

高度道路交通システムのための可視光通信における ブロックマッチングを用いた複数情報源の認識手法

白木 康建[†] 山里 敬也[†] 荒井伸太郎^{††} 圓道 知博^{†††} 岡田 啓[†]
藤井 俊彰[†]

[†] 名古屋大学 〒464-8603 名古屋市千種区不老町

^{††} 香川高等専門学校 〒769-1192 三豊市詫間町香田 551

^{†††} 長岡技術科学大学 〒940-2188 長岡市上富岡町 1603-1

E-mail: †shiraki@katayama.nuee.nagoya-u.ac.jp

あらまし LED を高速点滅させることで情報伝送を行う可視光通信において、LED 信号機や LED テールランプから車両へ情報伝送を行う高度道路交通システム (ITS) のための可視光通信が注目されている。本研究では、ITS のための可視光通信において、自車に搭載された高速度カメラで複数情報源を同時に認識する状況を想定する。複数情報源を区別するためにブロックマッチングに基づく高速認識手法を提案し、走行環境を模擬した静止実験により提案手法の性能を評価する。

キーワード LED, 可視光通信, ITS, 複数認識, ブロックマッチング

Multiple LED Arrays Recognition Using Block Matching for Road-to-Vehicle Visible Light Communication

Yasutake SHIRAKI[†], Takaya YAMAZATO[†], Shintaro ARAI^{††}, Tomohiro YENDO^{†††}, Hiraku OKADA[†], and Toshiaki FUJII[†]

[†] Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, JAPAN

^{††} Kagawa National College of Technology, 551 Kouda, Takuma-cho, Mitoyo, 769-1192, Japan

^{†††} Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka-machi, Nagaoka, 940-2188, Japan

E-mail: †shiraki@katayama.nuee.nagoya-u.ac.jp

Abstract Visible light communication systems which enable data transmission by blinking LEDs at fast rate attract attention for their applications to Intelligent Transport Systems (ITS). In this paper, we assume that there are multiple information sources and we recognize them with on-vehicle high-speed camera in such systems. To distinguish multiple sources, we propose multiple sources recognition method based block matching. We evaluate the proposed method by performing experiments.

Key words LED, Visible Light Communication, ITS, Multiple LED Arrays Recognition, Block Matching

1. まえがき

LED は白熱灯に比べ長寿命で消費電力が低く、視認性に優れ発熱が少ないなどの利点を持つため、信号機や照明などに LED が用いられるようになった。LED 照明は急速に普及が進んでおり、今後あらゆる所で用いられる可能性が高い。LED は高速点滅が可能な半導体であるため、人間の目に絶えず光って見える程の速さで点滅させる事で照明や表示として使うと同時に音声情報やデジタル情報を送信する通信機器として使うこと

も可能である [1]。可視光を高速に変調させて行う無線通信を可視光通信と呼ぶ。LED を単なる照明として用いるだけでなく情報伝送デバイスとしても用いることができればユビキタス通信の実現につながると期待されている [2]。

可視光通信の応用として、高度道路交通システム (ITS) に適用することが考えられている。ITS とは、情報通信技術を用いて道路交通における問題を解決し、交通の快適性の向上を目的とする交通システムである。システムの例として、ドライバーに対する交通情報や運転支援情報の提供を目的とした車両同

士の通信 (車々間通信) や道路インフラと車両との通信 (路車間通信) などがある。ITS のための可視光通信として、送信機に LED 信号機、受信機に車載高速度カメラを用いた路車間可視光通信システムについて研究が行われている [3]。LED 信号機に通信機能を付加することにより、信号機を設置している付近の道路状況等をドライバーにリアルタイムに提供することが実現可能であると考えられる [4]。従来研究では実際に走行実験も行われ、路車間可視光通信システムの有効性が示されている。

従来では通信対象は 1 機の LED 信号機だけであると想定して研究し、通信実験が行われてきた。しかし、LED テールランプを利用して可視光通信を車々間通信へ応用すること等も考慮に入れると、通信対象が複数存在する場合を考慮する必要がある。具体的には、通信対象とそうでないものを区別するだけでなく、通信対象同士を区別して通信するということが課題となる。そこで本研究では LED 信号機や LED テールランプ等の複数の LED 光源が同時に通信対象となり、通信するという状況を考える。通信対象が複数存在する場合に考えられる問題としては、受信機側では通信対象の数についての情報を持っていないことや、撮影画像上で複数の通信対象を統合して認識することが考えられる。本稿ではブロックマッチング [5] を利用することにより、複数の通信対象を高速認識する手法を提案する。

本稿は以下のように構成されている。第 2 章で本研究で想定する可視光通信のシステムモデルについて説明し、第 3 章では提案するブロックマッチングを用いた複数情報源の認識手法について説明する。第 4 章で実験により提案手法を評価し、最後に第 5 章でまとめる。

2. システムモデル

図 1 にシステムモデルを示す。送信側では、LED 信号機などの送信機が複数存在すると想定する。各送信機はそれぞれ独立に、入力データから情報源が持つ個々の LED の点滅パターンを決定しデータを送信する。受信側では高速度カメラにより送信機を撮影する。撮影画像には複数の送信機が同時に写る場合を考えているため、図 2 に示す画像処理により各送信機を認識・区別した後、個別に受信データを復号する。

画像処理は複数情報源認識、情報源検出、情報源追跡、LED 位置推定、輝度値抽出の処理に分かれている。撮影画像内に通信対象が 1 つだけしか存在しないのであれば従来の方法で情報源を検出・追跡することにより通信が可能である [6]。そこで、複数情報源認識において撮影画像内に写っている複数の通信対象を図 3 のように空間的に分離することを考える。撮影画像から各通信対象を 1 つずつ含む小さな領域 (図中の枠で囲まれた領域) を切り出し、各領域で独立に追跡・復号を行うことで、通信対象が複数の場合でも、通信対象が 1 つだけの場合と同じようにデータを復号できると考えられる。複数情報源認識により個々の情報源が区別された後、情報源検出では個々の情報源の領域内から送信データのヘッダ部を検出することにより、情報源でないものを完全に除外しデータの開始位置を見つける。次の情報源追跡では、走行環境で撮影画像上での位置が変化する

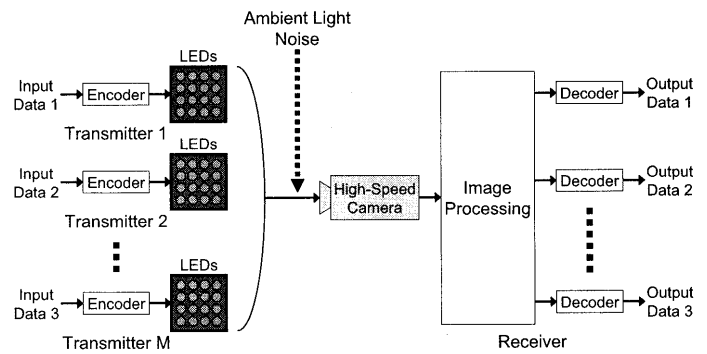


図 1 システムモデル

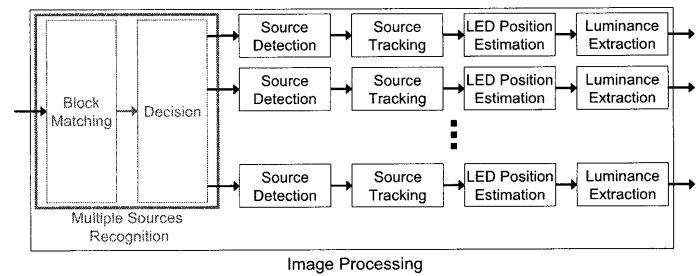


図 2 画像処理

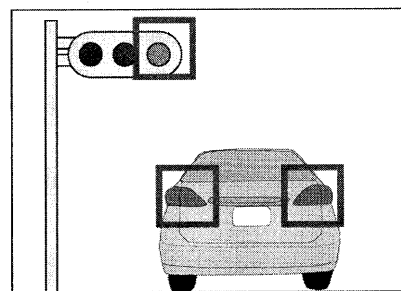


図 3 情報源の空間分離

情報源を追跡する。撮影画像からデータを取り出すためには情報源の個々の LED の輝度値を得る必要であるため、LED 位置推定で個々の LED の位置を決定する。輝度値抽出で、推定した個々の LED の位置に対応するピクセルから輝度値を得る。

この方法で独立に情報を取得する場合に重要となるのは、各通信対象を正確に空間的に分離することである。ここでは、空間的分離を行う複数情報源認識の方法としてブロックマッチングを用いる手法を提案する。

3. 複数情報源の認識手法

本章では提案する複数認識手法について、ブロックマッチングと情報源判定の 2 つに分けて説明する。

3.1 ブロックマッチング

ブロックマッチングとは、画像間の対応位置を求めるための手法であり、動画像符号化やパターン認識などの分野で応用されている。複数情報源の認識にブロックマッチングを適用する方法を以下で説明する。

ここでは 2 連続画像 f_{t-1} , f_t 間についての処理を考え、まず情報源が画像内に含まれない場合を考える。高速度カメラで

撮影していることから、画像内に写っているものは f_{t-1} , f_t 間ではほとんど変化がないといえる。さらに、 f_t 上の小さな領域(ブロック)に注目した場合、ブロック内に写っているもの全ての f_{t-1} , f_t 間での移動量は同じだとみなせる。そこで、 f_t を複数のブロックに分割してブロック単位で f_{t-1} と比較した場合、ブロック毎に f_{t-1} 上に極めて類似した場所が存在することになる。

次に、情報源(LED)が画像内に存在する場合について考える。情報源以外の背景に関しては前述の理由により f_{t-1} , f_t 間に対応する位置が存在するが、情報源については高速に点滅しているため、 f_{t-1} , f_t 間でも画像上での点滅パターンが異なる。そのため f_t をブロック単位で f_{t-1} で比較した場合、情報源を含むブロックは f_{t-1} 上に類似した場所が存在しなくなる。

以上のことから、 f_{t-1} , f_t 間でブロック単位で類似する点が見つかるかどうかでブロック毎に情報源が存在するかどうかを判定できると考えられる。 f_{t-1} , f_t 間のブロック単位での対応点を探索する方法としてブロックマッチングを用いる。

ブロックマッチングでは、まず f_t を小さなブロックに分割する。次に各ブロック毎に、 f_{t-1} 上のどこに対応するのかを示す位置(動きベクトル)を計算する。動きベクトルを求めるにあたり f_{t-1} のブロックと f_t 間の類似度(相違度)を求めるための評価指標が必要となる。ここではその評価指標として下式で表現される絶対差の総和(SAD:Sum of the Absolute Differences)を用いる。

$$SAD_{(p,q)} = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} |f_{t-1}(i_0 + i - p, j_0 + j - q) - f_t(i_0 + i, j_0 + j)| \quad (1)$$

(p, q) は対応位置候補の動きベクトル、 N はブロックサイズ(ブロックの1辺のピクセル数)、 (i_0, j_0) はブロックの左上のピクセルの座標、 t はフレーム番号であり、 f は画像上の対応するピクセルの輝度値を表す関数となる。探索範囲 R 内において $SAD_{(p,q)}$ が最小となる (p_{min}, q_{min}) をそのブロックの位置ベクトルとする。これを式で表すと以下となる。

$$(p_{min}, q_{min}) = \underset{(p,q) \in R}{\operatorname{argmin}} SAD_{(p,q)} \quad (2)$$

ブロックマッチングを情報源認識に適用する場合には動きベクトルではなく f_{t-1} のブロックと f_t 間の相違度を求めるための評価指標が重要となる。この位置ベクトルを決定するための式(2)内の値 $\min_{(p,q) \in R} SAD_{(p,q)}$ を情報源判定に用いる。

3.2 情報源判定

情報源を含まない背景のみのブロックに注目した場合には、 f_{t-1} , f_t 間でほとんど変化がないため式(2)においてブロック毎での評価指標の最小値である $\min_{(p,q) \in R} SAD_{(p,q)}$ は小さな値をとる。しかし、情報源が含まれるブロックに注目した場合には f_{t-1} , f_t 間で情報源の点滅パターンの差があるため $\min_{(p,q) \in R} SAD_{(p,q)}$ の値は大きくなる。情報源判定の評価指標を $\frac{\min_{(p,q) \in R} SAD_{(p,q)}}{N^2}$ 、情報源が含まれるブロックかどうかを判定する閾値を T とすると、 $T > \frac{\min_{(p,q) \in R} SAD_{(p,q)}}{N^2}$ のときブロック内に情報源が含まれないと判定し、 $T \leq$

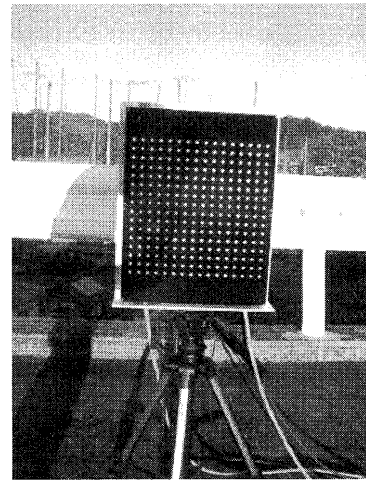


図4 LEDアレイ

$\frac{\min_{(p,q) \in R} SAD_{(p,q)}}{N^2}$ のときブロック内に情報源が含まれていると判定する。このとき、判定閾値 T はブロック内におけるピクセル当たりの2連続画像間での輝度値差分を見る閾値を意味する。高速度カメラで取得できる最大輝度値は255であるため判定閾値 T の範囲は $0 \leq T \leq 255$ である。情報源判定の評価指標 $\frac{\min_{(p,q) \in R} SAD_{(p,q)}}{N^2}$ のとりうる値は撮影距離やブロックサイズ等によって変化するため、判定閾値 T として適切な値をどのように決定するかを考慮する必要がある。

4. 実験

提案手法の性能を評価するために、静止環境での実験と走行環境の模擬実験を行った。実験に用いた高速度カメラの使用を表1に示す。

4.1 静止環境

図4に示すようなLEDアレイを2台を用いて実験を行った。1台は 16×16 個、もう1台は 16×16 のLEDが取り付けられている。静止環境では2種類の実験を行った。1つ目は提案手法で情報源とそうでないものを区別できるか、2つ目は複数情報源を認識できるかを評価する実験である。静止実験での諸元を表2に示す。

4.1.1 情報源と情報源でないものの区別

1台のLEDアレイを高速点滅させ、もう1台のLEDアレイを常時点灯の状態にして撮影した画像に対して提案手法を用いた。

判定結果の例を図5に示す。図の撮影画像において白枠で囲まれた領域が情報源があると判定された領域である。全撮影画像において高速点滅させたLEDアレイ(図の左側)のみを情報源であると認識し、常時点灯させたLEDアレイ(図の右側)は情報源であると認識されることはなかった。このことから、提案手法は静止環境であれば情報源とそうでないものを区別できると言える。

4.1.2 複数情報源の認識

次に、2台のLEDアレイを両方共に高速点滅させて撮影した画像に対して提案手法を用いた。

表 1 高速度カメラの仕様

カメラ型名	フォトロン社製 FASTCAM-1024PCI 100K
撮像素子	CMOS イメージセンサ
レンズ型名	ニコン社製 NIKKOR 35mm f/1.4
焦点距離	35mm

表 2 実験諸元 (静止実験)

LED 点滅速度	4kHz
撮影速度	1000fps
レンズの焦点距離	35mm
レンズのピント	無限遠
レンズの絞り	32
通信距離	80m
撮影フレーム数 F	4500 枚
ブロックサイズ N	8

判定結果の例を図 6 に示す。全撮影画像において両方の LED アレイ (図の左側) を情報源であると認識した。提案手法は情報源が複数存在する場合でもそれぞれを個別に認識することができる。

4.2 走行環境の模擬

カメラを揺らしながら撮影することにより走行実験の模擬を行った。静止環境と同様の撮影環境で実験をしたところ、図 7 に示すように LED アレイの後方に写っていた外灯 (図の上部) も情報源であると誤認識してしまう場合があった。誤認識が発生した原因として、ブロックマッチングの際に 2 連続画像間の対応位置を探す指標として用いた SAD では 1 ピクセルより小さい移動量に対応できないことが考えられる。対応しきれない画像間のずれにより、差分処理後に外灯の輪郭の形に残った差分が情報源と誤認識される。より詳細に評価を行うため、表 2 に示す実験諸元で実験を行った。

各通信距離、ブロックサイズ N 、判定閾値 T について図の左側の LED アレイと外灯について見逃し率と誤認識率を実験から求めた。見逃し率 P_m と誤認識率 P_f をそれぞれ以下のよう

$$P_m = 1 - \frac{F_{source}}{F_{all}} \quad (3)$$

$$P_f = \frac{F_{noise}}{F_{all}} \quad (4)$$

ここで、 F_{source} は LED アレイを情報源と認識したブロックが 1 つでも存在するフレーム数、 F_{noise} は外灯を情報源と誤って認識したブロックが 1 つでも存在するフレーム数、 F_{all} は全撮影フレーム数である。

最初に、実験での撮影画像のうち 2 連続画像が全点灯と前消灯という組合せの場合 (送信情報のヘッダ部) について評価した。サンプル数が少ないため結果として示すことは出来ないが、判定閾値、ブロックサイズの値に関わらず見逃し率が 0 となっていることを確認した。

次にデータ部について、図 8 に通信距離が 10m の場合に判定閾値 T を変化させていった場合の誤認識率と見逃し率の関係を示す。判定閾値毎に見ると、ブロックサイズが小さいほど見

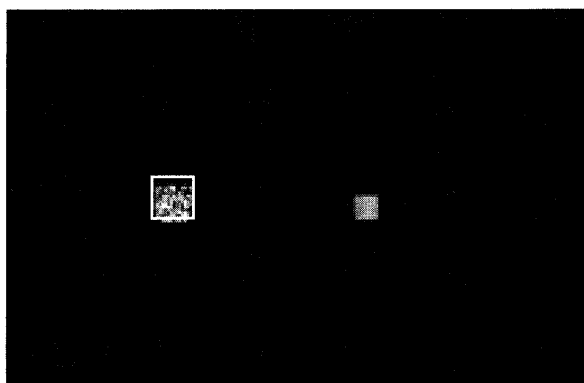


図 5 片方の LED アレイを高速点滅させ、もう一方を常時点灯させた場合の判定結果

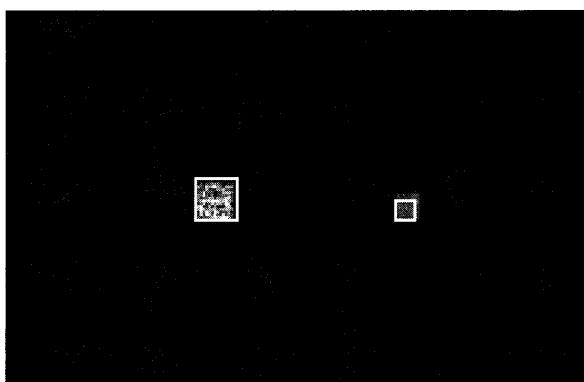


図 6 両方の LED アレイを高速点滅させた場合の判定結果

表 3 実験諸元 (走行環境の模擬)

LED 点滅速度	4kHz
撮影速度	1000fps
レンズの焦点距離	35mm
レンズのピント	無限遠
レンズの絞り	32
通信距離	10m-70m, 20m 間隔
撮影フレーム数 F	4500 枚
ブロックサイズ N	4, 8, 16, 32
判定閾値 T	5-100

逃し率は下がるが誤認識率は大きくなり、大きいほど誤認識率は下がるが見逃し率は大きくなる。これは他の通信距離においても共通する結果であった。これは、ブロックサイズが小さい場合、2 連続画像間で完全に対応しない分の誤差により生じるピクセル当たりの評価指標 $\frac{\min_{(p,q) \in R} SAD_{(p,q)}}{N^2}$ が各ブロックで大きくなりやすく、逆にブロックサイズが大きいほど各ブロックでの評価指標の値が大きくなりにくいからである。ブロックサイズ N と判定閾値 T の変化に対し誤認識率と見逃し率はトレードオフの関係である。誤認識率に関しては、情報源検出処理で誤認識したものを情報源候補から除外できるため、問題となるのは見逃し率である。

次に、図 9、図 10 に最も見逃し率が高くなるブロックサイズ ($N = 32$) のときのデータ部における閾値 T 毎の誤認識率、見逃し率をそれぞれ示す。図 9 より、どの距離についても $T \geq 20$

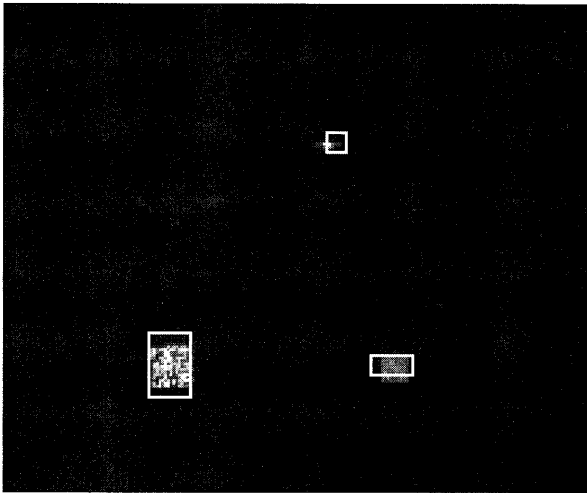


図 7 外灯を情報源と誤認識した判定結果

で誤認識率は 0 に抑えることができていない。一方で図 10 より、誤認識率と比較すると見逃し率は大きな値を示し、どの距離においても見逃してしまう場合があり、見逃し率を抑えることができていない。特に撮影距離が遠くなるほど悪くなる。これは、ランダムなパターンで送信されるデータ部が撮影距離が遠いため撮影画像がぼやけ、LED アレイの個々の点滅を区別できなくなっていることが原因と言える。結果として 2 連続画像間で点滅パターンの差が見かけ上大きく現れず、評価指標が判定閾値を超えるほど大きくならなかつたと考えられる。

5. まとめ

本稿では、複数情報源が存在する場合での可視光通信について、撮影画像からブロック単位で複数情報源を認識する手法を提案した。

提案手法は静止環境での実験では情報源とそうでないものを区別でき、情報源が複数存在する場合でもそれぞれを認識することができた。しかし、走行環境を模擬した実験では情報源でないものまで情報源であると誤認識した。

走行環境を模擬した実験においてブロックサイズと判定閾値の変化に対して誤認識率と見逃し率はトレードオフの関係にあることを確認した。誤認識率についてはその後の情報源検出処理で誤認識された情報源候補を除外できるため問題ではないが、見逃し率は判定閾値を下げても抑え切ることができなかった。今後の課題として送信情報のヘッダ部とデータ部を切り分け、ヘッダ部での見逃し率について詳細に評価する必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、適切なアドバイスと有意義な議論を頂いた名古屋大学エコトピア科学研究所片山正昭教授及び小林健太郎助教に感謝する。本稿の一部は総務省 SCOPE 及び科研基盤 (c) の助成を受けて行われたものである。記して謝意を表する。

文 献

- [1] G. Pang, T. Kwan, H. Liu, Chi-Ho Chan, "LED wireless," IEEE Industry Applications Magazine, vol. 8, no. 1, pp.

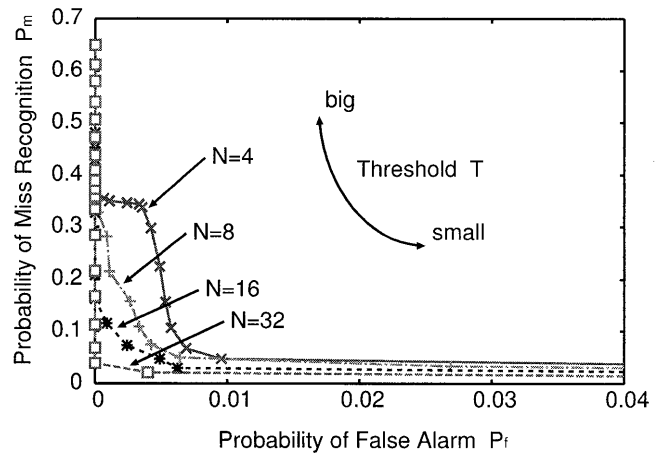
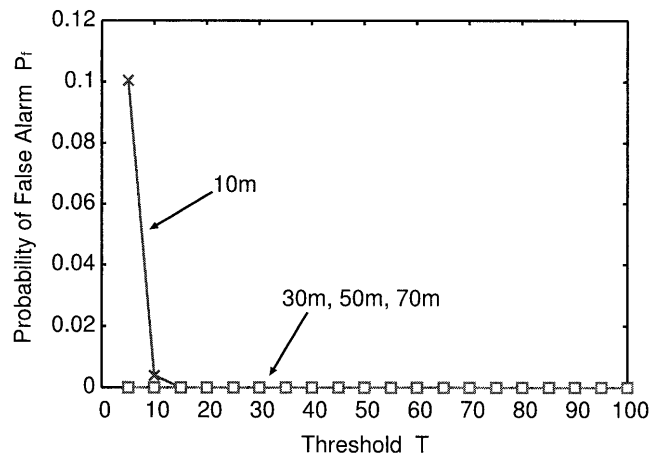
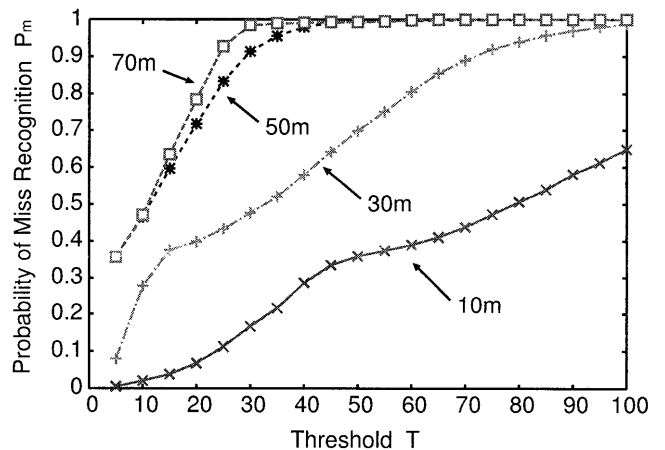


図 8 データ部における判定閾値の変化に対する誤認識率と見逃し率の関係 (撮影距離 10m)

図 9 データ部における判定閾値毎の誤認識率 ($N = 32$)図 10 データ部における判定閾値毎の見逃し率 ($N = 32$)

21-28, Jan./Feb. 2002.

- [2] 中川正雄, "コピキタス可視光通信," 電子情報通信学会 B, 通信, Vol.J88-B, No.2, pp.351-359, 2005 年 5 月.
- [3] S. Arai, S. Mase, T. Yamazato, T. Endo, T. Fujii, M. Tanimoto, K. Kidono, Y. Kimura, and Y. Ninomiya, "Experiment on hierarchical transmission scheme for visible light communication using LED traffic light and high-speed camera," Proc. of 1st IEEE International Symposium on Wireless Vehicular Communications, Sep. 2007.

- [4] 山里敬也, “LED アレイと高速度カメラを用いた可視光通信への応用,” 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ誌, Vol.3, No.2, pp.45-53, 2009 年 10 月.
- [5] 古閑敏夫, 平野昭, 大木淳一, 飯沼一元, “会議テレビ信号の動き補償フレーム間符号化,” テレビジョン学会技術報告, Vol.5, No.9, pp.85-90, 1981 年 7 月.
- [6] T. Nagura, T. Yamazato, M. katayama, T. Yendo, T. Fujii, H. Okada, “Tracking an LED Array Transmitter for Visible Light Communications in the Driving Situation,” IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems, Sep. 2010.