

赤外線カメラを用いた車内における人物姿勢検出

加藤 隆志[†] 圓道 知博[†] 藤井 俊彰[†] 谷本 正幸[†]

[†]名古屋大学大学院 工学研究科電子情報学専攻谷本研究室

〒464-8603 名古屋市千種区不老町

E-mail: [†] kato@tanimoto.nucee.nagoya-u.ac.jp, [†] {yendo, fujii, tanimoto}@nuce.nagoya-u.ac.jp

あらまし 画像を用いて運転者の姿勢検出を行う際に、取得される画像の輝度値は背景や照度変化など周囲の環境の影響を受けやすいという問題が生じる。この問題を解決するために、一般的に照度変化に強い赤外線カメラが車内での検出の撮影方法として用いられているが、車内という特定された状況において人物検出に適した撮影方法を考える必要がある。本稿では撮影に影響を及ぼす赤外線の性質について調査し、車内での検出に適した撮影方法を考案した。そして、取得した画像に対して画像処理を用いる事により周囲の環境の変化にロバストな人物の姿勢検出を可能にした。

キーワード 姿勢, 赤外線, ロバスト, 車内

Detection of Driver's Posture In a Car by Using Infrared Camera

Takashi KATO[†] Tomohiro ENDO[†] Toshiaki FUJII[†] and Masayuki TANIMOTO[†]

[†] Department of Information Electronics, Graduate School of Engineering, Nagoya University

Furou-cho 1-2-3, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603 Japan

E-mail: [†] kato@tanimoto.nucee.nagoya-u.ac.jp, [†] {yendo, fujii, tanimoto}@nuce.nagoya-u.ac.jp

Abstract In the case of capturing a driver's image for detecting his posture, the image can be influenced by the environment, such as the outside scene and illumination. An infrared camera is often used in order to capture the image of a driver robustly. But, the capturing method, which is suitable for detecting person in such environment, needs to be considered. In this report, we investigated the character of the light wavelength used for capturing. And we examined the capturing method which is suitable for detecting a driver in a car. Finally we detected the driver's posture by using the proposed capturing method.

Keyword Posture, Infrared Ray, Robust, In a Car

1. はじめに

交通事故や交通渋滞といった道路交通問題を解決する新しい交通システムが ITS の発展により開発されている [1]。このシステムは人と道路と乗物を最新の情報通信技術を用いて形成するものである。

そのようなシステムの 1 つとして AHS(自動走行支援システム)というシステムが研究されている。このシステムは反応が遅く視力が弱いといった人達でも安全に自動車を運転することができる環境を提供するものであり、このようなシステムは将来の高齢化社会では必要になると考えられる。また、運転者に補助画像を表示することにより運転支援を行うという別の操作支援システムも研究されている [2]。このシステムでは運転操作は機械ではなく人間が行う。このシステムは人間の認知能力と機械の情報の両方の優れた点を用いている。

このような ITS のシステムにおいて運転者へ情報を伝える方法としてカーモニターや音声を用いられている。しかし、ドライバーの姿勢・状況を考慮していないシステムではドライバーが情報を取得するのが困難になる場合があり、更には安全運転に影響を及ぼす可能性がある。予めドライバーの姿勢や状態を知ることにより、状況に応じてドライバーに受け取りやすい情報取得方法を用いることができると考えられる。このようなシステムを実現するために運転者の姿勢を検出する必要がある。

車内での撮影において、窓の外の背景や照明の影響について考える必要がある。環境にロバストな撮影を行うために、一般的に赤外線カメラを用いて実験が行われている。また、本研究とは目的が異なるが、車外の歩行者を検出するために撮影環境として可視光と赤外光を用いる場合の比較も行われている [3]。赤外線カ

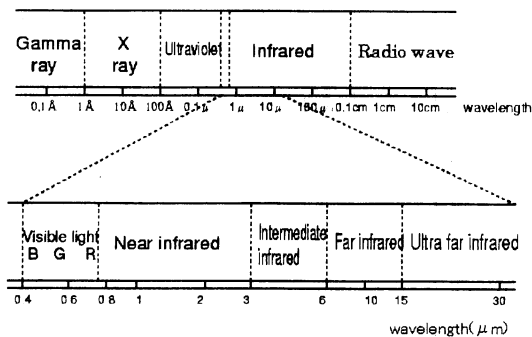


図 1. 赤外線 の 波 長 と 名 称

メラとは夜間の照明のないような場所で撮影を行うことができるカメラであると知られている。赤外線とは $0.78 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ の波長を持った光の事であり(図 1) [4], 波長の長さによって周囲の環境からの影響は異なる。最適な撮影環境を用意するためには赤外線の特性を調査し撮影方法を考える必要がある。

2. 赤外線

2.1. 光の波長

赤外線は $0.78 \sim 1000 \mu\text{m}$ の範囲に存在する波長の光であり、可視光よりも長い波長である。しかし、その波長範囲全部を撮影に用いることはできない。大気中にある波長の光を吸収する分子(CO_2 , H_2O など)が存在するからである。60cm 間での H_2O と CO_2 による赤外線の透過特性は図 2 のようになる[5]。このような特性のため、一般的に赤外線カメラに用いられる波長帯は $3 \sim 5 \mu\text{m}$, $8 \sim 14 \mu\text{m}$ のものであり、この範囲で精度の良い撮影を行うことができる。

ここで異なる波長を用いる二つのカメラを区別するために、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ の波長を検出するカメラを中赤外線カメラと呼び、 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ の波長を検出するカメラを遠赤外線カメラと呼ぶ。この二つのカメラは扱う波長

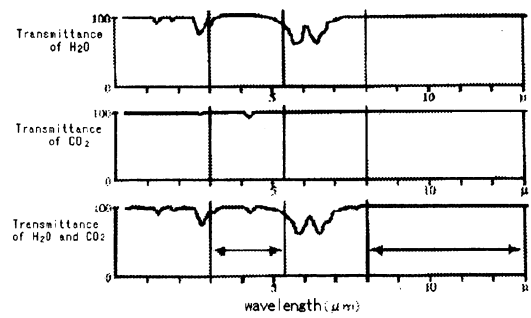


図 2. スペクトル特性

表 1. 赤外線 の 波 長 と 性 質

	中赤外線	遠赤外線
波長(μm)	3~5	8~14
ガラスの透過率	× (半透明)	○ (不透明)
反射の影響	○ (小さい)	△ (大きい)
大気中での減衰	△ (受けやすい)	○ (受けにくい)

が異なるため、撮影に及ぼす影響も異なってくる。車内での最適な撮影方法を考えるためには二つのカメラ間の特性の違いを調べる必要があり、車内という特別な状況に適したカメラを選ばなければならない。そこで、二つのカメラの特性の違いを調査した。その結果を表 1 に示す。

ガラスの透過特性を考えたとき、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ の波長の赤外線はガラスに対して半透明であり、 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ 以上の波長の光の赤外線はガラスに対して不透明であるという性質を持っている。つまり、遠赤外線を用いる事により検出の際に車外の背景を無視することができると考えられる。遠赤外線は車外から窓を通過して入って来ることができないからである。車内での検出に遠赤外線カメラを用いる事によって、窓の外の背景に影響されない撮影を行う事ができる。

車内では、カメラの対象(運転手)との距離は 3m 未満と考えられるので、大気中の分子による赤外線の吸収について心配する必要はないと考えられる。

光の反射の影響に関しては、遠赤外線カメラを用いた場合には人から発せられる赤外線はガラスに反射してカメラに向かう可能性があると考えられる。しかしながら、光は直進する特性があるので、赤外線カメラの位置を変えることによってこの問題を解決することができる。

このような理由から、車内での撮影には遠赤外線カメラが適しているのではないかと考えた。そこで、窓による反射の影響を受けず、運転の邪魔にならないカメラ位置を考え、助手席の前方・運転者の斜め前からカメラを置くことにした。

2.2. 赤外線を用いた撮影方法

赤外線カメラを用いた撮影方法として赤外線を照射する方法と照射しない方法がある。赤外線非照射の方法では対象物体の赤外線の放射量を測定する事となる。赤外線の放射量と温度には相関関係がある。対象の温度が高ければ高いほど、赤外線の放射量は多くなる。赤外線非照射な方法を用いる事により、物体の温度情報を得ることができる。

一方、赤外線を照射する方法とは、赤外線を照射して物体によって反射される赤外線の情報を取得する



図 3. 各カメラによる撮影画像

(左上：CCD カメラ，右上：近赤外線カメラ(赤外線照射)，
左下：遠赤外線カメラ(赤外線非照射))

事となる。物体によって赤外線の反射率は異なるので、反射によって得られる赤外線エネルギーは物体によって異なる。

もし、他のシステムとの連動を考えた時に赤外線を照射する方法を用いると、他の赤外線を用いたセンサと信号の干渉問題を引き起こす可能性がある。将来のシステムの発展を考え、今回の実験では赤外線の非照射な方法を用いて撮影を行った。

実際に得られる画像として、CCD カメラと近赤外線カメラと遠赤外線カメラを比較した画像を図 3 に示す。図 3 において、左上の画像が CCD カメラによる画像、右上の画像が近赤外線カメラを用いた赤外線照射の撮影方式による画像、左下の画像が遠赤外線カメラを用いた赤外線非照射な撮影方式による画像となっている。この画像を見て分かるように、提案撮影方法で車外からの照明の影響を受けず、車内の情報のみを取得できる。今回の実験には遠赤外線カメラを用いた赤外線非照射な方式での撮影を行った。この温度情報の画像を用いて運転手の姿勢を検出した。

3. 検出手順

3.1. 検出処理の流れ

第 3 章では実際に取得した画像を用いて、検出を行う際に必要な画像処理の手順について説明する。検出の手順を図 4 に示す。全体の流れとして、取得画像から顔の領域を抽出し、次に顔の中の鼻・口といった特徴点の領域を見つけ、それらの情報を用いて運転手の顔の向きを検出する。

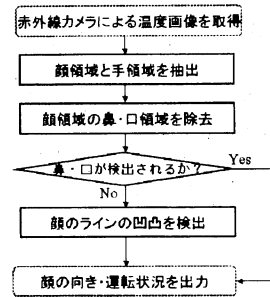


図 4. 検出手順のフローチャート

3.2. 顔領域の抽出

3.2.1. 肌領域の抽出

今回の実験では遠赤外線カメラを用いた赤外線非照射な撮影方式で画像を取得したため、物体の温度と関係のある輝度値を持った画像を得ることができる(図 5)。取得画像に対して輝度値のヒストグラムを作成すると、図 6 のようなヒストグラムを得ることができる。一つの物体内での温度分布の変化は小さいと考えることができるので、各物体が山の形をした温度分布を持つと考える事ができる。つまり、ヒストグラムには複数の山があり、ヒストグラム中の各山が画像中の各物体を表していると考えられる事ができる。車内では一般的に人の肌の温度が他の物体と比べて暖かいと考えられるので、ヒストグラムの最も輝度値の高い領域にある山を抽出する事により、人物の肌領域の抽出を行う(図 7)。



図 5. 取得画像

図 6. ヒストグラム

3.2.2. 肌領域から顔領域の選択

得られた肌領域画像から顔領域を抽出する。先の手順で得られた肌領域画像(図 7)に対してラベリング処理を行う。各肌領域の面積と重心座標を計算し、これらの情報を用いて顔領域を抽出する(図 9)。

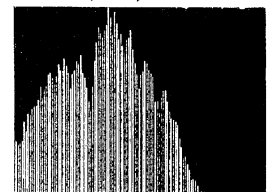


図 7. 肌領域画像

図 8. 肌領域のヒストグラム

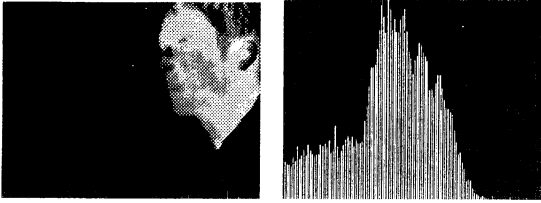


図 9. 顔領域画像 図 10. 顔領域のヒストグラム

3.3. 顔領域の特徴点の抽出

3.3.1. 特徴点候補領域の抽出

顔領域では、鼻や口や耳といった特徴点は他の肌領域に比べ温度が低いといった特徴がある。図 10 で得られた顔領域の中で温度の低い領域に特徴点があると考えられる。そこで、顔領域と特徴点の領域を分けるために閾値処理を行う。運転手が正面向きと左向きの画像で処理を行った結果、図 11 のような画像が得られる。



図 11. 顔領域の 2 値化画像(正面向き, 左向き)

3.3.2. 特徴点の選択

特徴点を選択する手順を計算モデルを用いて説明する。今回用いた画像において、画像の左上を原点とし、横軸を x 軸、縦軸を y 軸として考える。(Xg, Yg) は特徴点候補領域の重心座標を表している。(Xg, yt), (Xg, yb) は重心の x 座標と同じ軸にある顔領域の頂点と最も底の点を表している。(xl, Yg), (xr, Yg) は重心の x 座標と同じ軸にある顔領域の左端の点と右端の点を表している(図 12)。特徴候補領域から、式(1)を満たす領域を特徴点(鼻, 口)の領域として抽出を行う。

$$xl < Xg < xl + \frac{xr - xl}{2} \quad (1)$$

$$yt + \frac{yb - yt}{4} < Yg < yb$$

図 11 の画像に対してラベリング処理を行い、各特徴点候補領域の面積と重心座標を計算する。得られた各領域の面積情報に対して、特徴点領域の閾値よりも大きければ、式(1)の条件を満たすか計算を行う。もし、式(1)を満たす領域であれば、特徴点領域として検出される。

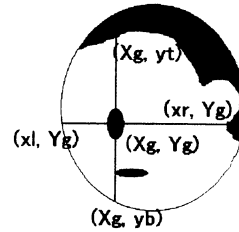


図 12. 計算モデル

3.4. 顔の向きの決定

これまでの手順で得られた情報を用いて、顔の向きを決定する。

3.4.1. 特徴点を用いた顔の向きの決定

もし特徴点の領域(鼻, 口)が顔領域の中に含まれるように検出された場合には、運転手は左を向いていると判断される。そのような場合には、運転手の顔の向いている角度を計算した。今回は左を向いている場合のみ顔の向きを求めたが、これは運転手が右、または正面を向いている場合には特徴点を検出されないためである。

最初に、特徴点領域(鼻, 口)の重心座標を計算する。次に、顔領域の半径の長さ(face_r)と顔領域の中心から鼻領域の重心座標までの距離(nose_r)を求める(図 13)。

運転手の顔が向いている角度を θ とし、運転手が正面を向いている場合を 0° 、左を向いている場合を負の方向に考えると、運転手の向いている角度は式(2)で表すことができる。

$$\theta = -\cos^{-1}\left(\frac{\text{nose_r}}{\text{face_r}}\right) \quad (2)$$

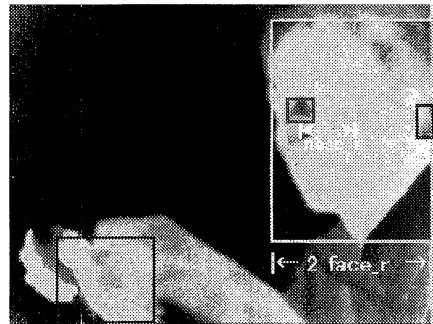


図 13. 運転手の顔の向きの計算モデル

3.4.2. 特徴点のない場合の顔の向き決定

もし、運転手が右、または正面を向いている場合には特徴点は検出されない。なぜなら、運転手が右を向いている場合には特徴点が顔に隠れてしまい、正面を向いている場合には顔領域の境界線と重なってしまい背景領域として検出されてしまうからである。そこで、特徴点によって顔の情報に及ぼす変化情報を用いて顔の向き決定を行う。

特徴点の領域と顔領域の境界と重なってしまう場合には、顔領域の境界線に凹凸が複数現れる。また、特徴点の領域が重なって見えなくなってしまう場合には顔の境界の凹凸は少なくなる。

検出を行う際に顔の境界線の凹凸を強調するために、5x5ピクセルサイズのブロック化を行う。そして、凹凸の個数が閾値よりも多ければ正面向き、そうでなければ右向きと検出する。ブロック化を行った画像は図14のようになり、顔の境界線の凹凸に違いが現れている事が分かる。

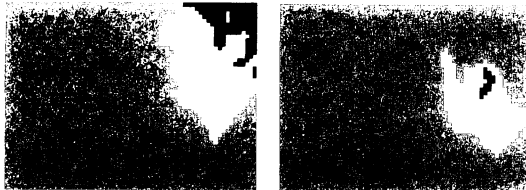


図14. ブロック化画像(正面向き, 右向き)

4. 実験

4.1. 実験準備

今回の実験では、車のカットボディを用いて撮影を行った。また、助手席の前方にカメラを設置し、運転手の斜め左前方からカメラを向けて撮影を行った(図15)。実験で用いたカメラは8~12 μ mの波長を検出する遠赤外線カメラ(図16)で赤外線非照射の方式で撮影を行った。このカメラで取得した画像を計算機に送り、画像処理を行った。

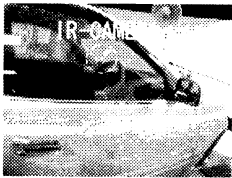


図15. 実験環境

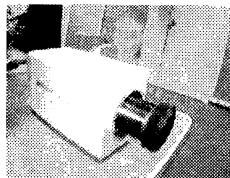


図16. 赤外線カメラ

4.2. 実験結果

先に示した検出アルゴリズムを用いて取得画像に対して行った。実験の結果として、顔領域・手領域・特徴点の領域を四角で囲んだ。結果画像を図17に示す。

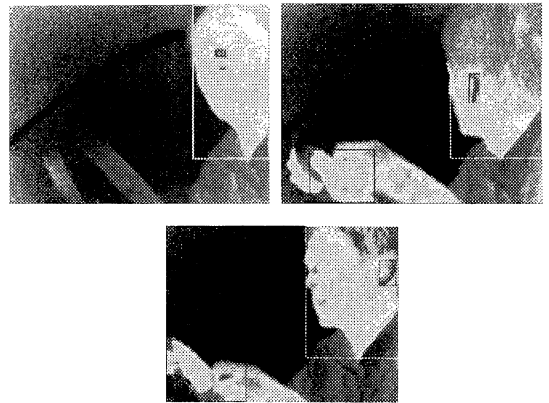


図17. 検出領域(顔, 手, 特徴点)を四角で囲んだ処理結果画像

実験で得られた値(output of method)と真実の値(real value)の比較を行う。各フレームにおいて運転手の顔の向きを検出結果をグラフにしたものを図18に示す。今回の実験では、運転手の顔の向きを検出結果を3方向(左, 正面, 右)に分けた。また、真実の値と比較するために、右向きを45°, 正面向きを0°, 左向きを-45°としてグラフに記し比較を行う。真実の値として、画像から目測で運転手の顔の向いている角度を判断し、グラフに記した。グラフに示した例では、運転手は最初左を見ていて、次に正面を向き、最後に右を向くといった流れになっている。グラフを見ると、左向きと右向きの時に精度良く検出されているのが分かるが、正面向きの場合には不安定な結果になった。

また、本実験では運転手が左側を向いている場合のみ、顔の向いている角度を計算によって求めた(図19)。図19を見ると、実験結果として得られた値と真実の値との誤差は比較的小さいと言える。さらに、角度の計算を求める際に用いた特徴点が正確に検出されているか確認するために、鼻領域の重心座標のx座標を実験結果の値と真実の値との比較を行った(図20)。

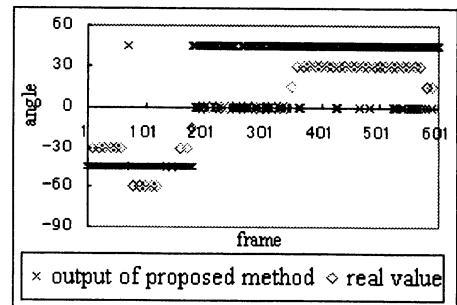


図18. 運転手の顔の向き検出結果

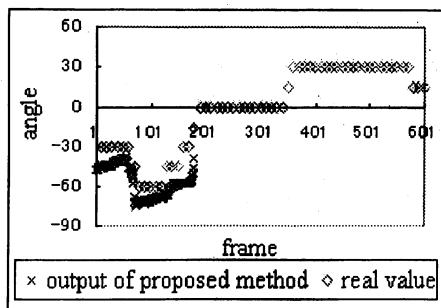


図 19. 運転手の顔の角度の計算結果

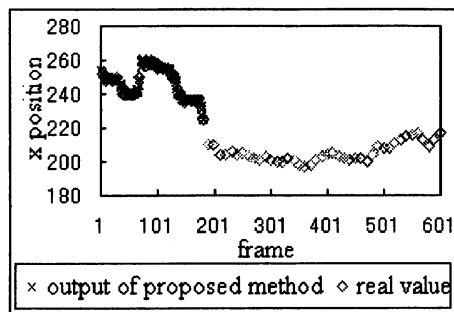


図.20 運転手の鼻領域の重心の x 座標の検出結果

5. むすび

車内での運転手の姿勢検出を行うのに適した撮影方法について検討し、遠赤外線カメラを用いた赤外線非照射な撮影方式で用いる方法を提案した。提案した撮影手法により、従来の撮影手法で撮影画像が車外の照明や背景に影響されていた問題を解決する事ができた。また、提案した撮影手法により得られた画像に対して画像処理を行う事によって、運転手の顔の向きに関する情報を得る事ができた。本稿では運転手の向いている方向を3方向(左, 正面, 右)に分類し、運転手が左側を向いている場合のみ角度を計算で求めた。

今後は、さらに姿勢に関する情報を取得するためにアルゴリズムの改善と他の撮影方法との連動を考えている。

文 献

- [1] 国土交通省道路局 ITS ホームページ,
"http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/index.html."
- [2] Masato Koyamaishi et al., "Acquisition of Position and Direction of In-Vehicle Camera for HIR System.", Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.848-853, 2004.
- [3] Yajun Fang, Keiichi Yamada, Yoshiki Ninomiya, Berthold Horn, Ichiro Masaki, "Comparison between Infrared-image-based and Visible-image-based

Approaches for Pedestrian Detection", Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.505-510, 2003.

- [4] R.D. Hudson, Jr. "INFRARED SYSTEM ENGINEERING", John Willey & Son, 1969.

- [5] 赤外線の基本,
"http://www.avio.co.jp/products/tvs/pdf/tvs_basic.pdf", 日本アビオニクス株式会社