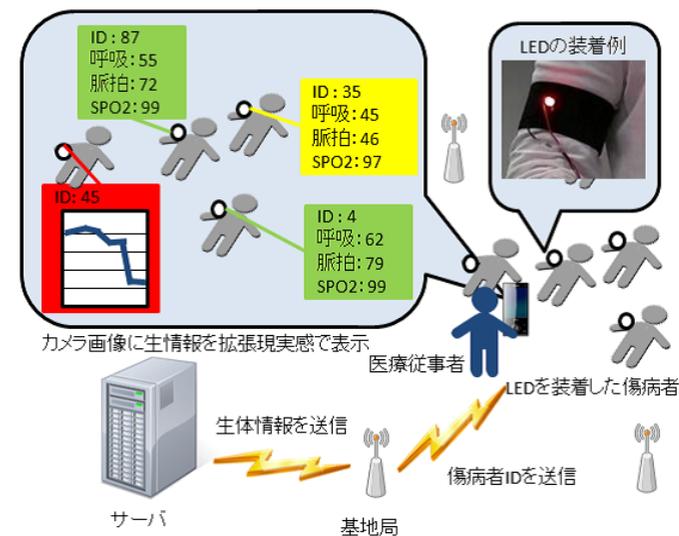


図1 想定環境のイメージ  
Fig.1 Image of Operating Environment

## 3. 提案方式

### 3.1 想定環境

提案方式の想定環境を図1に示す。提案方式では傷病者が運び込まれた避難所やベーステントなど障害物のない屋内での使用を想定している。人間が一度に認識可能な空間には限界があるため、本研究では数m~10m四方程度の領域を対象とする。10m四方の領域に存在し得る傷病者は高々数十人であることから傷病者IDは8ビットとし、ストレスを感じない数秒程度での認識を目標とする。なお、軽症の傷病者は対象としないため、傷病者の移動は考慮しない。また、傷病者IDを認識する際には立ち止まるものとし、傷病者ID認識時の医療従事者の移動も考慮しない。

対象環境にはWiFi, ZigBee, 及び携帯通信インターフェースを備え、バッテリー駆動する小型基地局が分散配置される。この基地局を介して、電子タグからZigBeeにより定期的に発信される傷病者の生体情報がサーバに収集される。また、医療従事者は携帯端末に搭載されたWiFiや携帯通信インターフェースによりサーバとの通信を行う。傷病者は電子タグに

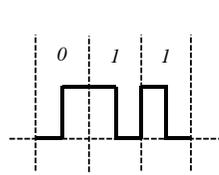


図 2 マンチェスター符号の例  
Fig. 2 Manchester Code

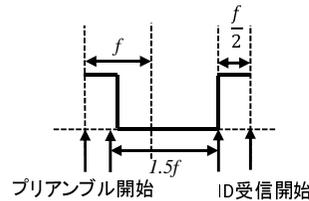


図 3 プリアンブル  
Fig. 3 Preamble

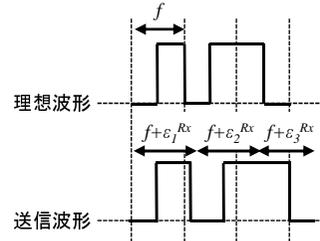


図 4 理想波形と送信波形の誤差  
Fig. 4 Error of Pulse

接続された LED 付きの腕章を装着し、この電子タグが LED の点滅を制御することで傷病者 ID を光発信する。医療従事者は携帯端末のカメラを傷病者にかざすことで傷病者 ID を取得し、それらの傷病者 ID をサーバに送信することによって各傷病者の生体情報がカメラ画像上に表示される。

### 3.2 傷病者 ID の符号化

傷病者 ID は電子タグ（送信機）で LED の点滅パターンとして符号化・送信される。符号化された ID の先頭には、ID の送信開始を示すためのプリアンブルが付与される。提案方式では、点灯または消灯状態が続くことで蓄積するビット周期の誤差を回避するため、ビット周期  $f$  の中間 ( $f/2$ ) で必ず状態が遷移するマンチェスター符号<sup>9)</sup>を用いる（図 2）。

ビット周期  $f$  は、ノイズとの区別が可能であり、かつなるべく短い値を設定することが望ましい。ノイズは大きく分けて本来光源でない物など高速な点滅と見なせるノイズ（高周波ノイズ）と、他の光源など長時間点灯し続けるノイズ（低周波ノイズ）の二種類が存在する。 $f$  を短くすると高いビットレートを実現できるが、高周波ノイズとの区別が困難になる。

また、送信するデータは ID を符号化したデータ部と、データ部の切れ目を表すプリアンブルを合わせて 1 パケットとする。通常、プリアンブルは任意のビット列を定め、データ部にプリアンブルと同様のビット列が現れないように工夫する<sup>7)</sup>。しかし、本研究では低速な通信を前提としているため、プリアンブルをなるべく短く抑え、ID 認識時間を短縮したい。そこで図 3 のように、点滅間隔が  $f$  以上の点滅パターンをプリアンブルに用いることで、比較的短いプリアンブルを定義した。

### 3.3 受信アルゴリズム

#### 3.3.1 受信アルゴリズムの概要

カメラから画像を取得し、画像中の光源を特定して光源リスト  $S$  に追加する。続いて光源  $l \in S$  について、プリアンブルと同様の点滅パターンをしているか追跡する。光源  $l \in S$  は座標  $p_l = (x_l, y_l)$ 、半径  $r_l$ 、最後に状態が変化した時刻のタイムスタンプ  $t_l$ 、光源の ON/OFF 状態  $s_l$  を保持する。プリアンブルと同様の点滅パターンを確認した光源  $l$  は LED リスト  $L$  に登録し、点滅を追跡して ID を復号していく。光源  $l \in L$  は復号された各ビットを順に格納する配列  $id_l$  を保持する。従って  $id_l$  のサイズは傷病者 ID のビット長  $B$  に等しい。

#### 3.3.2 送信機と受信機の同期

復号の際には各 LED の ON/OFF の時間変化を取得する必要がある。ID の符号化にはマンチェスター符号を用いているため、1 ビットに割り当てる時間を  $f$  とすると、理想環境では  $f/2$  に 1 回画像を取得すれば光源の ON/OFF の時間変化を追跡することが可能である。しかし想定環境では、LED の点滅間隔をソフトウェアで制御しているため、点滅間隔に誤差  $\epsilon^{Tx}$  が生じる。1 ビットに割り当てる時間を  $f$  として波形を送信した場合、実際に送信される波形  $f'$  は  $\epsilon^{Tx}$  の最大値を  $\epsilon_{max}^{Tx}$ 、最小値を  $\epsilon_{min}^{Tx}$  とすると  $f + \epsilon_{min}^{Tx} \leq f' \leq f + \epsilon_{max}^{Tx}$  となる（図 4）。また、受信機もミリ秒単位で定期的に画像を取得することは難しく、数ミリ秒の誤差  $\epsilon^{Rx}$  ( $\epsilon^{Rx} > 0$ ) が生じる。よって、誤差の蓄積を避けるため復号中に定期的に送信機と受信機の同期を取る必要がある。そこで提案方式では、各ビット周期の中間となる  $f'/2$  のタイミングで生じる点滅を基準に  $f'$  ごとに同期を取る。

受信機の最大画像取得遅延を  $t_{max}$  とする。図 5(a) はこの方式において受信機が認識する点灯時間が最短になる場合の例である。図 5(i) で点灯状態になる直前に画像を取得し、図 5(ii) で点灯状態の画像を取得する。そして図 5(iii) で消灯状態の画像を取得すると、受信機が認識する点灯時間は最短で  $f'/2 - t_{max}$  となる。一方、図 5(b) は受信機が認識する点灯時間が最長になる場合の例である。図 5(i) で点灯状態に変わった直後に画像を取得し、図 5(ii) で消灯状態になる直前の画像を取得する。そして図 5(iii) で消灯状態の画像を取得すると、受信機が認識する点灯時間は最長で  $f' + t_{max}$  となる。いずれの場合でも、点滅状態が変わった時点からの誤差しか発生しないため、同期誤差  $T_E$  は  $f'/2 - t_{max} \leq T_E \leq f' + t_{max}$  となる。

#### 3.3.3 輝度閾値に基づく光源抽出

単一画像からの光源抽出には YCrCb 成分を用いる。YCrCb 成分は RGB 成分から算出される値であり、Y 成分が輝度、Cr 成分と Cb 成分が色相を表す。このうち輝度を表す Y

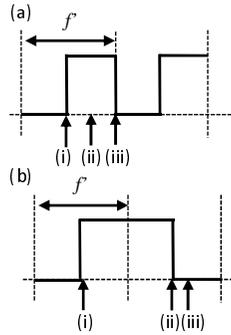


図5 同期誤差の最小値と最大値  
Fig.5 Maximum and Minimum synchronization Errors

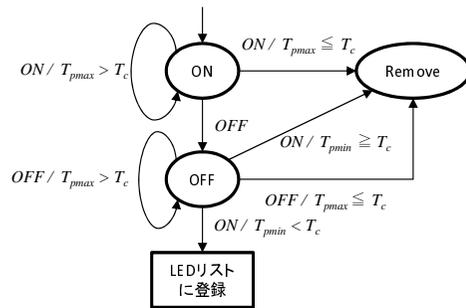


図6 プリアンブル受信の状態遷移図  
Fig.6 State Transition Diagram of Preamble Reception

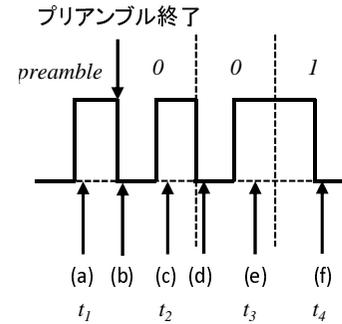


図7 復号手順  
Fig.7 Example of Decoding

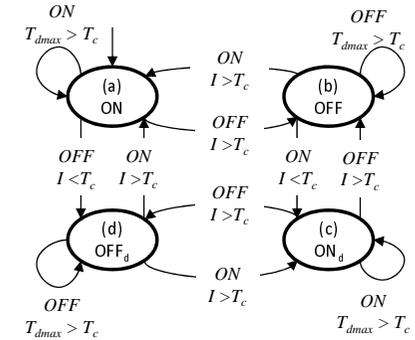


図8 復号処理の状態遷移図  
Fig.8 State Transition Diagram of Decoding

成分が閾値  $Y_{TH}$  以上の画素を光源  $l$  とする。光源抽出は全画素に対して行う。光源  $l$  の座標を  $(x, y)$  とすると、上下左右に隣接する  $(x+1, y+1)$ ,  $(x+1, y-1)$ ,  $(x-1, y+1)$ ,  $(x-1, y-1)$  の画素も光源である場合、これらを同一の光源とみなす。ここで同一光源中の最大、最小  $x$  座標を  $x_{min}$ ,  $x_{max}$ , 最大、最小  $y$  座標を  $y_{min}$ ,  $y_{max}$  とする。このとき  $((x_{min} + x_{max})/2, (y_{min} + y_{max})/2)$  を光源  $l$  の中心座標  $p_l$  とし、 $x_{min}$ ,  $x_{max}$ ,  $y_{min}$ ,  $y_{max}$  を全て含む円の半径を光源の大きさ  $r_l$  とする。その結果、半径  $r_l$  が閾値  $r_{TH}$  以下の場合、光源  $l$  は光源リスト  $S$  に追加される。 $r_{TH}$  は LED を点灯させた状態で至近距離から撮影した時の半径を設定する。ただし光源  $l$  の座標  $p_l$  が、既に登録済みの光源  $m \in S \cup L$  の中心から半径  $r_m$  以内にある場合は、同一の光源  $m$  とみなして光源  $m$  の座標  $p_m$  と半径  $r_m$  を更新する。

なお、光源抽出処理は画素を全探索するため処理負荷が高い。従って  $p_l (l \in L)$  に対してのみ取得画像ごとに ON/OFF 状態を調べ、光源の抽出処理は  $f/2$  に 1 回実行することで処理負荷の軽減を図る。

### 3.3.4 プリアンブルの受信手順

プリアンブルの受信時の状態遷移図を図 6 に示す。 $T_c$  は点灯または消灯のいずれかの状態の継続時間であり、現在時刻  $Time$  と光源  $l$  のタイムスタンプ  $t_l$  から算出される。単一

の画像から抽出された光源  $l$  は、状態  $s_l = ON$  となって光源リストに登録される。LED の点灯が続き、 $T_c$  がノイズと判断する上限の閾値  $T_{pmax}$  を超えた場合は光源リストから除外する。LED が消灯した場合、プリアンブルを受信し始めたかと判断して状態を  $s_l = OFF$ , タイムスタンプを  $t_l = Time$  に更新して同期を取り、LED が ON になるかどうかを追跡する。LED の消灯が続き、 $T_c$  が  $T_{pmax}$  を超えた場合は光源リストから除外する。LED が点灯した場合、 $T_c$  が閾値  $T_{pmin}$  より長ければ、その光源  $l$  はプリアンブルの送信を完了した LED であると判断し、LED リストへと移動される。ただし、 $T_{pmin} > Time - t_l$  の場合はノイズとして光源リストから除外する。LED リスト内の各要素は 3.3.5 節で述べる手順に従って復号される。

### 3.3.5 傷病者 ID の復号

提案方式では光源の点滅をトリガーに復号処理を実行する。ただし点滅のみに着目した場合、その点滅がデータを表す点滅なのかデータの境目を表す点滅なのか区別することができない。そこで、前回の点滅からの経過時間に着目する。1bit に割り当てる時間を  $f$ , 前回の点滅からの経過時間を  $T_c$  とすると、点滅の発生時に  $T_c > f/2$  ならば、立ち上がりの場合 1, 立ち下りの場合 0 をそれぞれ復号すればよい。

しかし、カメラで取得した連続する画像による見かけ上の経過時間  $T'_c$  と、実際の経過時間  $T_c$  の間には、3.3.2 節で述べたような誤差が発生する。そこで、ビット取得間隔  $I (f'/2 < I < f')$  ただし  $f' = f + \epsilon^{Tx}$  を決定し、 $T'_c$  が  $I$  を超えた場合にのみビットを復号

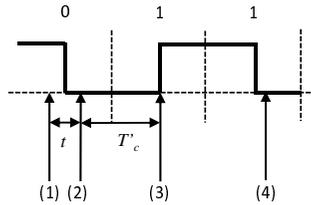


図 9 ビット消失の例  
Fig.9 Bit Loss

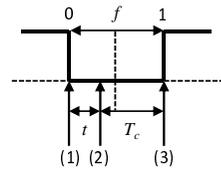


図 10 ビット誤りの例  
Fig.10 Bit Error

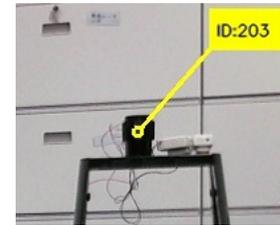


図 11 アプリケーションのスクリーンショット  
Fig.11 Screenshot



図 12 使用する LED  
Fig.12 LED

する．具体的な復号手順を説明する．図 7 は送信機から送信された LED の ON/OFF 状態を表している．受信機では図中の矢印の時点で光源  $l$  の状態を取得した場合を考える．図 8 は復号処理の状態遷移図を示している．まず図 7(a) の変化でプリアンプルの受信を完了し、 $t_l = t_1$  として ON 状態に遷移する (図 8(a))．図 7(b) の変化で図 7(a) からの経過時間  $T_c$  を現在時刻と  $t_1$  から算出し、 $I > T_c$  なので OFF 状態に遷移する (図 8(b))．図 7(c) の変化でも同様に (a) からの  $T_c$  を算出する．この場合は  $I < T_c$  となるため  $ON_d$  状態に遷移し、0 をビット配列  $id_i$  に格納して  $t_l = t_2$  とする (図 8(c))．以下、図 7(d) の変化では  $I > T_c$  なので OFF 状態に遷移し (図 8(b))、図 7(e) の変化で  $I < T_c$  なので  $ON_d$  状態に遷移し、0 をビット配列  $id_i$  に格納して  $t_l = t_3$  とする (図 8(c))．そして図 7(f) の変化では  $I < T_c$  なので  $OFF_d$  状態に遷移し、1 をビット配列  $id_i$  に格納して  $t_l = t_4$  とする (図 8(d))．

3.3.2 節で述べたように、提案方式では  $(f' + t_{max})/2 \leq T_c \leq f' - t_{max}$  が保証される．よって  $I$  は  $f'/2 + t_{max} \leq I \leq f' - t_{max}$  の範囲で定めればよい．ただし、 $I$  の値は適切に定めなければビット消失及びビット誤りの原因となる．ビット消失が生じる例を図 9 に、ビット誤りが発生する例を図 10 に示す．図中の  $t$  は受信機における画像取得間隔である．

図 9 のように、(1) で点滅が発生する直前に画像を取得し、(3) で点滅の発生直後に画像を取得した場合、 $T'_c$  は  $T_c$  よりも最大で  $t$  だけ短くなる．ここで  $T_c = f'$  の場合、(3) で 1 を出力しなければならない．しかし  $I$  が  $f'$  に近い場合、 $I > T'_c$  となる可能性があり、その場合 (3) の点滅をビットの境目と判断するため、(4) で取得した点滅から 0 を復号する．結果として "010" というビット列を "00" と復号することになるので、ビット消失が生じたことになる．従ってビット消失率は  $I$  が大きくなるにつれて大きくなる．ここで  $T'_c > f' - t_{max}$  なので、 $f'/2 < I \leq f' - t_{max}$  ならばビット消失は発生しない．

一方、図 10 のように、(1) で点滅が発生した直後に画像を取得し、さらに (2) で点滅が発

生する直前に画像を取得した場合、 $T'_c$  は  $T_c$  よりも最大で  $t$  だけ長くなる．ここで  $T_c = f'/2$  の場合、(3) の点滅はデータの境目を表す．しかし  $I$  が  $f'/2$  に近い場合、 $I < T'_c$  となる可能性があり、その場合 (3) の点滅をビットデータと判断し 1 を復号する．結果として "00" というビット列を "01" と復号することになるので、ビット誤りが生じたことになる．すなわちビット誤り率は  $I$  が小さくなるにつれて大きくなる．ここで  $T'_c < f'/2 + t_{max}$  なので、 $f'/2 + t_{max} \leq I < f'$  ならばビット誤りは発生しない．

以上より  $t_{max}$  が既知の場合、 $f'/2 + t_{max} \leq I \leq f' - t_{max}$  であればビット誤りもビット消失も発生しない．しかし  $f'/2 + t_{max} > f' - t_{max}$ 、すなわち  $t_{max} > f'/4$  の場合そのような  $I$  は存在しないため、1bit に割り当てる間隔  $f'$  は、受信機の画像取得間隔の最大値  $t_{max}$  の 4 倍よりも長くなくてはならない．

復号時にはノイズの除去も同時に行う．一般的に (i) 高速に点滅しているように見えるノイズと (ii) 点灯/消灯状態が変わらないノイズが存在する．(i) は光源  $l$  の  $T_c$  が閾値  $T_{dmin}$  以下の場合、(ii) は閾値  $T_{dmax}$  以上の場合にそれぞれノイズと判定して LED リストから除外する．これらは図 8 において、点滅が発生していずれかの状態に遷移する場合に判定する．

## 4. 性能評価

### 4.1 実験環境

ID の受信機として提案方式の受信アルゴリズムを実装し、受信した ID と送信機の位置を拡張現実感で表示するアプリケーションを開発し、Web カメラを接続した PC 上で動作させた．アプリケーションのスクリーンショットを図 11 に示す．また、送信機として電子タグに接続した LED を用意した．遠方からの認識を補助するために LED には集光レンズ

表 1 受信機の動作環境

Table 1 Operating Environment of Receiver

OS	Windows7 Professional
CPU	Intel Core 2 Duo P9600 2.53GHz
Memory	2GB
Image Sensor	Logicool HD Webcam C510
Resolution	640 × 320
Programming Language	C++
Library of Computer Vision	OpenCV2.2

表 2 送信機の動作環境

Table 2 Operating Environment of Sender

Hardware	SunSPOT
Programming Language	java
LED	OSW4XME3C1S (OptoSupply 社製)
Radius of LED	10mm

表 3 測定項目

Table 3 Measurement Item

ID 認識成功率 (%)	復号に成功した回数 / ID 送信回数
ID 認識誤り率 (%)	復号に失敗した回数 / ID 送信回数
検出率 (%)	(復号に成功した回数 + 復号に失敗した回数) / ID 送信回数
誤検出数 (個)	LED ではない光源を LED として検出した回数

を取り付け、点滅は電子タグに内蔵されている SunSPOT で制御する (図 12)。受信機の動作環境を表 1 に、送信機の動作環境を表 2 にそれぞれ示す。

実験は一般的なオフィス室内において、送信機と受信機が固定されている理想環境下で単一の LED に対して行う。測定する項目を表 3 に示す。ID 認識成功率は LED の位置を正しく検出し、送信した ID と同一の ID を受信した回数  $R_T$  を ID の送信回数  $N$  で割った割合である。ID 認識誤り率は LED の位置を正しく検出したものの、ビット誤りが発生して送信した ID と異なる ID を受信した回数  $R_E$  を  $N$  で割った割合である。検出率は  $R_T$  と  $R_E$  の和を  $N$  で割った割合であり、LED の位置を正しく検出する精度の指標として用いる。誤検出数は LED 以外の光源を誤って LED として検出した個数であり、ノイズ除去の性能の指標として用いる。

## 4.2 パラメータの影響評価

### 4.2.1 輝度 閾値

輝度閾値  $Y_{TH}$  による LED の検出率への影響を評価するため、輝度閾値を 200 から 250

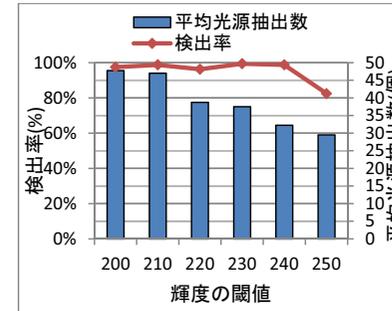


図 13  $Y_{TH}$  による影響 (照明が明るい場合)  
Fig. 13  $Y_{TH}$  vs. Detection Ratio in Bright Room

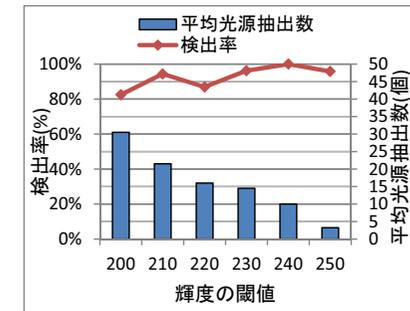


図 14  $Y_{TH}$  による影響 (照明が暗い場合)  
Fig. 14  $Y_{TH}$  vs. Detection Ratio in Dark Room

表 4 誤検出数

Table 4 Number of Detection Error

	輝度の閾値					
	200	210	220	230	240	250
明るい場所	5	1	9	1	0	1
暗い場所	5513	104	52	27	8	4

まで 10 毎に変化させ、LED からの距離が 1m, 5m, 10m, 15m の地点において、LED の周囲が明るい場合と暗い場合それぞれ 40 回ずつ計 320 回 ID を送信し、LED 検出率と画像 1 枚あたりの平均光源抽出数を測定した。その他のパラメータについては  $f = 300[ms]$ ,  $I = 220[ms]$ ,  $T_{dmin} = 50[ms]$  とした。

LED の周囲が明るい場合の測定結果を図 13 に、暗い場合の測定結果を図 14 にそれぞれ示す。折れ線グラフが LED の検出率、棒グラフが 1 枚の画像あたりの平均光源抽出数である。なお、これらのグラフは各距離での測定結果を合算したものである。また、輝度の閾値ごとの誤検出数の一覧を表 4 に示す。

LED の周囲が明るい場合、輝度の閾値が 200~240 の範囲で LED の検出率は 95%以上であった。LED の周囲が暗い場合では、輝度の閾値が 210, 230, 240 の場合に LED の検出率は 90%以上であった。以上より、輝度の閾値は 200 から 240 の間であれば LED の検出率にはほぼ影響がないと言える。一方で表 4 より、輝度の閾値が低いほど誤検出数が多くなる傾向があることが読み取れる。これは図 13 と図 14 から読み取れるように、輝度の

表 5 ビット取得間隔の設定値  
Table 5 Encoding Interval Setting

$f/2 + \delta$	$I$ の下限付近
$f/2 + t_{max} + \delta$	ビット誤りが生じないと考えられる下限付近
$(f - t_{max}) - (f/2 + t_{max})$	ビット誤りが生じないと考えられる下限とビット消失が生じないと考えられる上限の中央値
$f - t_{max} - \delta$	ビット消失が生じないと考えられる上限付近
$f - \delta$	$I$ の上限付近

閾値が下がるほど画像 1 枚あたりの光源抽出数が増えることで、LED の候補点が増えることが原因であると考えられる。また、周囲が明るい場合よりも暗い場合の方が誤検出数が多い。これは周囲が暗い場合、LED の光が反射する箇所が点滅しているように見えるためであると考えられる。以上より最適な輝度の閾値は、LED の検出率が高く画像 1 枚から抽出する光源数が少ない 240 と定めた。以下の測定では全て輝度の閾値には 240 を用いる。

#### 4.2.2 ビット取得間隔

ビット取得間隔  $I$  を変化した場合の ID 認識成功率への影響を評価するため、LED の点滅周期  $f$  が 300ms, 400ms, 500ms の場合について、ビット取得間隔  $I$  を変化させてそれぞれ 40 回ずつ ID の送信を行った。 $I$  には表 5 の値を設定していく。 $\delta$  は誤差を表し、10ms に設定した。カメラから LED までの距離は 8m とし、その他のパラメータについては  $Y_{TH} = 240$ ,  $T_{dmin} = f/6[msec]$  とする。この測定は誤検出数は評価せず、復号の成功率を評価したいので、 $T_{dmin}$  にはある程度の余裕を持たせ、ノイズフィルタリングの精度を弱めに設定した。

測定結果を図 15 に示す。各グラフから  $I$  が大きくなるほど ID 認識成功率が上がり、ID 認識失敗率が下がることがわかる。また、 $I > f - t_{max}$  の場合、ID 認識成功率と検出率が下がり、ID 認識失敗率が上がっている。以上より、 $I$  は  $(f - t_{max}) - (f/2 + t_{max}) \leq I \leq f - t_{max}$  を満たした場合の性能が良いことがわかる。

#### 4.2.3 ノイズと判断する点滅間隔

ノイズと判断する点滅間隔を変化した場合の受信成功率と誤認識数への影響を評価するため、まずノイズが大量に発生するよう輝度閾値を 200 に設定し、 $T_{dmin}$  を 50ms から 140ms に変化した場合の誤検出数を調査した。結果を図 16 に示す。このグラフから、60ms までは多数のノイズを検出するが 70ms 以降は検出数が大きく下がることがわかる。したがって、ノイズは 70ms より小さい周期で点滅しているように見えるという特性を持つことがわかる。よって  $T_{dmin}$  を 70ms 以上に設定すると、ノイズを高精度に除去することがで

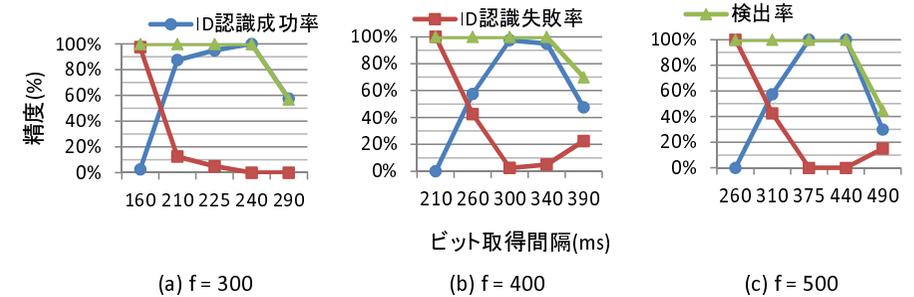


図 15  $I$  による認識精度への影響  
Fig.15 Encoding Interval vs. Accuracy

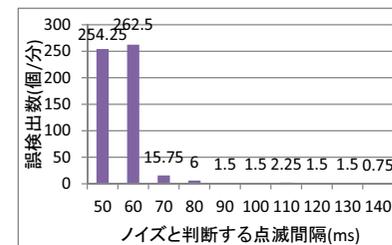


図 16 ノイズの検出数  
Fig.16  $T_{dmin}$  vs. Number of Detected Noise

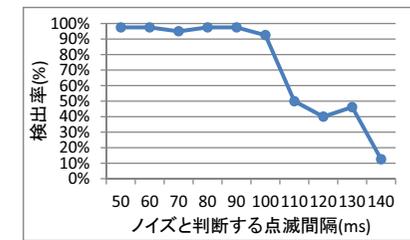


図 17  $T_{dmin}$  による検出率への影響  
Fig.17  $T_{dmin}$  vs. Detection Ratio

きる。続いて  $T_{TH} = 240$ ,  $I = 240$  に設定し、ノイズと判断する点滅間隔を変化した場合の検出率を測定した。カメラから LED までの距離は 8m とし、8bit の ID を 40 回送信した結果を図 17 に示す。このグラフから 100ms を境に認識精度が大きく落ちることが読み取れる。よって精度を保つためには  $T_{dmin}$  を 100ms 以下に設定しなければならないことがわかる。以上の結果から  $T_{dmin}$  の最適値は 80ms と定めた。

#### 4.3 認識距離

前節の評価結果より、 $Y_{TH} = 240$ ,  $I = 240[ms]$ ,  $T_{dmin} = 80[ms]$  に設定し、LED からの距離が 1m, 5m, 10m, 15m の地点において、LED の周囲が明るい場合と暗い場合それぞれ 100 回ずつ 8bit の ID を送信した。1 ビットに割り当てる時間  $f$  は 300ms とする。よって、ID の送信時間は約 3 秒である。結果を図 18 に示す。ID 認識成功率は LED の周

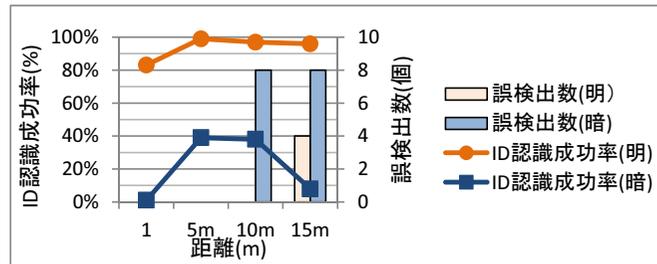


図 18 認識距離と ID 認識成功率  
Fig. 18 Accuracy

囲が明るい場合は約 94%，暗い場合は約 22%であり，LED の周囲が明るい場合の方が認識精度が良いことを確認した．しかし 4.2 節の図 14 の結果より，暗い場合でも検出率は約 90%であることから，暗い場所では復号失敗が増加していることがわかる．これは，カメラに搭載されている明るさの自動調節機能が影響しているものと思われる．また，誤検出の数は明るい場合で全体の 1%，暗い場合で全体の 3%であり，ノイズフィルタリングが高精度に機能していることを確認した．認識時間は最短で約 3 秒であり，最長は 1 パケット目のプリアンプルを逃して 2 パケット目で受信した場合で約 6 秒である．よって認識時間の平均は約 4.5 秒である．以上の結果より，提案方式では明るい室内において 8 ビットの傷病者 ID を平均約 4.5 秒で認識できることを確認した．

## 5. あとがき

本研究では医師が保持する携帯端末上で傷病者の生体情報を拡張現実感技術を用いて表示するため，傷病者に装着した LED を点滅させることで ID を送受信するイメージセンサ通信方式の開発を行った．提案方式では，輝度成分のみを基準として画像中の光源の候補点を抽出し，ノイズを光源の大きさと点滅パターンに基づいて除外する．想定する送受信機では LED の点滅や画像の取得を正確に一定間隔で行うことが困難なため，これらの誤差を考慮し，ビットを誤りなく検出できる必要十分な判定条件を決定した．また，マンチェスター符号を用いて 1 ビット毎に送受信機間の同期を取ることで，誤差の蓄積を回避して ID 認識精度を向上させる．性能評価では，一般的なオフィス室内において送信機と受信機が固定されている理想環境下で，8bit の ID を平均約 4.5 秒で受信することが可能であり，ID 認識成功率は 94 % 以上であるという結果を得た．

今後の課題としては，明るさの変化に応じてパラメータを自律的に調整する仕組みの検討や，手振れに対して堅牢な ID 認識アルゴリズムの考案が挙げられる．本研究では送信側と受信側が共に静止状態で性能評価を行ったが，実際の災害現場で用いる際には手振れを無視することはできない．このためノイズ除去の精度を上げることで一定範囲内の光源の移動を許容する，あるいは光源の周辺の特徴量を基に手振れを補正するといった手法が考えられる．また，実際にスマートフォンなどの携帯端末で動作できるようにさらにアルゴリズムを高速化し，取得した ID に対応した生体情報を表示するアプリケーションを開発することも今後の課題である．

## 参 考 文 献

- 1) 木山昇, 楠田純子, 藤井彩恵, 内山彰, 廣森聡仁, 梅津高朗, 中村嘉隆, 大出靖将, 田中裕, 山口弘純, 東野輝夫. 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. 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.9, pp.1916-1929(2010).
- 2) J.Rekimoto . NaviCam - A magnifying glass approach to augmented reality . Teleoperators and Virtual Environments , Vol.6, No.4, pp.399-412(1997) .
- 3) 加藤博一 . 拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発 . 信学技法 , Vol.101, No.652, PRMU2002-2 , pp.79-86(2002) .
- 4) 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和 . 不可視マーカーを用いたウェアラブル AR システムの実環境における実証実験 . 信学技報 , Vol.104, No.524, PRMU2004-135 , pp.7-12(2004) .
- 5) 松下信行, 日原大輔, 後輝行, 吉村真一, 暦本純一 . ID Cam: シーンと ID を同時に取得可能なイメージセンサ. 信学技法 , Vol.101, No.728, IT2002-3 , pp.105-110(2002) .
- 6) Oike Y, Ikeda M, Asada K . A smart image sensor with high-speed feeble ID-beacon detection for augmented reality system. Proc. of IEEE European Solid-State Circuits Conference(ESSCIRC) , pp.125-128(2003) .
- 7) 香川景一郎, 檀野隆一, 山本幸司, 前田勇希, 三宅康也, 田邊英樹, 政木康生, 布下正宏, 太田淳 . ネットワークを利用した携帯型情報家電マルチリモコン「オプトナビ」システムの基本実証 . 映像情報メディア学会誌 , Vol.60, No.6 , pp.897-908(2006).
- 8) 坂本陽, 三原進也, 島田秀輝, 佐藤健哉. EVAN2: 拡張現実感技術を利用した家電機器操作システム. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム, pp.638-1645(2011).
- 9) A.S. タネンバウム, 水野忠則 (訳), 相田仁 (訳), 東野輝夫 (訳), 太田賢 (訳) . コンピュータネットワーク 第 3 版 . 株式会社ピアソンエデュケーション (1995) .