

LH-002

近赤外光を用いた肌領域検出について有効性の考察 Consideration of the Effectiveness of the Detection of a Skin Region by Using Near-IR Light

渡辺 泰斗† Yamamoto Kazuhiko 加藤 邦人† Katou Kunihito 小島 真一‡ Shinichi Kojima 中西 悟‡ Satoru Nakanishi

1. はじめに

近年、運転者支援システムや^{[1][2]}、ペットロボット^[3]、ヒューマンインターフェースや監視システム^[4]など応用分野の拡大に伴って顔検出技術の重要性がますます増大している^{[5]-[9]}。顔検出においては肌領域の推定が、重要な役割を果たしている。そのため、いままでも種々の方法が提案されてきたが、未だ確立した手法は提案されていない。肌領域の推定には一般的に肌の色を抽出する方法^[10]が挙げられるが、この手法には光源環境の制限において解決すべき問題点が多い。

肌色抽出により肌領域を検出する場合、可視光帯域における色空間において肌色を定義することにより、その肌色領域の検出を行っている。この手法は、真っ暗な環境においては可視光源を対象に照射しなければならない。しかし、夜間において顔検出を行う場合、可視光を積極的に照射することは、対象者に不快感を与える。また、日中は太陽の位置によって光源環境が著しく変化するので安定して肌領域を検出するのは難しい。

そこで、我々は、肌と髪と綿の素材が持つ反射特性の違いに注目し、可視光カットフィルタをつけたカメラにおいて、異なる2波長の近赤外光を照射したときに取得される画像の差分を行うことで安定して肌の素材判別を行う手法を提案してきた^{[11][12]}。このときカメラの感度帯域の波長の光を全て取り込んでいると、ハレーションなどを起こしてしまい十分な性能を確保できない場合があった。そのため、本稿では、できるだけ外乱光の影響を軽減するために、肌が区別できる2波長を含みながら可能な限り狭い透過帯域幅を持つ単一バンドパスフィルタを用いてシステムを構成する手法を提案し、肌の素材判別実験を行った。

2. 肌検出手法

図1(a)に1枚の画像を示す。ここでは、2つの物体が写っており、左はマネキン、右は人間である。この二つの物体に対して人間の肌領域だけを検出することは非常に難しい。前述したように、肌色検出を用いる場合、夜間においては対象者に可視光を照射しなければならない。しかし、可視光を照射することは、対象者に不快感を与えてしまう。そこで、目に見えない近赤外光を用いることでこれを解消した。

しかしながら、近赤外光を照射したときの取得画像では、残念ながら可視光ではないため肌色検出を行うことができない。そのため、単一周波数を用いた1枚の画像からでは人の肌を検出することは困難である。そこで、人の肌だけを検出するために、図2に示す人の肌と髪の分光反射特性に注目し、特徴的な近赤外領域の波長 W_1 と W_2 の2波長に着目した。図2の横軸は波長を、縦軸は反射率

を表している。次にこの特徴を用いて肌の検出を行う手法について説明をする。



図1 取得画像

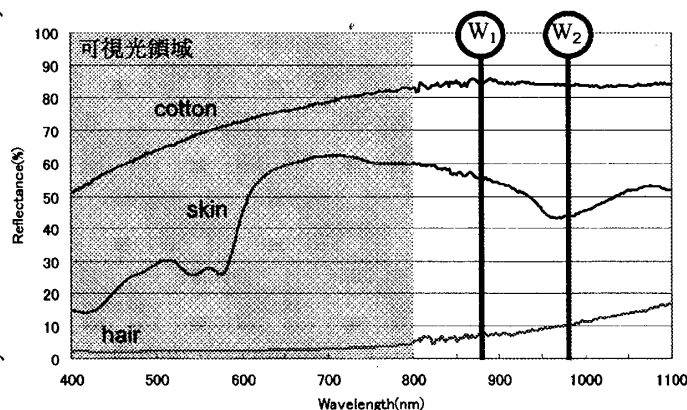


図2 肌と髪と綿の分光反射特

この手法ではまず、 W_1 の波長の近赤外光を照射した画像 I_{W_1} を得る。同様に W_2 の波長の近赤外光を照射した画像 I_{W_2} を得る。ただし、 I_{W_1} と I_{W_2} の撮影間隔は非常に短い間隔で取得される。ここで、 I_{W_1} と I_{W_2} のそれぞれの画素を $f_{W_1}(i,j)$, $f_{W_2}(i,j)$ とし、それぞれの画像の差分値を $f_s(i,j)$ とすると次のようになる。

$$f_s(i,j) = f_{W_1}(i,j) - f_{W_2}(i,j) \quad (1)$$

肌は W_1 の方が反射率が高い素材であるため、式(1)の差分値において肌領域は正の値となる。逆に、髪領域では W_2 の方が反射率の高い素材であるため、その差分値は負の値となる。よって、差分値 $f_s(i,j)$ の符号によって素材の判別が行える。

なお、差分画像を I_d と置いたとき、 $-255 \leq f_s(i,j) \times n \leq 255$ の範囲となるような定数 n を用いて式(2)を計算し、差分画像 I_d の画素値 $f_d(i,j)$ を作成する。

† 岐阜大学工学部

‡ (社)株式会社 豊田中央研究所

$$f_s(i,j) = f_i(i,j) \times n \quad (2)$$

元に戻って図 1(a)は W_1 を照射したときの取得画像、図 1(b)は W_2 を照射したときの取得画像である。(b)の取得画像は、(a)の取得画像よりもマネキンの肌の領域が明るくなっており、逆に人間の肌の領域が暗くなっていることがわかる。これによって、それぞれの画像の差分をすることで人の肌だけが検出できることがわかる。

3. 綿の反射特性を用いたキャリブレーション

実際に 2 波長の照射画像の差分によって肌の反射特性を観測するには W_1 と W_2 の 2 波長の観測される観測値 (対応画像の輝度値) を等しくする必要がある。しかし、図 3 に示すカメラの感度特性より、カメラの感度は波長により異なることがわかる。よって、照射装置から照射された W_1 と W_2 の光を光量計や電流量から等しくしたとしても、観測した画像では CCD 感度の違いから観測される輝度値は等しくならない。

このとき観測される輝度値を等しくするために、いくつかの方法が考えられる。そこで、本手法において我々は図 2 に示す綿の反射特性に着目した。図 2 より綿の反射特性は、ほぼ一定なので、綿に 2 波長をそれぞれの照射したときの取得画像の輝度値が等しくなるように LED の放射強度を設定し 2 波長の観測される観測値を等しくした。このことにより、LED の個々の素子の違いも考慮し観測される輝度値を等しくすることができる。

相対感度

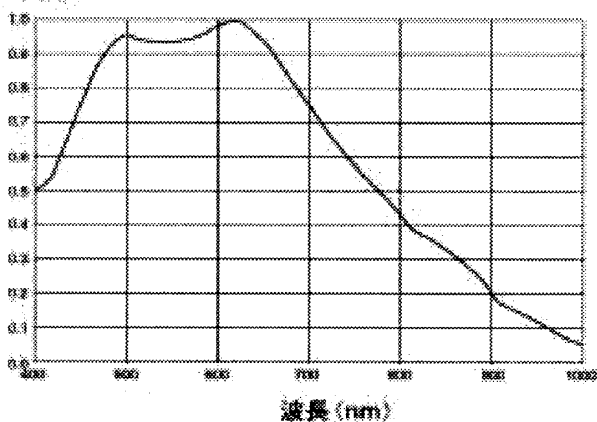


図 3 CCD カメラの感度特性

4. バンドパスフィルタを用いた手法

図 2 に示される、カメラに感度帯域内の全ての波長の光を取り込んでしまうと、外乱光の影響を大きく受けてしまう。そこで、ある特定の帯域の光だけを通すという特徴を持つバンドパスフィルタを用いることによって外乱光の影響を軽減することを考えた。

本稿ではカメラの感度帯域において、できるだけ外乱光の影響を軽減するために、肌が判別できる近接した 2 波長の近赤外光を含みながら、狭い透過帯域幅を持つ単一バンドパスフィルタを用いてシステムを構成することを考えた。このとき、近赤外領域の中で、カメラの感度がある帯域内において肌の反射率の変化ができるだけ大きい領域におい

て中心波長 950nm、半値幅 40nm のバンドパスフィルタを選定した。

そして、その透過帯域内において 2 章で述べた特性を持つ 2 波長 W_1 、 W_2 をそれぞれ 940nm、970nm とおく。2 波長の近赤外光とバンドパスフィルタの透過帯域を図 4 に示す。また、図 5 に綿、ウール、ナイロン、肌の反射特性を示す。図 5 の分光反射特性は上から綿、ウール、ナイロン、肌の反射率を表している。

本稿では肌と綿の判別を行った。これは肌は差分値が正の値、髪は負の値を持つので、差分値がゼロの値を持つ綿との判別が行えれば、髪との判別も行えるからである。また、差分値がゼロの値を持つウールやナイロンとの判別も可能である。

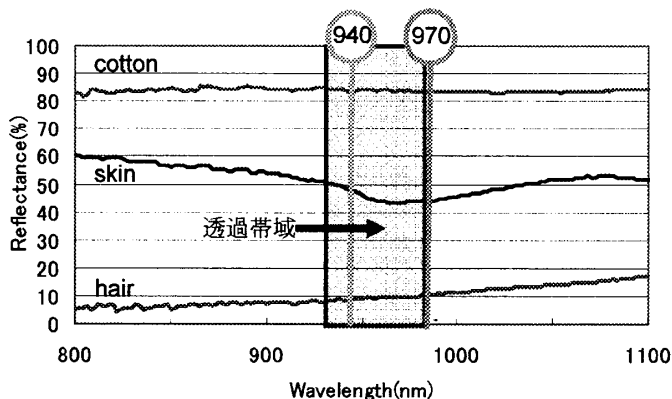


図 4 透過帯域と選択した 2 波長の近赤外光

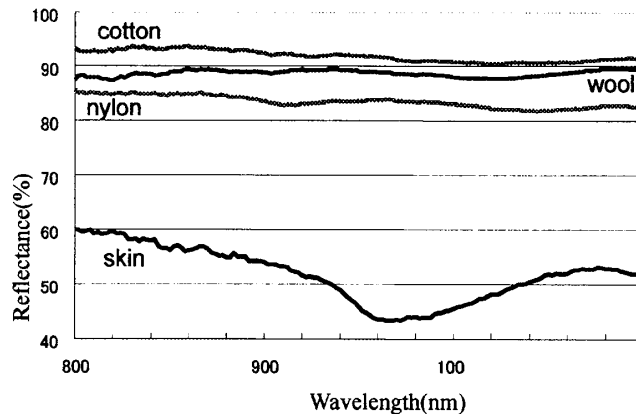


図 5 いろいろな素材の分光反射特性

5. システム概要

本稿では図 6 に示す撮影システムを作成し、肌の反射特性の違いを利用することで肌の検出が行えるシステムを構成した。光源として 2 波長の近赤外 LED を用いた照射装置を作成した。そのとき、照射光の当たり方のむらをなくすために、図 7 に示す配置パターンを用いる。また、LED には指向性があるため、できるだけこれを解消するために、拡散板を LED の前に取り付ける。

また、本実験において 2 波長を交互に照射し画像を取得

している。

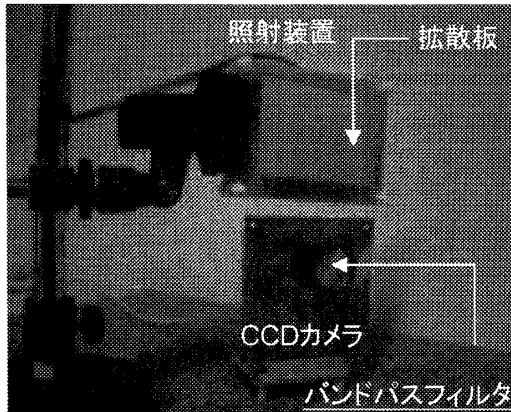


図6 システム概要

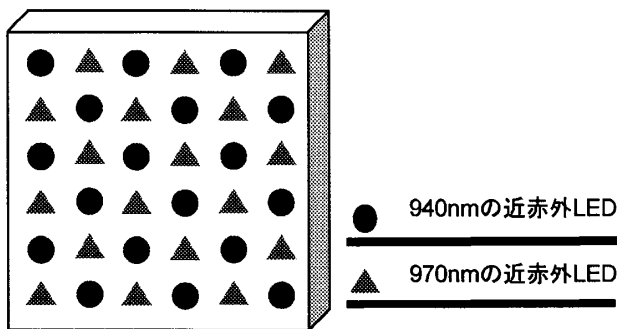


図7 近赤外LEDの配置パターン

6. 肌の反射特性の理論値の計算

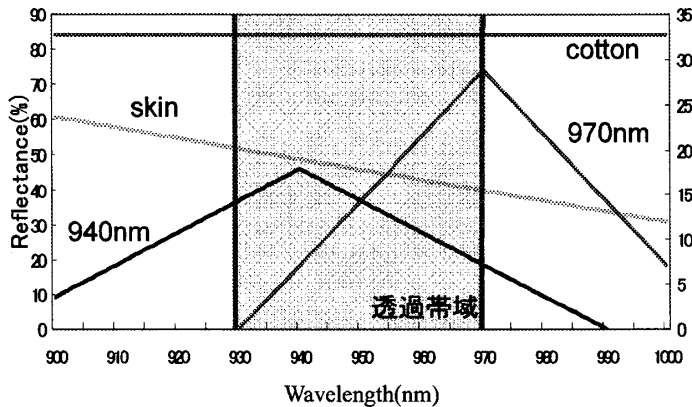


図8 近似モデル

まず、2波長の近赤外光 LED を照射したときの取得画像の輝度値を差分した値が、どの程度観測できるのか理論的計算を行う。このため、本稿で用いる 940nm と 970nm の近赤外 LED の放射強度分布を、単純化のために、940nm と 970nm の半値幅をそれぞれ 50nm、40nm と、等価な三角形で近似した。また、透過帯域内において、バンドパスフィルタの半値幅は 40nm とし、透過率は必ずしも一定ではないが、ここでは一定とし近似した。モデル化した 2 波長の近赤外 LED の放射強度、バンドパスフィルタの透過率

と、肌と綿の反射率を近似したグラフを図 8 に示す。このグラフの値を式(3)~(5)に代入し理論計算を行う。図 8 の横軸は波長を、縦軸は反射率と放射強度を表し、肌と綿の線は反射特性(反射率)を示している。そして、930nm と 970nm の線の間はバンドパスフィルタの透過帯域を表している。

まず、940nm の近赤外 LED の放射強度を $E_{940}(x)$ 、同様に 970nm の放射強度を $E_{970}(x)$ とする。そして、素材の反射率を $R_m(x)$ 、バンドパスフィルタの透過帯域の幅を W とする。このとき透過帯域内のある波長に対する、940nm の放射強度と肌の反射率をかけて、透過帯域内で積分した値が 940nm を照射したときに観測された画素(この画素を観測画素と呼ぶ)の画素値、 I_{s940} として式(3)に表される。同様に 970nm を照射したときに観測された画素を I_{s970} とし式(4)に示す。

次に、式(5)より 2 波長の観測画素を差分した値が、観測画素のどれくらいの割合になるのかを求めるために、2 波長の観測画素で正規化した値 S を求める。 R_m を肌の反射率としたときに、肌領域全体における各画素で求められた、 S の平均値は約 6% となった。次に実際に肌検出が行えるか実験を行う。

$$I_{s940} = \int_0^W E_{940}(x) \times R_m(x) dx \quad (3)$$

$$I_{s970} = \int_0^W E_{970}(x) \times R_m(x) dx \quad (4)$$

$$S = \frac{I_{s940} - I_{s970}}{(I_{s940} + I_{s970})} \times 2 \quad (5)$$

7. 実験による肌の反射特性の確認

理論的考察によって、肌領域全体における各画素で 2 波長の観測画素を差分した値が、観測画素のどれくらいの割合になるのか確認できたので、図 6 のシステムを用いて、室内でそれぞれの波長の近赤外光を照射し、綿の上に手を置いた実際の観測画像から肌の検出を行う。検出の処理結果を図 9 に示す。

まず図 9(a)のように 940nm の近赤外線 LED を照射した観測画像を得る。同様に 970nm を照射した図 9(b)を得る。観測画像は LED の指向性とバンドパスフィルタの影響のために画像の端に行くほど画像が暗くなる。そのため、それらの影響を受けていない白い枠で囲った領域を有効領域として図 9(c)に示す。

(a)と(b)の画像の画素値を差分し、ゼロもしくは負の値を持つ画素の値をゼロにした。その有効領域内を拡大したものを図 9(d)に、また(d)において正の値を輝度最大にした画像を図 9(e)に示す。肌の領域が差分値の正の値をとり、綿の領域はゼロをとるため(e)は正しく指を検出していることがわかる。よって、近接した 2 波長の近赤外光でも観測画像の差分を取ることで肌の検出が可能であることが確認できた。なお、実測値から求められた肌領域全体における各画素で求められた、 S の平均値は 4% になることがわかった。これより、理論値の約 7 割の大きさの実測値が得られた。

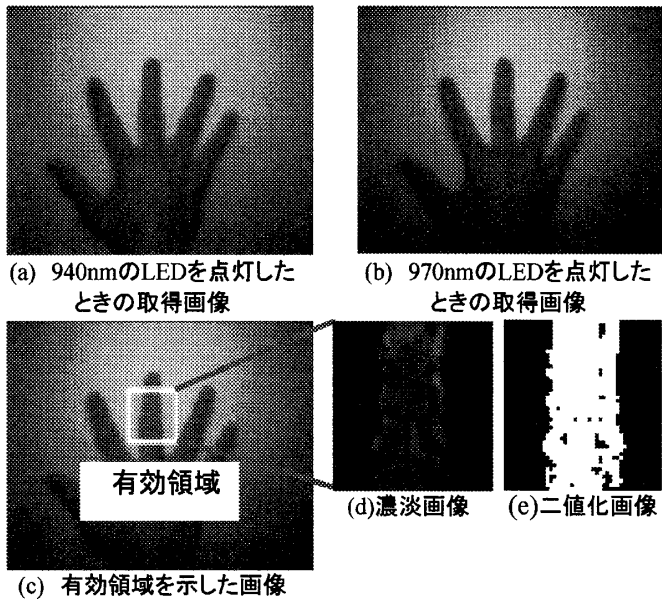


図9 肌の素材の検出例

8. まとめ

本稿では、外乱光の影響を減らすために狭い透過帯域幅を持つ単一バンドパスフィルタをカメラに装着するシステムを用いた。そして、バンドパスフィルタの狭い帯域内において肌と綿の反射特性の違いを利用し、近接した異なる2波長の近赤外光を照射したときの取得画像を差分する肌の検出手法を提案した。そして、まず理論計算によって肌領域全体における各画素で求め、 S の平均値が6%になることを確認した。

次に、室内においての評価実験により、実際の観測画像の肌領域全体における各画素で求め、 S の平均値が4%になることを確認し肌の検出が可能であることを確認した。

今後は有効領域を拡大するための照射装置の改良とともに、画像のノイズの低減を図り、検出精度の向上を行う。

文献

- [1] 鈴木,見浪:”車載カメラを用いた複数歩行者の実時間認識”, 信学論, Vol.J88-A, No.2, pp.131-141, 2005
- [2] 小越,小越,木村,広瀬:”CCDカメラ画像に基づいた自動車の車庫入れの自動化”, 信学論, Vol.J87-A, No.2, pp.242-252, 2004
- [3] 三原,山内,土井:”実時間ビジョン型インタフェースとペットロボットへの応用”, 信学論, Vol.J84-D2, No.9, pp.2070-2078, 2001
- [4] 津田, 山本, 加藤: “近赤外光による人物と写真との判別手法の提案”, 電学論C, Vol.24, No.12, pp.2446-2453, 2004
- [5] 白木, 安藤, 二宮, 田中, 大上, 所: “顔の左右対称性に基づく高速な顔向き検出技術”, 動的画像処理実利用化ワークショップ2006, pp.177-181, 2006
- [6] J.Fukuda, K.Adachi, M.Nishida, and E.Akutsu: “Development of Driver’s Drowsiness Detection Technology”, TOYOTA Technical Review Vol.45, No.1, pp.34-40, 1995
- [7] 小杉: “個人識別のための多重ピラミッドを用いたシー

ン中の顔の探索・位置決め”, 信学論, Vol.J77-D2, No.4, pp.672-681, 1994

- [8] 赤松: “コンピュータによる顔の認識—サーベイ—”, 信学論, Vol.J80-D2, No.8, pp.2031-2046, 1997
- [9] 山口, 福井: “顔向きや表情の変化にロバストな顔認識システム “Smartface”, 信学論, Vol.J84-D2, No.6, pp.1045-1052, 2001
- [10] 呉, 陳, 谷内田: “ファジイパターン照合を用いた色彩画像からの顔検出システム”, 信学論, Vol.J80-D2, No.7, pp.1774-1785, 1997
- [11] 鈴木, 山本, 加藤, 安藤, 小島: “運転者支援における近赤外マルチバンドを用いた肌検出”, VIEW2005, pp.166-171, 2005
- [12] 高井, 山本, 加藤, 山田, 安藤: “運転者サポートのための顔画像取得システム”, 第3回動画像実利用化ワークショップ, pp.74-79, 2002