

車載赤外線カメラを用いた歩行者検出

青木正喜[†] 安田 升^{††}

車載遠赤外線カメラを用いた歩行者検出の研究が進んでいる。運転者への視覚支援として遠赤外線画像を表示する装置、歩行者を検出してドライバーに知らせ注意を喚起する装置等が実用化されている。本稿ではまず、遠赤外線の特徴、遠赤外線カメラの技術動向について解説する。次に遠赤外線画像の特徴と画像処理について述べ、昨年開催された IV2005 と OTCBVS'05 の 2 つの自動車関係の国際学会で発表された論文を中心として、車載カメラを用いた遠赤外線画像の歩行者検出への応用を概観する。

Pedestrian Detection Using On-board Far-InfraRed Cameras

MASAYOSHI AOKI[†] and NOBORU YASUDA^{††}

There are many active researches on pedestrian detection using on-board Far-InfraRed (FIR) cameras. A far-infrared image display system as a vision assistance for a driver and a warning system of pedestrian ahead detected from far-infrared images are commercially introduced for passenger vehicles. In this paper, characteristics of far-infrared ray and technological trends of far-infrared camera will be explained. Then topics will be changed to far-infrared image characteristics and image processing. Finally, an overview of far-infrared image application for pedestrian detection trend will be given using papers in two international conferences IV2005 and OTCBVS'05.

1. はじめに

遠赤外線 (Far-InfraRed: FIR) 画像は可視画像に比べて、人間の検出に有利な性質を有しており、応用の一環として歩行者検出の研究が進んでいる。遠赤外線画像 (熱画像 Thermal Image とも呼ばれる) は温度を持つ物体から放射される赤外線を利用して、環境光 (可視光) の影響を受けない画像が得られる。人体 (体温) の放射する赤外線のスペクトラムの中心は波長 $10\mu\text{m}$ 付近で、大気窓に入っており、人体を大気中で遠赤外線画像としてとらえることができる。多くのシーンにおいて人体の温度は周辺より高く、周辺との間に明確なコントラストが生じるため、人間の検出が可能になる。近年、微細加工技術の進展により、非冷却センサが開発され、遠赤外線撮像装置の価格が低下した。車載への応用としては、運転者の視覚支援として遠赤外線画像を表示する装置、歩行者を検出してドライバーに知らせる装置等が実

用化されている。IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV2005), OTCBVS'05: International IEEE WorkShop on Object Tracking and Classification Beyond Visible Spectrum の 2 つの国際学会においても、歩行者検出を中心とした遠赤外線応用に関する論文が多く発表された。国内では、平成 15 年度から日本自動車研究所 (JARI) において名城大の岡林教授を主査として「赤外線画像認識研究会」が活動している。

2. 赤外線について

2.1 赤外線の波長領域と区分

可視光の波長領域 $0.4(\mu\text{m}) \sim 0.75(\mu\text{m})$ よりも波長の長い $0.75(\mu\text{m}) \sim 1(\text{mm})$ の波長領域の電磁波を赤外線、波長 $1(\text{mm})$ 以上 (周波数 $300(\text{GHz})$ 以下) の電磁波を電波と呼んでいる。赤外線の中の区分については 2 つの流儀があるので注意が必要である。赤外線の発生機構に基づいた区分として、従来表 1 が用いられてきた¹⁾。

もう 1 つの区分は表 2 とする流儀であり (文献 2) には波長の境界は明記されていない)、上記区分との大きな違いは中赤外と遠赤外の境界が $7(\mu\text{m})$ と $25(\mu\text{m})$ より波長が短くなっている点である。

[†] 成蹊大学理工学部情報科学科

Department of Computer and Information Science, Faculty of Science and Technology, Seikei University

^{††} NEC三栄株式会社

NEC Sanei Co.

表 1 赤外線波長領域と区分 1

Table 1 Categories of infrared (scheme1).

近赤外 (near infrared)	0.75–2.5 (μm)
中赤外 (intermediate infrared)	2.5–25 (μm)
遠赤外 (far infrared)	25 (μm)–1 (mm)

表 2 赤外線波長領域と区分 2

Table 2 Categories of infrared (scheme2).

近赤外 (near infrared)	0.75–3 (μm)
中赤外 (intermediate infrared)	3–7 (μm)
遠赤外 (far infrared)	7 (μm)–1 (mm)

表 3 最大エネルギー放射波長

Table 3 Temperature and maximum energy of wavelength.

温度 [$^{\circ}\text{C}$]	wavelength [μm]
650	3
250	5.5
80–150	6.5–8.2
25	9.7

これは、赤外線画像として使われる透過率の高い「大気の窓」の波長域、レンズと撮像素子、人体から放射される波長領域等に関係していると考えられる。本稿では後者の区分を用いる。

2.2 最大エネルギー放射波長

温度を持つ物体は赤外線を放射し、その最大エネルギー放射波長は温度が高いと短く、温度が低いと長くなる。この関係はウィーンの変位則として定式化されている。この関係を表 3 に示す。人間の放射率は 4 (μm) 以上では 0.98 と、近似的に 1 と見なすことができ、人間の放射は 10 (μm) 付近にエネルギーピークがあり、この波長帯が人間の検出に適している。この波長帯の撮像のためには、従来冷却型のセンサが必要とされ、装置は大型、高価格であった。近年微細加工技術の進展により冷却不要 (uncooled) の熱型センサが可能となり、画素数 320 × 240 のカメラが市販されるようになった。日本において通常は人間の温度は周囲環境よりも高いが、夏では周囲環境の温度が人間よりも高くなる極性逆転 (Polarity change) がおきる可能性がある。極性逆転が起きても相対的に温度差があれば検出は可能であるが、温度の差が小さくなると、人間が周囲に溶け込み同化する現象が起きる。熱帯や砂漠では注意が必要である。

2.3 大気の窓

大気中の分子により特定の波長の赤外線エネルギーが吸収される。大気中の撮像には、「大気の窓」と呼ばれる透過率の高い波長域が用いられる。表 4 に透過率の高い波長域を示す²⁾。

表 4 透過率の高い波長域 (μm)

Table 4 High transmission band.

近赤外 (near infrared)	0–1.12, 1.19–1.3, 1.55–1.75, 2.05–2.4
中赤外 (intermediate infrared)	3.5–4.16, 4.5–5.0
遠赤外 (far infrared)	8.0–9.2, 10.2–12.4, 17.0–22.0

下線は特に透過率の高い波長域である。人間から放射される赤外線は、遠赤外線領域の大気の窓の波長域にある。

2.4 光学材料

近赤外はガラスを透過するが、中遠赤外は透過しない。通常のカメラのレンズはガラス製で、近赤外を透過させるので、赤外線フィルムと赤色の赤外線フィルタを用いることで、近赤外における撮像が可能である。これは山岳写真によく用いられている。ビデオカメラにおいても、撮像素子の感度は近赤外まで伸びているので、赤色の赤外線フィルタを用いることで、近赤外における撮像が可能である。近赤外線よりも波長の長い領域では、レンズの材料としては、3–5 (μm) 帯ではシリコンとゲルマニウム、8–12 (μm) 帯ではゲルマニウムが用いられる。これらのレンズは可視光が透過しないため、レンズを通して反対側は見え、通常のレンズとは様相を異にしている。レンズ保護用の窓材にもレンズと同じ材料が用いられ、ダイヤモンドコーティングが施される。撮像素子は集積回路技術や微細加工技術の進展により、高性能化と低価格化が実現されるが、現時点においては中遠赤外用のレンズの低価格化は難しいと考えられる。なおピニールは材質により、遠赤外線領域で透明になったり、不透明になったりする。

2.5 アクティブとパッシブ

撮像における「アクティブ」と「パッシブ」の言葉の使い方にも、まったく逆の流儀が存在するので注意が必要である。可視光、レーザ、マイクロ波等では検出側、撮像側から電磁波を照射し、物体から反射される電磁波を検出する場合を「アクティブ」と呼ぶ。検出側、撮像側から電磁波を照射せず、物体から放射される電磁波を検出する場合を「パッシブ」と呼ぶ。これは検出側、撮像側を主体として、電磁波照射の行為の有無を区別している。これに対して、物体側を主体として、物体が自ら電磁波を放射する場合 (検出側、撮像側からの電磁波照射なし) を「アクティブ」、物体が照射された電磁波を反射する場合を「パッシブ」と呼ぶ流儀がある。両者はまったく逆の定義をしているので、注意が必要である。

本稿では前者の定義を用いる．遠赤外では温度のある物体から放射される電磁波を検出するため，照明は不要である．近赤外においては，物体から放射される電磁波はきわめて弱いため，照明を必要とする．人間の目は近赤外に感度がないため，近赤外光線に気がつかずに網膜を損傷する可能性がある．目への安全性の考慮として，波長の長い（赤色）の可視光を重畳する対策も考えられる．

3. 赤外線センサの技術動向

熱赤外領域である遠赤外線（Far-InfraRed: FIR）の2次元撮像デバイスとしては，従来液体窒素温度で使用する量子型高感度センサが唯一の選択肢であったが，熱型センサである非冷却センサ（Un-cooled Focal Plane Array: UFPA）の急速な実用化にともない，遠赤外領域でも安価な撮像デバイスが可能になってきた．UFPAは熱型センサなので波長選択性はないが，常温付近の赤外放射は $10\mu\text{m}$ がピークなので $8\sim 12\mu\text{m}$ の遠赤外領域を利用波長とするのが一般的である．

図1に赤外線センサの感度向上の進展を示す．センサの性能指標としての感度には雑音等価温度（Noise Equivalent Temperature: NET）が一般的に用いられる．W. Hershel 卿が1800年に赤外線を発見して以来200年で500倍の感度向上になっている．赤外線センサの進展は第1世代から第3世代に区切って考えられる．第1世代では機械走査方式ながらリアルタイムの動画が取得できるようになった．第2世代では2次元センサによる撮像が実現された．全固体撮像デバイスの開発は可視に比べると15年程度の時間差がある．第3世代では，マイクロエレクトロニクス技術を活用し，高感度化，高精細（HDTVレベル），多波長化，多機能化が冷却型センサを中心に進んでおり，InSbによる 1027×768 画素，77K動作で12mKのNETDが得られている⁴⁾．冷却不要の非冷却センサ（UFPA）は，1992年に初めてTIにより焦電型CCDデバイスとして報告された．その後感度，画素数とも大幅な性能向上が進んでおり，ボロメータ型〔VO_x（VO：酸化バナジウム），アモルファスシリコン）で， 640×480 画素，NETD < 50mKが実現している．感熱素子としてはVO_x⁶⁾ボロメータ，アモルファスシリコンボロメータ，SOI/Diode（SOI: Silicon on Insulator）⁸⁾の3方式が有望視されている．図2にVO_xとアモルファスシリコンボロメータの感度向上の進展を示す．リード線を必要とする電気的読み出し方法の代わりに，図3に示すようにリード線を必要としない光学的読み出し方式も試みられている．

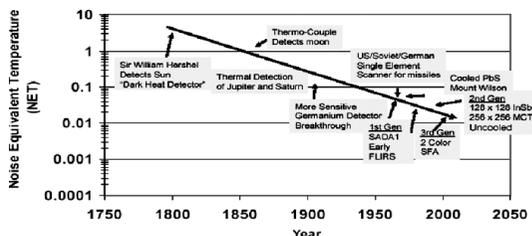


図1 赤外線センサの感度向上の進展³⁾

Fig.1 Sensitivity improvement of infrared rays sensor.

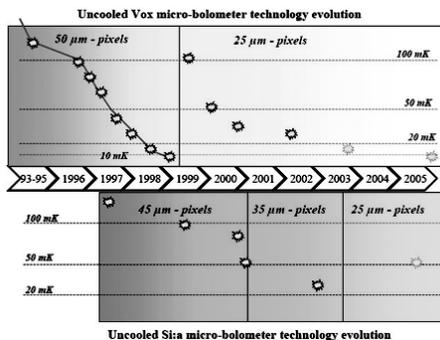


図2 VO_xとアモルファスシリコンボロメータの感度向上の進展⁵⁾

Fig.2 Sensitivity improvement of VO_x and Amorphous silicon bolometer.

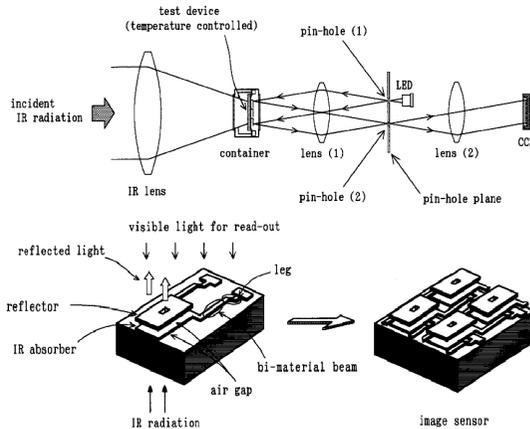


図3 光学的読み出し方式⁷⁾

Fig.3 Optical reading method.

遠赤外線カメラの乗用車への搭載（図4）は，2001年のキャデラックが最初であり，画像を運転者に呈示するシステムであった．2004年にはホンダが，2台の赤外線カメラによるステレオ視から，歩行者を自動探知してドライバーに注意を喚起するシステム（図5）を導入している⁹⁾．

4. 遠赤外線画像の特徴と画像処理

遠赤外線画像は各画素に対応する対象物体部分の放

Cadillac Deville (Option)

“Night Vision”

(Uncooled IR sensor)

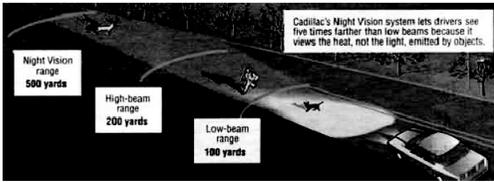


図 4 遠赤外線カメラの乗用車への搭載

Fig. 4 Set up of the far infrared camera for the vehicle.

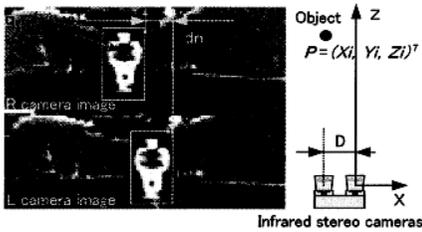


図 5 赤外ステレオ方式による歩行者検出

Fig. 5 Pedestrian detection using stereo infrared camera.

熱量の関数である単一の値から構成される単色画像である。ここでは画素値を輝度値と呼び、輝度値の大小を温度の高低に対応させることとする。センサによるが、各画素は 14 ビット程度までの量子化が行われている。可視光の影響は受けなため、実験室のように制御された環境下で、同一シーンを可視光の照明ありとなしで撮影した場合には同じ画像が得られる。屋外における自然環境下では、環境光あり（昼間）と環境光なし（夜間）では厳密に同一のシーンを実現することは困難ではあるが、概略同じような画像が得られる。遠赤外線画像において、人体の露出している部分、顔や手足は高い輝度値を示す。これに対し、後頭部や着衣の部分の輝度値は低くなり、この傾向は熱の遮蔽効果の大きいもの（たとえばダウンジャケット）で顕著となる。顔の正面画像は、顔自体の輪郭ははっきり表れるが、顔の内側の目、鼻、口等の部品に関しては可視光画像のように明確な輪郭は得られ難い。またガラスは遠赤外線透過しないため眼鏡の部分の輝度値

は低くなる。顔の表面に模様を描いても、画像にはほとんど影響を与えない。着衣に関しても、テクスチャや模様は基本的には画像への影響はほとんどない。逆に着衣の皺が輝度値に差を生じさせることが多い。遠赤外線を歩行者検出を目的として使用する場合には、ガラスは遠赤外線透過しないためカメラは室内ではなく、室外に設置しなければならない。道路シーンにおいては自動車のエンジン付近、ブレーキ、タイヤ等は熱を持っているため、高輝度値になる。一方前照灯やその他ランプ類、道路側の信号灯の可視光領域は検知されないため、たとえば前照灯を正面から撮影しても輝度値が飽和したり、フレアが生じたりすることはない。周囲の温度が人間よりも高い場合には、人間と背景との間で相対的な輝度値の反転が生じることがある。これを Polarity change（極性反転）と呼ぶ場合がある。

画像処理手法としては基本的には可視光に関して開発された画像処理の適用が可能である。カメラ固定の場合には、背景差分が有効な手法である。静止画像に関しては、エッジ検出、輪郭抽出、領域拡張、ROI (Region of Interest) 検出、長方形近似、クラスタリング、ハフ変換（直線、円、一般化）、テンプレートマッチング、モデルフィッティング等が考えられる。動画像に関しては、予測、テンプレートマッチング、追跡、カルマンフィルタの適用、HMM（ヒドゥンマルコフモデル）等が考えられる。ステレオ画像の場合には、ステレオマッチングが基本である。近赤外画像は、可視画像に近く、人間の目にも直感的に理解されやすく、画像を直接呈示することも有効である。遠赤外画像は可視画像とは様相を異にしており、画像を直接人間に呈示しても、直感的な理解は得られにくく、画像内容に関する何らかの認識結果を呈示する必要がある。たとえば顔画像では、顔の部品の境界は、可視画像のようにはっきりはしていない。遠赤外画像の特徴は、昼夜の同一シーンからほとんど同じ画像が得られる点にある。一般に人間は周囲と比べて温度が高いため、周囲との間に高いコントラストが生じ、閾値を用いた 2 値化により、人間の候補領域の抽出が可能なが多い。閾値の決め方にはいくつかの手法があるが、画像ごとに決定する必要がある。カメラ固定の場合には、背景差分後の画像に関して、固定閾値を適用することが可能である。

なお、周囲の温度の方が人間よりも高い場合（Polarity change 極性反転）であっても、両者の間の温度差がある程度以上あれば対応は可能である。

5. IV2005 と OTCBVS'05 の論文紹介

2004 年の IV (Intelligent Vehicle) 2004 ならびに OTCBVS (Object Tracking and Classification Beyond Visible Spectrum) 2004 において、車載遠赤外線カメラ画像応用に関する多くの論文が発表され、車載遠赤外線カメラ利用元年の様相を示した。遠赤外線カメラを搭載した自動車の市場への導入も始まっている¹⁰⁾。本章では、2005 年に開催された IV 2005 ならびに OTCBVS 2005 から数編の論文を紹介し、歩行者検出における遠赤外線応用の動向を述べる。2004 年の IV2004, OTCBVS04 では遠赤外線画像単体を用いた論文が主流を占めていたが、IV2005, OTCBVS05 では遠赤外線画像と他の情報、たとえば可視画像から得られる情報を組み合わせる論文が多数発表された。また歩行者の遠赤外線源としてのモデルの提案や、移動カメラからのビデオ映像をフレーム間で位置合わせを行い、背景画像を得る手法の提案もあった。

この分野では、background は背景の意味で用いられるが、foreground は前景ではなく、移動物体の意味で用いられている。mosaic も日常語では画像中の見せたくない部分を隠すことに使われるが、この分野では画像を小さな領域に分けて合成し直すという、モザイク本来の意味で用いられている。人体と背景の温度が逆転する現象には、polarity change または polarity switch という言葉が用いられている。

本章では歩行者検出に焦点を当て、IV2005 から 4 編、OTCBVS05 から 1 編の論文を紹介する。

“Shape and Motion-based Pedestrian Detection in Infrared Images: A Multi Sensor Approach”¹¹⁾

歩行者の正確かつ詳細な形状と運動を検出と追跡により得ることを目的としている。遠赤外線カメラ、レーザスキャナ、自己運動 (ego motion) センサの 3 種類のセンサを用いている (図 6)。レーザスキャナから得られる対象物の正確な位置情報により、画像中で処理対象領域 (ROI: Region Of Interest) を限定する。自己運動センサ情報を用いて、自車運動の影響を除去している。カルマンフィルタに基づいたデータ融合を行い、複数目標物の追跡を行っている。

処理としては、オプティカルフローにより人間の動きを検出し、歩行者の形状記述には動的輪郭モデルを用いている。輪郭は形状パラメータとしてフーリエ係数で記述し、モデルとフーリエ空間上での距離を用いて比較を行う (図 7)。実験車にシステムを搭載して実際の結果を得た。

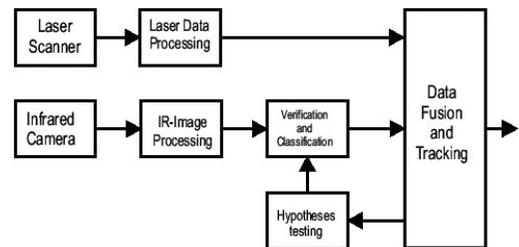


図 6 システム構成
Fig. 6 System architecture.

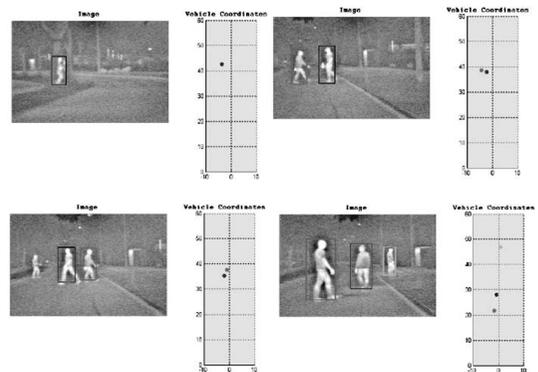


図 7 歩行者追跡結果
Fig. 7 Results of the pedestrian tracking.

“Infrared Stereo Vision-based Pedestrian Detection”¹²⁾

車載遠赤外ステレオを用いて歩行者の検出を行っている。人間は周囲より温度が高いこと (hot area) を前提としている。温度の高い部分のステレオ情報を用い位置と距離を推定し、歩行者が含まれる可能性のある領域を特定する。特定の大きさや縦横比を持つ領域だけを対象とし、頭の形状 (morphological) 特徴を見つけるために解析する。処理は単一フレームで行い、追跡は行っていない。立っている歩行者を検出の対象としている。アルゴリズムは次の 7 ステップからなる。

- (1) 右入力画像の前処理 (preprocessing)。
- (2) 右画像中の温度の高い領域を検出し、外接長方形として興味領域 (interested area) を作製。
- (3) 左画像中で対応する (homologous) 外接長方形の位置を求める。
- (4) 対象物体の距離と位置を推定する。
- (5) 位置の類似している外接長方形をグループ化する。
- (6) 結果の領域をフィルタにかける。
- (7) 頭の特徴を解析する。

(1)–(6) : 歩行者が存在する可能性のある領域を検出。

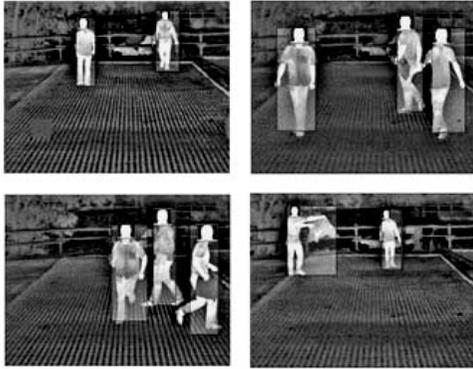


図 8 歩行者検出結果

Fig. 8 Results of the pedestrian detection.

(7)：結果の領域内で人間の形状の最も明白な特徴である頭の検出を試みる。

2 台の遠赤外線カメラを装着した実験車を使用して実験を行った。部分的な隠蔽には対応できることが確認された(図 8)。高温条件では、冷たい要素と暖かい要素の差が十分でなく、十分な機能は得られていない。“A Multiple Detector Approach to Low-resolution FIR Pedestrian Recognition”¹³⁾

3 つの検出アルゴリズム

- HPN: hyper permutation network
- HCM: hierarchical contour matching algorithm
- cascaded classifier (Cascade Classification)

の検出結果を融合し、歩行者(目標距離 100 m)の検出を行う。

解像度 164 (横) × 129 (縦)、検出周期 25 Hz、濃度軸 14 bit、波長領域 7–14 μm の遠赤外線カメラを車載カメラとして用いる。カメラ、対象ともに移動するため、背景差分は適用しない。提案手法は相関と学習に基づいている。

歩行者のとりうるシルエット(輪郭)の大規模なデータベースを用意し、カメラから得られたデータ(エッジ画像)の部分領域をこのデータベースと比較する。相関をとるために距離変換(DT: Distance transform)をエッジ画像に適用する。相関の計算負荷を軽くするため、すべての画像位置で各テンプレートを適用するのではなく、階層的に実施する。これにより可能性の少ないものは、初期のうちに排除される。

3 GHz Pentium 4 を使用し、実時間での動作を確認した(図 9)。

“A modular tracking system for far infrared pedestrian recognition”¹⁴⁾

モジュラ追跡システムにより歩行者検出を行っている。

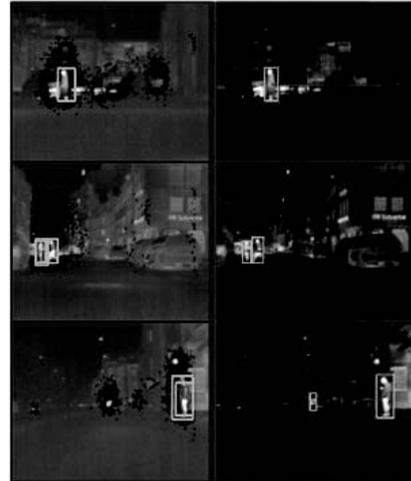


図 9 歩行者検出結果

Fig. 9 Results of the pedestrian detection.

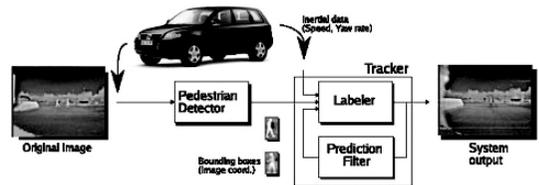


図 10 システム構成

Fig. 10 System architecture.

- 歩行者検出モジュール(バンパに装着した遠赤外線カメラを用いる)
 - ラベル付けモジュール(tracking identifier を用意する)
 - 予測モジュール(Kalman filter)
- の 3 つのモジュールを用いる(図 10)。

歩行者検出モジュールでは、人間は周囲よりも温度が高く、対称性があると仮定し、一定の大きさで縦横比の領域を検出する。人間の 3 次元赤外線モデルとのマッチング結果を検証に使い、誤り検出を排除。外接長方形の一覧を出力とする。ラベル付けモジュールはアルゴリズムの主要な役割を果たし、動き解釈のような上位の仕事をし、外接長方形の履歴を M フレームにまで遡って保持する。過去の長方形との重なりで同一対象を確認する。新しい長方形は候補とするが、しばらくは tracker loop に入れて様子を見る。通常装着部品であるオドメータ(Odometers)や加速度センサ(inertial sensors)から、自車の運動による影響を補正する。予測モジュールでは速度と加速度による推定と、二次元画像平面での 6 自由度の状態ベクトルを対象としたカルマンフィルタの両方を用いる。

2.8 GHz, 1 GB RAM, Pentium 4 を用いて実験を

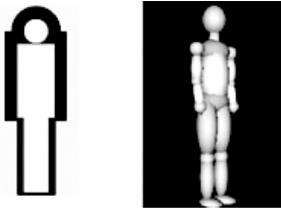


図 11 2次元の単純な形状モデル(左図). 3次元の形状モデル(右図)

Fig. 11 Simple shape model (left). 3D shape model (right).

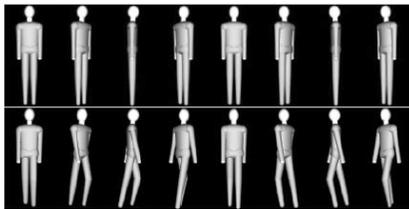


図 12 歩いている歩行者の3次元モデル
Fig. 12 3D model of walking pedestrian.

行った. 処理時間は 80 ms である. 走ってシーン内に入ってくる歩行者への応答は十分ではない.

“Model-based validation approaches and matching techniques for automotive vision based pedestrian detection”¹⁵⁾

3段階の歩行者検出アルゴリズム(three-step algorithm)を提案し実験結果を示している. 対象画像は遠赤外線カメラからの動画であり, アルゴリズムは以下の3段階で構成される.

- 歩行者の候補抽出: 対称性(symmetries)と縦方向エッジ(vertical edges)を用いる.
- フィルタ: 縦横比(aspect ratio)と特別な形状特徴(particular shape features)を用いる.
- モデルの集合とのマッチング: 検出の検証を行う.

この論文の特徴は, 第2章で以下の各種モデルを網羅的に紹介している点にある.

2.1 Simple models 人間の形を表す簡易2値マスク人体を白その外側を黒である程度の幅を持たせる(図 11 左図).

2.2 Different postures and clothing characteristics 各種の姿勢, 3次元グレイスケールモデル, 異なる視点(図 11 右図).

2.3 Use of a large model set 2つの自由度, 姿勢と視点, 2個の組合せ(図 12).

2.4 Exploiting sensor characteristics 雑音を含む背景.

2.5 Fat models 太め, 頭を前に傾げる, 頭と手の



図 13 実画像からのモデル
Fig. 13 Examples of real model.

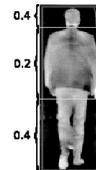


図 14 3つの部品から構成されるモデル
Fig. 14 The three parts of the pedestrian image.

輝度を高く.

2.6 Real models 実際の画像からモデルを抽出, 既存の動画からマニュアルで作製. 異なる衣類, 姿勢, 位置(図 13).

2.7 Dynamic models bounding boxを次のフレームで追跡のためのモデルとして使える.

2.8 3つのブロック(頭, 胴体, 足)それぞれの重みを 0.4, 0.2, 0.4 とする(図 14). 頭と足は胴体に比べると検出が容易であり, 領域が小さく, テクスチャが少なく, 形に特徴がある.

6. 赤外線画像認識研究会の活動^{16), 17)}

赤外線画像認識研究会が3年計画として平成15年度, 名城大学岡林教授を主査として自動車走行電子技術協会内に発足し, 平成15年9月財団法人日本自動車研究所に引き継がれた.

平成15年度は

(1) 赤外線関連技術の動向調査

赤外線デバイス, ハードウェア等の技術動向調査, 車載赤外カメラの動向調査, 手持ちカメラによる各種条件下における画像収集,

(2) 車載赤外カメラによる赤外画像の収集
計測車両設計, 改造, 装備, 計測車両を用いた赤外画像の試験的な収集,
を主として行った¹⁶⁾.

計測車両は cube3 に可視光, 近赤外, 遠赤外カメラを搭載し画像収集記録に供する. 以下に各カメラ, 画像記録装置の緒言を示す.

- 遠赤外カメラ: 非冷却センサ TH7102MX (NEC 三栄), 画素数 320 × 240, 波長 8–14 μm, 視野



図 15 同一シーンの可視, 近赤外, 遠赤外線画像の 3 画面合成
Fig. 15 Fusion of three different camera images.

角水平 29° 垂直 22° 14 ビット

- 近赤外カメラ：WAT-902H (ワテック) 1/2 インチ, レンズ H851VGS (スペース), $f = 8.5\text{--}51\text{ mm}$, 画角 $7^\circ \times 5^\circ\text{--}43^\circ \times 33^\circ$, 赤外光源で照明, トヨタ ナイトビューに準拠
- CCD カメラ：VCC-5600WN (CIS) 1/4 インチ, $f = 4.1\text{--}73.8\text{ mm}$, 画角 $2.7^\circ \times 2^\circ\text{--}48^\circ \times 37^\circ$
- 画像記録：分割 Multi Viewer, MV-40F, FOR.A (図 15)

平成 16 年度は

1. 計測車両搭載カメラの全天候ハウジングへの収納 (含むワイパ)
2. 近赤外線カメラの改修と評価
3. 四季の変化による歩行者等の見え方
4. 霧での実験 国土技術政策総合研究所 雨霧環境実験施設
5. 雨天での試験
6. 定期コース以外の走行による画像取得 高速道路, トンネル, 山間部, 田舎道, ほか
7. 寒冷地での雪道等の画像取得
8. 路面状態の把握等を行った¹⁷⁾.

7. おわりに

車載赤外線カメラを用いた歩行者検出システムは, 交通弱者である歩行者を交通事故から守るための有効な手段の一つである. 遠赤外線画像は人間の持つ温度により放射される電磁波を検出するため, 表面の模様やテクスチャの影響が少なく, 安定した人間の検出に有効である. 運転者への情報提供としては, 遠赤外線画像自体を一部加工して可視画像に重畳させたり, 究極的には検出結果により警報を出したりする等が考えられる. 遠赤外線カメラは暗視, 監視, 侵入者検出等への応用範囲も広く, 装置の価格の低下が実現すれば,

各方面への導入が急速に広まることが期待される.

参考文献

- 1) 赤外線技術研究会：赤外線工学 基礎と応用, オーム社 (1991).
- 2) 久野治義：赤外線工学, (社) 電子情報通信学会 (1994).
- 3) Caulfield, J.: Advanced IRFPAs for Next Generation Sensors, *Proc. SPIE 5406* (2004).
- 4) Huckridge, D.A.: Albion camera A high performance Infrared imaging system, *Proc. SPIE 5406* (2004).
- 5) LETI ロードマップ.
- 6) Tohyama, S.: New Thermally Isolated Pixel Structure for High-resolution Uncooled Infrared FPAs, *Proc. SPIE 5406* (2004).
- 7) 石塚：光学的読出し方式の赤外センサ, *SPIE*, Vol.4369, p.342 (2001).
- 8) 25 μm ピッチ 320 \times 240 画素 SOI ダイオード方式非冷却赤外線 FPA, 日本赤外線学会第 40 回研究会資料 (2005).
- 9) 辻 孝之ほか：ナイトビジョンシステムの開発, 自動車技術会論文, Vol.33, No.3, pp.173–178 (2002).
- 10) 青木正喜：赤外線画像の人間検出への応用, 情報処理学会研究報告, 2005-CVIM-147 (2005).
- 11) Fardi, B., Schenert, U. and Qanielik, G.: Shape and Motion-based Pedestrian Detection in Infrared Images: A Multi Sensor Approach, *Proc. IV2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp.18–23 (2005).
- 12) Berozzi, M., Broggi, A., Lasagni, A. and Del Rose, M.: Infrared StereoVision-based Pedestrian Detection, *Proc. IV2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp.24–29 (2005).
- 13) Mählich, M., Oberländer, M., Löhlein, O., Gavrila, D. and Ritter, W.: A Multiple Detector Approach to Low-resolution FIR Pedestrian Recognition, *Proc. IV2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp.325–330 (2005).
- 14) Binelli, E., Broggi, A., Fascioli, A., Ghidoni, S., Grisleri, P., Graf, T. and Meinecke, M.: A modular tracking system for far infrared pedestrian recognition, *Proc. IV2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp.759–764 (2005).
- 15) Groggi, A., Fascioli, A., Grisleri, P., Graf, T. and Meinecke, M.: Model-based validation approaches and matching techniques for automotive vision based pedestrian detection, *Proc. OTCBVS'05 IEEE Workshop on Object Tracking and Classification Beyond the Visible Spectrum* (2005).
- 16) 平成 15 年度道路画像処理の評価システムに関する研究報告書, (財) 日本自動車研究所 (2004).

- 17) 平成 16 年度道路画像処理性能評価システムに関する研究報告書, (財) 日本自動車研究所 (2005).

(平成 17 年 5 月 12 日受付)

(平成 17 年 11 月 18 日採録)

(担当編集委員 奥富 正敏)



青木 正喜

1966 年東京大学工学部電気工学科卒業. 1968 年同大学院修士課程修了. 1972 年同大学院博士課程修了. 同年成蹊大学工学部電気電子工学科助教授. 1976 年カナダ McGill 大学客員研究員 (1 年). 1984 年カナダ Alberta 大学客員教授 (1 年). 1986 年成蹊大学工学部電気工学科教授. 2005 年 4 月より成蹊大学理工学部情報科学科教授. 画像処理, パターン認識, 動画画像解析の研究に従事. 工学博士. 電子情報通信学会, 電気学会, IEEE 各会員. 6th Annual Pattern Recognition Society Award 受賞.



安田 升

1970 年成蹊大学工学部電気工学科卒業. 同年日本電気 (株) 入社, 1976 ~ 1979 年中央研究所にて IRCCD の研究, 誘導光電事業部にて大気観測用 LIDAR, コヒーレント LADAR の開発, IRFPA, 誘導飛翔体 IR イメージャ, レーザセンサの研究開発, FLIR の開発に従事. 1993 年より同事業部主管技師長. 2004 年より NEC 三栄 (株), 現在, 同社技術専任統括部長. 日本赤外線学会 2002 ~ 2004 年度副会長, 現在顧問, 電気学会, 米国 SPIE 学会各会員.