

# 歩行中のスマートフォン使用時における 障害物検出および提示手法の提案と評価

野田口 宗<sup>†1,a)</sup> 赤池 英夫<sup>†1</sup> 角田 博保<sup>†1</sup>

**概要:** スマートフォン普及の裏では、歩行時の使用とそれに伴う対人衝突事故などが発生している。人通りが多い道での使用は危険だが、人通りの少ない道で障害物や前方の人を検出し、回避することができれば、歩きながら安全に使用することも可能である。そこで、本研究ではスマートフォンで撮影した動画のHSV色空間やエッジを用いて障害物を検出し、リアルタイムに使用者へ提示するという手法の提案と評価を行った。

**キーワード:** スマートフォン, 障害物検出, 画像処理, 事故防止

## 1. はじめに

近年、スマートフォンが急速に普及してきている。それに伴い、歩きながら使用する人も増えており、人に衝突することや駅のホームからの転落といった事故につながる可能性がある。これは、携帯電話に比べてスマートフォンのサイズが大きいため、視界を塞ぐ範囲が増加したことや画面に意識をより集中させていることが原因の一つでもある。1092人を対象に、歩きながら携帯電話を操作した経験の有無に関する調査<sup>\*1</sup>が行われたところ、歩きながら操作をしている人は約90%もいるという結果が出た。また、NTTドコモは周囲の人に迷惑なため、歩行中の使用は止めてほしいと注意喚起している。

これらのことを踏まえ、人通りが多いところでの使用は避けるべきだが、人通りが少ないところならば歩きながら使用してもよいのではないかと考えられる。しかし、万が一でも人や障害物に衝突してしまうことは回避しなければならない。

そこで本研究では、屋外を歩いているときにスマートフォンのみを用いて前方の障害物を検出し、使用者に注意喚起するシステムの提案、実装、評価を行う。

## 2. 関連研究

携帯電話とスマートフォンを用いた研究として、名坂ら [1]、高山 [2] による研究がある。

名坂らのシステムは、歩きながらスマートフォンを使用するときの事故防止を目的としたものである。これは、加速度とカメラの画像からのオプティカルフローを計算することで使用者の歩行を検知し、画面をOFFにするものである。このシステムは、周囲に人が存在するか否かに関わらず、歩行しながらの使用自体が禁止されてしまうという点で、本研究とは異なっている。

高山のシステムは、視覚障害者用のシステムであり、携帯電話を使用して横断歩道を検出するものである。研究の方向性は似ているが、本研究では検出対象を人や障害物としているという点で異なる。

障害物を検出する際に、地面の色情報やエッジを用いる研究として、Pengら [3]、大木 [4] の研究がある。

Pengらのシステムは、視覚障害者用であり、カラーヒストグラムとエッジを用いることで、床上の障害物を検出し、使用者に音声や振動で知らせている。しかし、明瞭な床(屋内など)での使用という制限がなされており、屋外での使用を想定している本研究とは、この点で異なる。

大木のシステムは、色情報としてYUVを用いている。しかし、色情報を用いると地面に色がついた模様なども検出してしまふ。本研究ではHSVの色相Hを除いた、彩度Sと明度Vのみを用いている点で異なる。

その他にも、障害物を検出する研究として、Bernabei

<sup>†1</sup> 現在、電気通信大学大学院情報理工学専攻情報・通信工学専攻  
Presently with Graduate School of Informatics and Engineering Department of Communication Engineering and Informatics The University of Electro-Communications

a) nodaguchi01@gulf.cs.uec.ac.jp

\*1 インターネットコム, goo リサーチによる調査。

ら [5], 竹上 [6], 山内ら [7], 柳原ら [8], 久徳ら [9] の研究がある。

Bernabei らのシステムは, 深度カメラとして Microsoft の Kinect を用いて 3 次元の障害物を検出し, 使用者に知らせている。しかし, 体の前面に Kinect を装着しなければならず, 現状では利用者への負担が避けられない。

竹上のシステムは, 視覚障害者用であり, 超音波を用いて障害物を検出するものである。しかし, 超音波は想定した通りに反射せず, 上手く障害物を検出できないこともある。

山内らのシステムは, 人の検出に HOG 特徴量を用いている。HOG 特徴量の計算は処理が重く, スマートフォンではリアルタイムに検出ができない可能性がある。

柳原らのシステムは, 道路を横断する歩行者の検出にテンプレートマッチングを用いるというものである。HOG 特徴量と同様に処理が重いので, リアルタイムに実行できない可能性がある。

久徳らのシステムは, 車載カメラを用いて道路上の不特定障害物を検出するものである。しかし, 過去の映像との差分を用いているため, 初めての道路でも対応することができる本研究とはこの点で異なる。

### 3. 提案システム

スマートフォンを用いて前方の障害物を検出し, 使用者へ知らせるシステムの提案と実装を行った。システムは, HSV 色空間の SV 値を用いた手法とエッジを用いた手法の 2 種類を使用している。

#### 3.1 設計方針

歩きながらスマートフォンを使用する際に, 障害物検出用として機器などを装着することは利用者への負担となるため, スマートフォンのみを用いることにした。前方の障害物を検出する手段として, スマートフォンのカメラからの映像を OpenCV を用いて画像解析する方法をとった。また, スマートフォンで前方を映す際は, 自然に手で持つことを想定しているため, カメラの映像には足元の地面から少し前方までが映ることになる。

#### 3.2 SV 値を用いた手法

OpenCV は, HSV 値の上下の閾値を設定することで閾値内の値をもつピクセルを検出する機能を提供している。しかし, HSV 値のうちのどれかひとつが閾値からはずれると検出できなくなってしまう。また, 日光が当たる地面は HSV の値が不安定であり, 一見同じに見える地面でも大きく値が異なることがある。そのため, HSV すべてに閾値を設定して障害物を検出することは難しい。特に, H は値が安定しないため SV 値のみを用いることにした。

これらを踏まえ, 足元の地面の SV 値を基準にし, その



図 1 元画像

Fig. 1 Original image.



図 2 SV 値を用いた手法の検出例

Fig. 2 Example of detection using SV values.



図 3 エッジを用いた手法の検出例

Fig. 3 Example of detection using edges.

値から遠くなればなるほど大きな得点を個々のピクセルに対して与えることにした。さらに, 影の誤検出をなくすために, 大まかな影の SV 値を設定し, その値から遠くなればなるほど大きな得点をピクセルに与えることにした。大まかな影の閾値の設定は, 実際に屋外の影から SV 値を抽出し, それらの影の多くをカバーできる範囲を設定した。

可能であれば, 閾値を固定せずに影の除去ができることが望ましい。そのような, 影を除去する方法として, 田中ら [10] の研究がある。しかし, 背景画像を用いて影の除去を行うため, リアルタイムに使用することはできない。このように, 影の除去に関しては未だ検討中であるが, まずは上記のような方法を採用することにした。

図 1 の画像に本手法を用いた例を図 2 に示す。足の部分がマゼンタ色になっており, 上手く検出されていることがわかる。

#### 3.3 エッジを用いた手法

OpenCV には各種のエッジ抽出機能があり, 本研究では Laplacian フィルタを用いている。実際に物理的なモノ(障害物)が存在し, そのエッジが抽出できれば, ここでの目的に利用できる。しかし, カメラの映像は 2 次元であるため, 模様や小石なども検出してしまう。

そこで, カメラの前方からつながるエッジが利用者の進行方向に沿って一定の長さ以上となるときにだけ検出するようにした。

図 1 の画像にこの手法を用いた例を図 3 に示す。足の側面が赤くなっており, 上手く検出されていることがわかる。

#### 3.4 想定利用環境

人通りがあまり多くない野外を想定している。

- 主な場所
  - 歩道
  - 路地
- 主な検出対象
  - 人



図 4 予備調査の環境

Fig. 4 Environment of a preliminary investigation.

表 1 被験者のデータ

Table 1 Body height and eyesight of subjects.

	身長 (cm)	視力 (右)	視力 (左)
被験者 1	169	1.0	1.0
被験者 2	162	1.5	0.9
被験者 3	156	1.0	0.9
被験者 4	164	0.8	0.8
被験者 5	178	0.2	0.2

－ 障害物（電柱など）

#### 4. 予備調査

スマートフォンで前方の障害物を検出して回避するには、ある程度先の障害物を検出できなければいけない。そこで、歩きながらスマートフォンを使用したときに、どの程度先の距離までが映るかを調べた。

##### 4.1 タスク

場所は、障害物や他の歩行者が存在しない体育館（図 4）で、1 周が約 80m の八角形を 2 周半、合計で約 200m の距離を歩くタスクとした。その際は、スマートフォンで文章を読みながら歩き、普段歩きながら使用するときと同じペースで行動するよう指示を与えた。また、普段のように画面へ集中させるために、被験者には歩行終了後に読んでもらった文章の中から 5 択の選択問題を 10 問出すことを事前に伝えた。問題の難易度は、読んでいるうちに自然に頭に入る内容を選んだため、難しい問題ではない。

##### 4.2 被験者

被験者は 5 名（男性 4 名、女性 1 名）で、全員が歩きながらスマートフォンを使用した経験がある。スマートフォンを持つ際の高さや角度に関係あると考えられる情報として、被験者の身長と視力を表 1 に示す。

##### 4.3 調査結果

予備調査の結果を表 2 に示す。「映る距離」は 3.5 から 6.2m、歩く速さは 0.66 から 0.87m/s と個人差があった。「映る距離」に関して、身長、視力、姿勢などのデータとの一般的な関連性は明確には分からなかった。たとえば、最も身長の低かった被験者 3 は、姿勢がよく、あまり頭を下

表 2 予備調査結果

Table 2 Result of a preliminary investigation.

	映る距離 (m)	歩く速さ (m/s)
被験者 1	4.8	0.87
被験者 2	3.5	0.81
被験者 3	6.2	0.67
被験者 4	4.5	0.67
被験者 5	4.0	0.66

表 3 1.2 秒後の両者の距離

Table 3 Distance of 1.2 seconds later.

	1.2 秒後の両者の距離 (m)
被験者 1	2.5
被験者 2	1.2
被験者 3	4.1
被験者 4	2.4
被験者 5	1.9

に向けずに歩いていたので、「映る距離」が最も長かったのではないかと考えている。

ここで、歩行中に前方から人が歩いてきたことをシステムで検出し、使用者に知らせることを考えてみる。前方の人の速さを、一般的な人の歩く速さである秒速 1.1m とする。また、システムは人を検出して 1 秒で知らせるものと仮定する。さらに、人が何かに気づいてから反応するまでに約 0.2 秒かかるとする。

以上のことと、調査結果の「映る距離」と「歩く速さ」から、前方に人がいることに気づいた瞬間である「1.2 秒後の両者の距離」が求められる。両者の歩く速さの合計を式 (1) とすると、1.2 秒後の両者の距離は式 (2) で表すことができる。

歩く速さの合計 =

$$\text{一般人の歩く速さ} + \text{被験者の歩く速さ} \quad (1)$$

1.2 秒後の両者の距離 =

$$\text{映る距離} - \text{歩く速さの合計} \times 1.2 \quad (2)$$

各被験者の 1.2 秒後の両者の距離を求めたものを表 3 に示す。当然ではあるが、1.2 秒後の両者の距離は 1.2 から 4.1m と個人差がある。1.2 秒後の両者の距離が平均値付近の 2.4m である、被験者 4 を例としたものを図 5 と図 6 に示す。この図を見ると、前方の人に気づいてから回避することが可能な距離であると言える。

その結果を踏まえ、他にカメラなどを装着せずに、デバイスはスマートフォンのみとした。

#### 5. 障害物検出実験

2 種類のシステムを用いて、障害物の検出実験を行った。

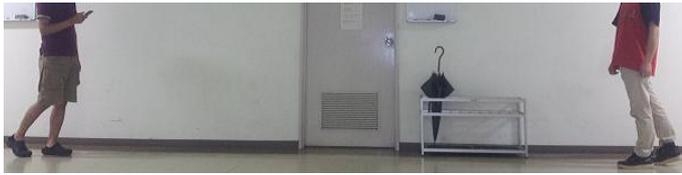


図 5 検出直前の距離 (4.5m)  
Fig. 5 Distance of just before detection(4.5m).



図 6 1.2 秒後の距離 (2.4m)  
Fig. 6 Distance of 1.2 seconds later(2.4m).

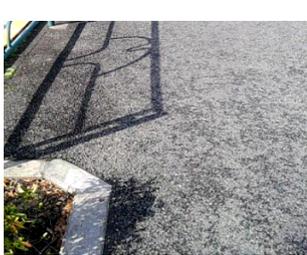


図 7 アスファルトの歩道  
Fig. 7 Sidewalk paved with asphalt.



図 8 タイルの歩道  
Fig. 8 Tiled sidewalk.

使用した機器は、Samsung の GALAXY S2 である。

### 5.1 検出の対象

障害物として、使用者の前方にいる人のみを対象とした。ただし、自転車に乗っている人は除外した。また、誤検出の対象は、影や地面の模様や表面の凹凸とした。

### 5.2 実験環境

今回の実験は 2 カ所で行ったが一般的に見られる環境である。一方は表面の粗いアスファルトの歩道(図 7)であり、他方は表面の綺麗なタイルの歩道(図 8)である。データ採取日の天候の関係から前者では影があり、後者ではなかった。

### 5.3 実験内容

障害物の検出にあたり、正検出、検出漏れ、誤検出を定めた。正検出とは、スマートフォンの画面内の障害物を検出できる位置に人が存在し、システムが反応した場合である。検出漏れとは、人が存在してもシステムが反応しない場合である。誤検出は、人が存在しない状況でシステムが反応する場合である。検出漏れと誤検出は検出失敗となる。また、検出対象としていない障害物が検出された際は、検出



図 9 元画像  
Fig. 9 Original image.



図 10 影の誤検出  
Fig. 10 False detection of shadow.



図 11 元画像  
Fig. 11 Original image.

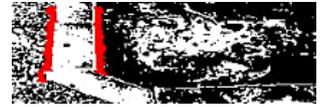


図 12 地面の境目の誤検出  
Fig. 12 False detection of boundary.

表 4 SV 値を用いた手法の結果

Table 4 Result of the method using SV values.

	正検出	誤検出	検出漏れ
アスファルト (1 回目)	3	4	3
アスファルト (2 回目)	6	6	9
タイル (1 回目)	5	0	4
タイル (2 回目)	7	0	1

表 5 エッジを用いた手法の結果

Table 5 Result of the method using edges.

	正検出	誤検出	検出漏れ
アスファルト (1 回目)	10	9	0
アスファルト (2 回目)	9	6	0
タイル (1 回目)	15	1	0
タイル (2 回目)	13	1	0

には含めないことにした。歩く距離は約 200m とし、2 種類の手法を 2 カ所で 2 回ずつ行った。

### 5.4 結果

SV 値を用いた手法とエッジを用いた手法の結果を表 4 と表 5 に示す。表 4 の誤検出の原因は、影を障害物と認識してしまったことである。また、検出漏れの原因は地面の SV 値と近い値を持つ服装の人物を検出できなかったためである。次に、表 5 の誤検出についてであるが、これは影の検出(図 10)と歩道わきのアスファルトとコンクリートの境目を検出(図 12)してしまったことが原因である。

正検出、検出漏れ、誤検出を用いて、人検出率を式 (3)、正検出率を式 (4) と定義する。SV 値を用いた手法とエッジを用いた手法の検出率を表 6 と表 7 に示す。

SV 値を用いた手法の人検出率と正検出率は、影がないタイルの地面では約 72% であるが、平均すると人検出率が約 58%、正検出率が約 51% となり、あまり良い結果とは言い難い。

エッジを用いた手法は、今回、どちらの環境でも人検出率は 100% となった。

正検出率に関しても、影がないタイルの地面では約 93% と非常に良い結果である。しかし、影があるアスファルト

表 6 SV 値を用いた手法の検出率

Table 6 Detection rate of the method using SV values.

	人検出率 (%)	正検出率 (%)
アスファルト	45.0	29.3
タイル	71.6	71.6
平均	58.3	50.5

表 7 エッジを用いた手法の検出率

Table 7 Detection rate of the method using edges.

	人検出率 (%)	正検出率 (%)
アスファルト	100	56.3
タイル	100	93.4
平均	100	74.9

の地面では約 56% となっており、平均すると約 75% になる。誤検出が少なく、高い精度で人を検出できるので、少なくとも上記のような環境での利用には期待できる。

ただし、今回の実験のそれぞれの環境での 1 回目と 2 回目の検出に用いた映像はすべて異なるため、同じ映像を用いて検出を行うと今回とは異なる結果になる可能性もある。

$$\text{人検出率} = \frac{\text{正検出}}{\text{正検出} + \text{検出漏れ}} \quad (3)$$

$$\text{正検出率} = \frac{\text{正検出}}{\text{正検出} + \text{誤検出} + \text{検出漏れ}} \quad (4)$$

### 5.5 手法の利点と問題点

SV 値を用いた手法は、地面上のエッジを検出しないため、地面に模様などがあっても誤検出しない。また、影の SV 値によっては、影の誤検出も起こらない。しかし、地面と似た SV 値となる服装の人物や電柱などを検出することができない。

エッジを用いた手法は、人の検出漏れがなく、電柱も検出 (図 13, 図 14) できる。また、影の誤検出をするかしないかは影の向きによる。検出実験の際の影の誤検出は、影のエッジが利用者の移動方向と並行していたことが原因である。もし、影のエッジが利用者の移動方向に直交していれば、誤検出は起きない。

また、エッジ検出において、特に問題となる地面の例を図 15 と図 17 に示す。図 15 のような地面は表面に微小な凹凸があり、短いエッジとして検出 (図 16) してしまうこともある。同様に、図 17 のような地面は、タイルの隙間のエッジを検出 (図 18) してしまうこともある。

## 6. 使用者への提示手法の調査

障害物検出時に、使用者へどのような方法で提示するのが最適かを調べるために調査を行った。



図 13 元画像

Fig. 13 Original image.



図 14 電柱の検出

Fig. 14 Detection of telephone pole.



図 15 元画像

Fig. 15 Original image.



図 16 粗い地面の誤検出

Fig. 16 False detection of rough road.



図 17 元画像

Fig. 17 Original image.



図 18 タイルの誤検出

Fig. 18 False detection of tiles.

### 6.1 タスク

使用者への提示方法として、以下の 4 種類について調査した。

- 音を鳴らす
- 振動させる
- 画面を OFF にする
- 画面上へ警告を出す

音を鳴らす方法と振動させる方法は、音や振動で障害物の検出を知らせるものである。画面を OFF にする方法とは、画面を真っ暗にするものである。画面上へ警告を出す方法は、見ている画面中央付近に「障害物発見」という表示をするものである。

被験者は文章を読みながら歩き、上記の方法で提示されたときに、顔をあげて前方確認動作を行う。そして、再び文章を読みながら歩き始める。終了の合図が来たら、それぞれの方法を終了とした。上記の方法は、上から順に 1 つずつ行っていく、全て終了した後にアンケートを取った。

### 6.2 アンケート

各方法について、以下の 3 項目を 7 段階のリッカート尺度での評価を得た。評価は、7 が最も良い評価である。

- 不快感はなかったか
- 危険だとすぐに察知できたか
- 使ってみようと思ったか

また、4 種類の方法それぞれへの意見と全体的な意見、最も良いと思った方法と最も悪かった方法およびその理由を聞いた。

### 6.3 被験者

被験者は、スマートフォンを歩きながら使用したことがある男性5名である。

### 6.4 調査結果

4種類の方法的調査結果を表8、表9、表10、表11に示す。不快感はなかったかという項目については、振動させる方法が5.8と最も良い評価で、画面上への警告を出す方法が3.8と最も悪かった。危険だとすぐに察知できたかという項目については、画面表示を変化させる2種類の方法的が良い評価であり、音を鳴らす方法が2.6と最も悪い評価だった。また、使ってみたくと思ったかという項目については、画面表示を変化させる2種類の方法的が4.8と良い評価であり、音を鳴らす方法が3と最も悪い評価だった。総合的にみると、音を鳴らす方法以外は好評であった。特に、画面上へ警告を出す方法については、不快感はなかったかという項目の評価は最も悪かったが、使ってみたくかという項目の評価は最も良く、この2つの項目は必ずしも連動するわけではないことが分かった。

それぞれの方法への意見は以下のようなものがあった。音を鳴らす方法には、周囲に騒音がある環境では聞こえないという意見が多かった。振動させる方法には、音よりは分かりやすかったが、それでも気づかない可能性もあるという意見が多かった。画面をOFFにする方法には、機器の不調やタイムアウトと勘違いするかもしれないという意見があった。画面上へ警告を出す方法には、少し邪魔に感じてしまうという意見があった。

最も良いと思った方法は、振動させる方法に1票、画面をOFFにする方法に2票、画面上へ警告を出す方法に2票だった。画面表示を変化させる2種類の的方法については、見た目が変わるので、危険だとすぐに察知できるという意見が多かった。

最も悪いと思った方法は、全員が音を鳴らす方法を選んでいた。その理由として、周囲に騒音がある環境では聞こえないので、気づかないだろうという意見が多かった。

最後に、全体的な意見として、振動と画面表示を変化させる2種類の的方法を組み合わせたといったものや、画面表示を変化させる際にアニメーションなどを使うというもの、メータのようなものなどで何m先のどの方向に障害物があるかを知らせてくれると良いといったものがあった。

## 7. おわりに

本研究では、歩行中のスマートフォン使用時における障害物検出を行うためにSV値とエッジを用いた2種類の的手法と4種類の提示方法を提案、実装、評価した。

まず、スマートフォンのカメラでどの程度前方が映るかを調査した。その結果、カメラで人を検出後に回避可能な距離を確保できるということが得られ、スマートフォンの

表8 音を鳴らす方法の調査結果

Table 8 Result of audible method.

	不快感はなかったか	危険だとすぐに察知できたか	使ってみたくと思ったか
被験者1	6	3	3
被験者2	3	2	1
被験者3	6	4	3
被験者4	6	2	3
被験者5	3	2	5
平均値	4.8	2.6	3

表9 振動させる方法の調査結果

Table 9 Result of vibration method.

	不快感はなかったか	危険だとすぐに察知できたか	使ってみたくと思ったか
被験者1	6	4	3
被験者2	4	1	1
被験者3	7	6	5
被験者4	6	5	6
被験者5	6	5	4
平均値	5.8	4.2	3.8

表10 画面をOFFにする方法の調査結果

Table 10 Result of screen-off method.

	不快感はなかったか	危険だとすぐに察知できたか	使ってみたくと思ったか
被験者1	4	6	5
被験者2	4	6	4
被験者3	3	5	4
被験者4	5	5	5
被験者5	6	6	6
平均値	4.4	5.6	4.8

表11 画面上へ警告を出す方法の調査結果

Table 11 Result of warning message method.

	不快感はなかったか	危険だとすぐに察知できたか	使ってみたくと思ったか
被験者1	2	7	6
被験者2	4	5	4
被験者3	5	7	6
被験者4	5	6	5
被験者5	3	6	3
平均値	3.8	6.2	4.8

みを用いてシステムを作成することにした。

次に、2種類の手法を用いて実地での検出実験を行った。SV値を用いた手法は、人検出率が約58%、正検出率が約51%となり、実用には耐えないといった結果となった。エッジを用いた手法は、人検出率が100%で正検出率が約75%と、使用時に誤検出はややあるが、充分高い精度で人を検出するという良い結果となった。しかし、両手法とも問題は多くあり、両手法を組み合わせるか、新たな手法を考案するなどして精度の向上を図りたい。

提示方法については、4種類の的方法を調査し、アンケート

トを取った。その結果、それぞれの方法での得失が明らかになった。また、メータ表現や2種類の方法の組み合わせなどの新たな提示方法の意見があったため、それらを参考にどのような提示方法にするかを決めていきたい。

最終的には、障害物検出を使用者に提示するシステムを用いて、人と障害物を検出対象に含めた実証実験を行い研究の有用性を評価する。

## 参考文献

- [1] 名坂康平, 加藤岳久, 西垣正勝: スマ., 技術報告, CSEC.
- [2] 高山龍: 携帯電話を用いた画像処理による視覚障害者道路横断支援に関する検討, 映像情報メディア学会技術報告 (2011).
- [3] Peng, E., Peursum, P., Li, L. and Venkatesh, S.: A Smartphone-Based Obstacle Sensor for the Visually Impaired, *UIC* (2010).
- [4] 大木敦夫: 色・エッジ情報を用いた汎用性のある障害物回避, 修士論文, 早稲田大学大学院理工学研究科情報・ネットワーク専攻 (2004).
- [5] Bernabei, D., Ganovelli, F., Benedetto, M. D., Dellepiane, M. and Scopigno, R.: A Low-Cost Time-Critical Obstacle Avoidance System for the Visually Impaired, *IPIN* (2011).
- [6] 竹上健: 視覚障害者のための超音波距離センサーによる周辺状況認知の基礎的研究, 技術報告, 埼玉学園大学紀要人間学部篇第10号 (2010).
- [7] 山内悠嗣, 藤吉弘亘, 山下隆義: Boosting に基づく特徴量の共起表現による人検出, *MIRU* (2008).
- [8] 柳原卓哉, 江口一彦: 道路を横断する歩行者認識技術の研究, 技術報告, 愛知工業大学研究報告 (2008).
- [9] 久徳遙矢, 出口大輔, 高橋友和, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋: 過去の車載カメラ映像との差分による道路上の不特定障害物検出, *MIRU* (2010).
- [10] 田中達也, 島田敬士, 有田大作, 谷口倫一郎: ノンパラメトリックな動的背景・影モデルに基づいた映像からの物体抽出, *CVIM* (2007).