



ハイブリッド画像センサの開発

齋藤 裕 昭*・畑 中 健 一・早 崎 俊 克

Development of Hybrid Image Sensor for Pedestrian Detection — by Hiroaki Saito, Kenichi Hatanaka and Toshikatsu Hayasaki — To reduce traffic accidents and serious injuries at intersections, the development of cooperative driving support systems and related sensors has been promoted. Along with this movement, the authors have developed a “hybrid image sensor” that consists of visible-ray cameras and far-infrared-ray (FIR) cameras to compensate each other. The images taken by these cameras are processed simultaneously, thereby covering various conditions including nighttime, shadows, and high temperature. The authors have also established an algorithm to detect pedestrians. This paper outlines the developed hybrid image sensor and pedestrian detection algorithm along with their evaluation results.

Keywords: pedestrian detection, far-infrared-ray camera

1. 緒 言

交通事故削減を目的として、路側にセンサを設置して付近の歩行者・自転車などを検出し、接近車両に対して危険を通知する路車協調型安全運転支援システムの検討が進められている（図1）。本システムにおいて路側センサは重要な役割を果たしており、24時間365日、あらゆる環境条件下において高精度に歩行者を検出することが求められている。

焼結 ZnS レンズを活用した遠赤外線カメラ、及び歩行者検出アルゴリズム^{*2}の開発を進めてきた^{(1),(2)}。今回、交差点における交通事故削減を狙い、遠赤外線カメラ／可視カメラを組み合わせたハイブリッド画像センサ、及び両カメラの特性を活かした歩行者検出アルゴリズムを開発した。本稿では、開発したハイブリッド画像センサの概要、歩行者検出アルゴリズムの詳細、及び歩行者検出性能の評価結果について示す。

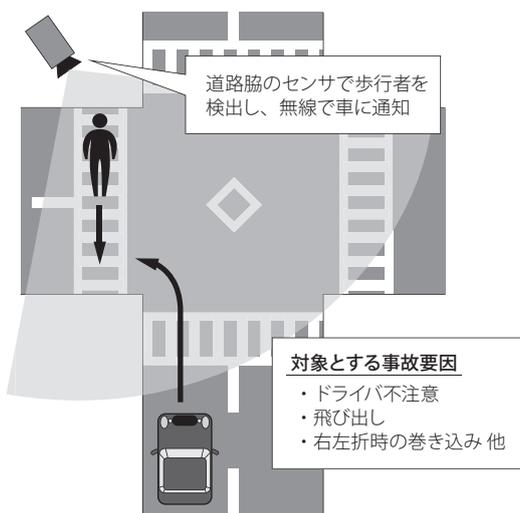


図1 路車協調型安全運転支援システム

当社では歩行者が発する熱（遠赤外線）を映像化する遠赤外線カメラ^{*1}に着目し、独自の遠赤外線光学材料である

2. ハイブリッド画像センサの概要

歩行者検出用途で使用されるセンサの比較表を表1に示す。可視カメラは交通管制などの車両検出用途で広く用いられているが、夜間において照明が当たっていない歩行者は検出することが困難（車両はヘッドライトを有するため検出可）、歩行者の影の誤検出などの課題が残っている。一方、遠赤外線カメラは物体の熱を映像化するため、照明

表1 歩行者検出用センサの比較

カメラ種類	可視カメラ	遠赤外線カメラ	ハイブリッド画像センサ
原理	環境光やヘッドライトからの反射光を検出 検出波長帯：400～700nm 環境光 反射光	物体が発する遠赤外線（熱）を検出 検出波長帯：8～12μm	熱画像・可視光画像の両方で歩行者を検出
性能	昼間	○	○
	夜間	△～×	○
	悪天候	△	○

の無い夜間でも使用でき、またレンズに付着した水滴・雪の影響が小さいなど様々な環境下で撮影が可能のため、歩行者検出用途で有望視されている。しかし、歩行者と背景（路面）との間で温度コントラストが得られにくいシーン（路面温度が上昇する夏の昼間など）が存在するといった課題も有している。

以上の可視カメラ及び遠赤外線カメラの課題に鑑み、当社では両カメラを併用して互いの短所を補い合うハイブリッド画像センサを開発し、歩行者検出精度の向上を目指した。ハイブリッド画像センサの外観及び内部構成を図2に示す。遠赤外線カメラ用レンズとして用いている焼結ZnS（写真1）は、遠赤外線透過材料として代表的なGeに比べると、光学的な材料特性（屈折率、透過率など）が若干劣る。しかし当社では、材料特性を補うためのレンズ設計技術により、周波数分解能（MTF）、ディストーションなどに関して良好な光学性能を確保している。当社の焼結ZnSレンズは材料コスト、製造コスト共に安価にすること

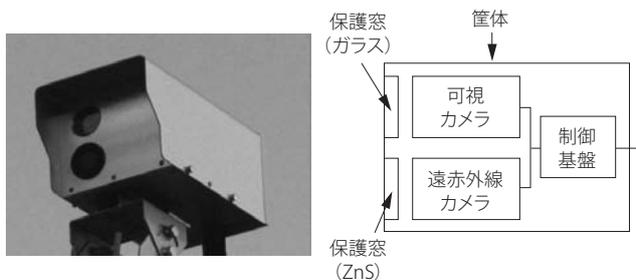


図2 ハイブリッド画像センサの外観、構成



写真1 焼結ZnSレンズ

表2 ハイブリッド画像センサ仕様

項目	仕様
視野角	H24 [°] × V18 [°]
解像度	遠赤外線カメラ : 320 × 240 [pixel] 可視カメラ : 640 × 480 [pixel]
階調	8ビット (256階調) グレースケール
サイズ	H152 × W186 × D325 [mm]

が可能であり、カメラの低価格化において有効である。ハイブリッド画像センサの仕様を表2に示す。

3. 歩行者検出アルゴリズム

今回開発した歩行者検出アルゴリズムの基本的な処理フローチャートを図3に示す。本アルゴリズムでは、可視カメラ/遠赤外線カメラの両画像に対し個別に歩行者検出処理を施すだけでなく、両画像の特性差を踏まえた領域統合処理を導入し、歩行者検出精度の向上を図っている。以降で、開発したアルゴリズムにおける各処理の詳細を示す。

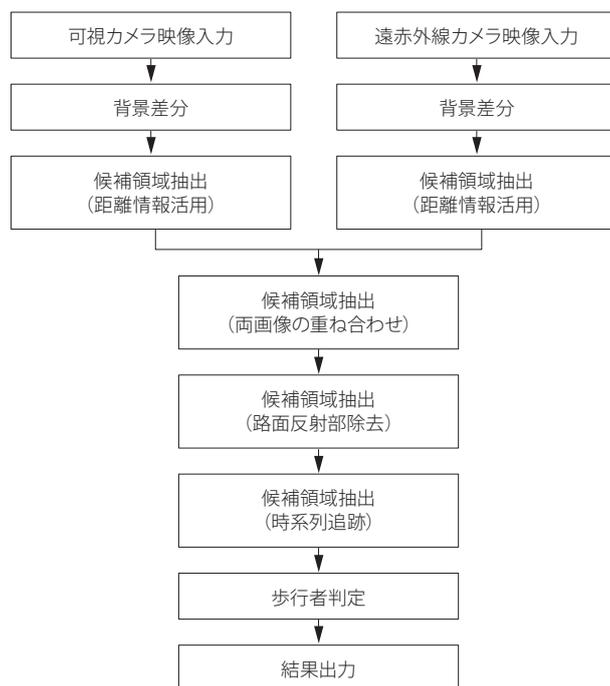


図3 歩行者検出アルゴリズムの処理フローチャート

3-1 背景差分 非背景領域を抽出するため、入力画像に対して背景差分処理を行う。入力画像と背景画像とを比較して差分画素を抽出した後、隣接する差分画素同士のグループ化、またグループ化した領域の内部穴埋め処理などを行い、非背景領域として抽出する。ここで、非背景領域の抽出処理としては時間差分（フレーム間差分）も候補として挙げられるが、歩行者は車両などと比較して単位時間当たりの移動量が小さく、特に遠方の歩行者では移動を検出できないことが多いため、本稿では時間差分は採用しない。

3-2 候補領域抽出 背景差分にて抽出した非背景領域の統合及び不要領域の除去を行い、歩行者の候補領域として抽出する。本稿では、距離情報を活用した非背景領

域の統合に基づく候補領域抽出に加え、以下の3つの処理を開発して候補領域抽出の高精度化を図っている。詳細を以下に示す。

- ・両カメラ画像の重ね合わせによる非背景領域の統合
- ・路面反射部検出による不要領域除去
- ・時系列追跡による候補領域抽出

(1) 両カメラ画像の重ね合わせによる非背景領域の統合

可視カメラで抽出した非背景領域は、人間の影・路面反射などの影響で“本来の歩行者より大きい”非背景領域が抽出されやすい傾向にある。さらに、影は太陽の方向などに依存するため領域が拡張される方向は様々である。一方遠赤外線カメラ画像においては、背景である路面との温度コントラストが小さい部位は背景差分で抽出できず、“本来の歩行者より小さい”非背景領域が抽出されやすい傾向にある(図4)。例外として、雨天時の路面反射が生じた場合は本来の歩行者より非背景領域が大きくなる場合があり

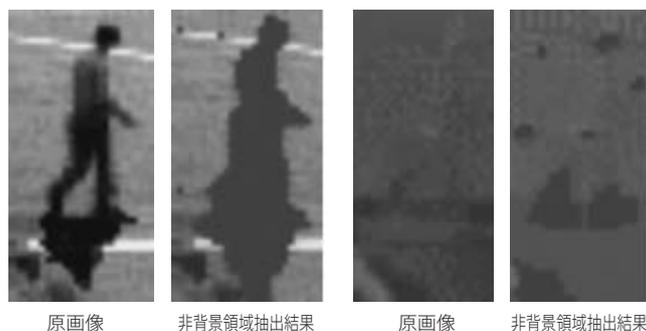


図4 非背景領域の抽出結果
(左：可視カメラ画像、右：遠赤外線カメラ画像)

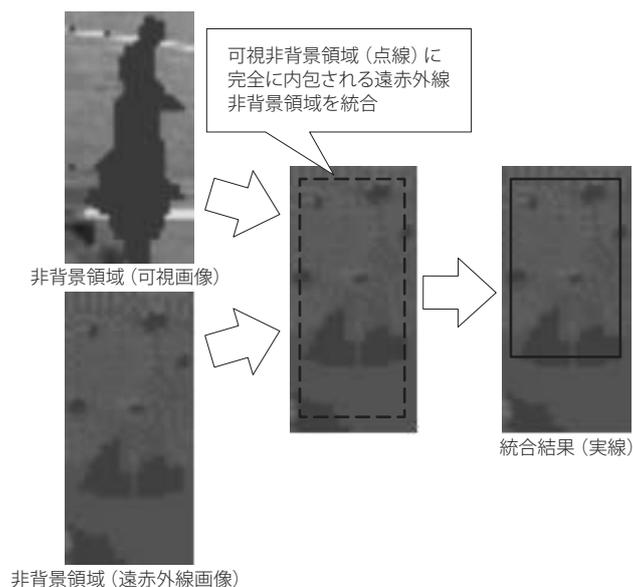


図5 画像の重ね合わせによる非背景領域の統合結果

得るが、路面反射の特性上、領域の拡張方向は歩行者下方に限定される。以上を整理すると、可視カメラ/遠赤外線カメラの視野角・撮影向きがほぼ等しい場合、“1つの可視カメラ非背景領域に含まれる遠赤外線カメラ非背景領域をグループ化し、また必要に応じて非背景領域の下部エリアを除去((2)に該当)”することで、歩行者として過不足無い候補領域を抽出できる可能性が高い。本処理にて抽出した候補領域を図5に示す。

(2) 路面反射部検出による不要領域除去

上述したように、雨天時などの条件下では可視/遠赤外線カメラ画像において、歩行者下方に路面反射が発生する。反射状態は路面上の水膜の厚み分布に依存し、反射部の有無、大きさや鮮明さは様々に変化する。映像収集を通じて様々な反射状態に共通する特徴量を鋭意分析した結果、遠赤外線カメラ画像において歩行者に対し反射部を含めてエッジ抽出処理を行った場合、歩行者と反射部の境界(=足先)においてエッジ強度の変曲点が存在することを見出した(図6)。抽出した候補領域に対して、領域上端画素を基準として候補領域までの距離を加味した足先想定座標を設定し、足先想定座標の上下近傍においてエッジ変曲点を探索して変曲点座標より下の領域を除去することで、候補領域から高精度に反射部を除去することが可能となった。

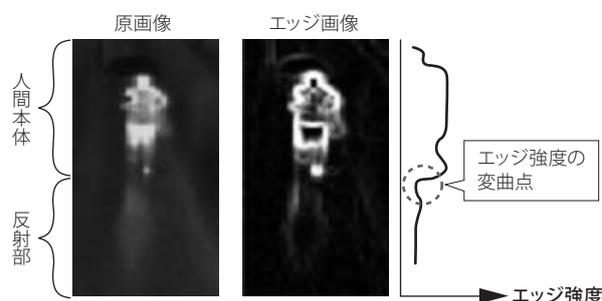


図6 路面反射部の検出方法(エッジ強度の変曲点)

(3) 時系列追跡による候補領域抽出

歩行者同士が重なった場合など、ある時刻の画像のみでは候補領域抽出を高精度に行えないシーンが存在するため、上述した候補領域抽出処理に加え、過去の歩行者検出結果を利用した候補領域探索処理を行う。具体的には、前時刻で検出した歩行者検出枠内の画像を参照画像とし、歩行者(自転車含む)の移動速度を加味した探索範囲内に探索画像を設定し、類似度計算を行う。そして、所定の相関値を超え、かつ最も相関の高い探索画像を候補領域として選択する。

3-3 歩行者判定 抽出した候補領域に対し、歩行者判定処理を行って検出対象か否かの識別を行う。歩行者判定

処理の流れとしては、まず歩行者のサイズ条件を用いて候補領域を粗くスクリーニングした後、可視／遠赤外線カメラ画像において個別にSVM (Support Vector Machine) ※3による判定処理を行い、いずれかの画像において歩行者と判定された場合のみ、最終的に歩行者と判定する。SVM判定に必要な特徴量としてはHOG (Histograms of Oriented Gradients) (3) ※4を使用する。ここで、抽出した候補領域は真の歩行者位置から多少ずれている場合があり得るため、抽出した候補領域の周囲に候補領域を追加し、検出漏れ防止を図っている。さらに、SVM判定を行う前に、抽出した候補領域のサイズ正規化処理が必要となるが、直立した歩行者と横向きの自転車では候補領域の縦横比が異なるため、本稿では横向き自転車における人間の形状特徴に着目し、横向き自転車の領域から人間領域を検出してサイズ正規化を行う処理を導入している。

4. 歩行者検出性能評価

開発したハイブリッド画像センサ、及び歩行者検出アルゴリズムの有効性を検証するため、日本各地で通年で収集した映像に対し、歩行者検出性能の評価を行った。検出率の定義を表3に、評価結果を表4に示す。いずれのシーンにおいても未検出率・誤検出率共に10%以下となり、良好な数値が得られている。未検出の大半は①集団の歩行者、あるいは②歩行者と他物体との重なり（中でも画像内に登場した直後からの場合が多数）が主要因となっているが、例えば横断歩道が存在する場所では歩行者の出現場所・移動方向はある程度限定できるため、これらの情報を活用することで更なる精度向上が期待できる。誤検出要因はバイクや車両の一部に対するものが多数であるが、遠赤外線カメラでエンジン部の温度情報を上手く活用することで、誤検出の低減が期待できる。

表3 検出性能の定義

項目	定義
未検出率 [%]	検出した歩行者数 ÷ 歩行者数真値 × 100
誤検出率 [%]	誤検出数 ÷ 全検出数 × 100

※検出対象：歩行者、自転車、車椅子

表4 検出性能評価結果

	晴・昼	晴・薄暮	晴・夜	雨・昼	雨・薄暮	雨・夜
未検出率	4.8%	3.2%	2.9%	6.2%	6.3%	6.9%
誤検出率	8.0%	3.5%	7.1%	5.6%	8.7%	3.9%

5. 結 言

従来の歩行者センサの課題を解決すべく、ハイブリッド画像センサ及び歩行者検出アルゴリズムを開発し、歩行者検出性能の評価を行った。結果として、未検出率・誤検出率共に10%以下と良好な歩行者検出性能を得ることができた。今後は、更なる未検出／誤検出の低減、及び移動方向・速度測定の高精度化を図っていく予定である。

用語集

※1 遠赤外線カメラ

物体が発する熱（波長8～12μmの電磁波）を撮影するカメラ。物体の温度を測定できるだけでなく、暗所でも撮影可能という長所を有する。

※2 歩行者検出アルゴリズム

入力センサ信号をソフトウェアで処理し、検出エリア内の歩行者を検出する技術。性能の指標として、存在する歩行者の検出漏れを表す未検出率、歩行者以外の物体を検出してしまう誤検出率で評価される。

※3 SVM

Support Vector Machine：過去の経験則を活用するパターン認識技術の1つ。

※4 HOG

Histograms of Oriented Gradients：物体検出を行う際の画像特徴量の1つ。入力画像の勾配を求め、それを局所領域毎に分割してヒストグラムを計算したもの。

参 考 文 献

- (1) 「遠赤外線カメラを用いた夜間歩行者検出システムの開発」、SEIテクニカルレビュー第169号（2006）
- (2) 「遠赤外線カメラを用いた歩行者検知システムの開発」、SEIテクニカルレビュー第171号（2007）
- (3) “Histograms of Oriented Gradients for Human Detection”, IEEE Conf. on CVPR, pp.886-893（2005）

執 筆 者

齋藤 裕昭*：自動車技術研究所
電動車両向け充電システムの開発に従事



畑中 健一：自動車技術研究所 グループ長

早崎 俊克：自動車技術研究所長

*主執筆者