

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007 ～ 2008
 課題番号：19500080

研究課題名（和文） 肌素材直接検出による人感センサの研究開発

研究課題名（英文） A study of sensor for human detection with a property of the skin material

研究代表者 山本和彦（YAMAMOTO KAZUHIKO）
 岐阜大学・工学部・教授
 研究者番号：60273116

研究成果の概要：

現在までに照明条件に影響を受けるといった欠点を回避するために人の目には感じない近赤外光を照射し利用する方法が提案されシステムが作られてきた。しかしながら近赤外では肌色を用いた人物検出ができないため、色を用いるという利点が生かせず膨大な計算時間を必要としてきた。

そこで本研究では、「肌色」の代わりに「素材としての肌」を複数の近赤外光を用いて直接抽出するシステムを実現するため、近赤外発光源IR-LEDと近赤外領域をセンシングするCCDカメラの組み合わせによって人の肌を高速で検出する人感センサの開発を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学

キーワード：人感センサ、人肌検出、セキュリティ、近赤外光、素材判別、FPGA、組込み画像処理

1. 研究開始当初の背景

近赤外光を用いた画像処理の研究として、物質の分光反射特性を利用してマテリアル（素材）の判別を行う手法を提案する研究がある^[1]。分光反射特性を利用したマテリアル判別の手法では、まず、複数波長の光源（マルチバンド光源）を物体に照射し、近赤外画像の撮影できるカメラでその近赤外光の反射光を観測する。そして、得られた近赤外画像の輝度値と物質の分光反射特性とを比較することでマテリアルの判別を行っている。

ここで、画像から人の肌領域を検出したい場合を考える。一般的には、可視領域のカラ

ー画像から「肌色」と定義した箇所を抽出するといった手法や、パターンマッチングなどで顔や手などの部分を検出するといった手法^[8]が用いられる。しかし、前者においては光源環境の変化による色の変化の影響を受けやすく、肌色をした別の物体が画像内に入ってくるだけで誤検出してしまうことがある。また、後者においては顔の向きや手の形などの形の影響を受けやすく、指の形状が変わるだけでマッチングできなくなってしまう。複数のパターンを用意することで解決はできるが、用意したパターンの数だけ処理が必要でリアルタイムに処理しようとするのが困難である。

しかし、この近赤外光を用いる手法ではマテリアルをダイレクトに検出できるため、人間の目に見えるような表層的な色には左右されない。つまり、赤い布でも青い布でも素材が同じであれば同じ布と判別することができるのである。また、可視領域でない光を使うため、暗闇の環境下で人に向かって光源を照射しても察知されることがない。これにより利用用途が広がることが期待できる。また、パターンマッチングのように辞書との比較をする必要がなく、波長の数だけ撮影した画像の輝度値を比較するだけなので、高速かつリアルタイムに処理をすることが可能である。

2. 研究の目的

我々は近赤外のマルチバンド光源により、安定して肌を検出する手法を提案してきた^[2]。この手法は複数波長の近赤外光を用い、近赤外領域における物質の反射特性からマテリアルを判別することが可能である。本研究の目的は、この近赤外マルチバンド光源による肌検出手法を確立し、この肌検出手法を FPGA 上に実装し、小型軽量化することである。FPGA に実装することの利点は次の通りである。

- 小型化
- 同期の安定化
- センサーモジュールとしての利用可能性

まず、PC が不要なのでシステムを大幅に小型化することができる。そして、FPGA 内部でカメラや光源の制御を同期するためタイミング制御が安定化される。また、FPGA に実装できるということは ASIC (専用 IC) 化可能であるということであり、今後このモジュールをセンサーモジュールとして使用していく上で量産など産業への利用可能性を示すこととなる。

以上のようなビジョンを元に肌領域検出アルゴリズムを FPGA へ実装する。

3. 研究の方法

(1) 近赤外マルチバンド光源による肌検出手法

図 1 は人の肌と髪の色を分光反射特性を示したものである。ここに示ように、870nm と 970nm の波長間において、髪は右上がりの特性を持っているのに対し、肌は右下がりの特性を持っている。これより、870nm の光源を照射して撮影した画像と 970nm の光源を照射した画像を差分し、その差分値の正負で肌と髪の判別が行える。970nm の画像から 870nm の画像を差分した場合は、差分値が負で肌、正で髪となる。図 2 に従来システム^[2]で肌検出を行った画像を示す。

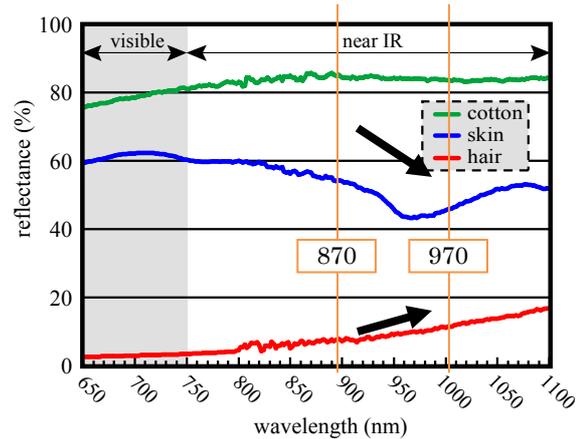


図 1 人の肌と髪の色を分光反射特性

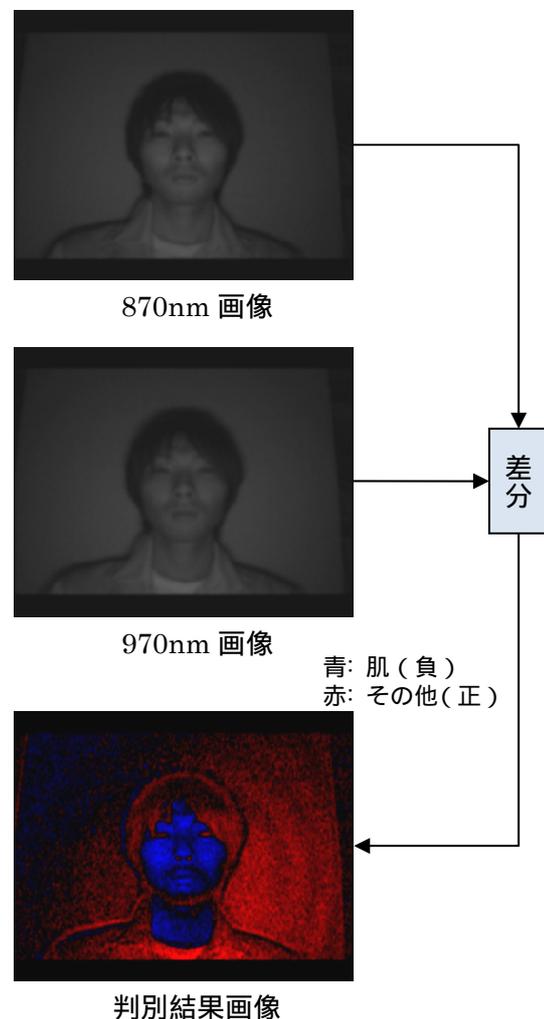


図 2 近赤外マルチバンド光源による肌検出手法

このように、差分という簡単な処理でしかないため、高速に処理できるアルゴリズムである。

(2) 肌検出システム概要

本手法における肌検出システムの要件は以下の通りである。また処理のおおまかな流れの概念図を図3で示す。

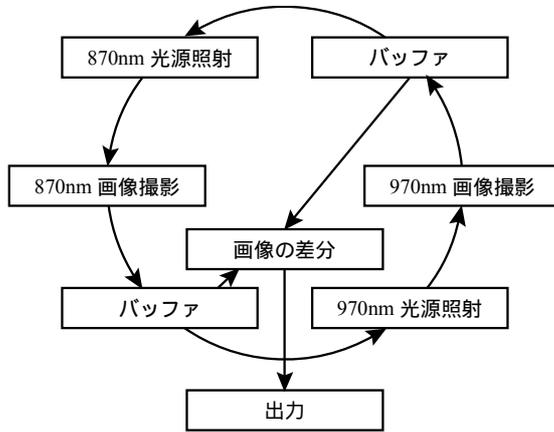


図3 肌検出システムの流れ概念図

- カメラとその同期制御
- メモリとその同期制御
- 光源とその同期制御
- 画像の差分

870nmと970nmの光源を用いてそれぞれの波長の画像を撮影しなければならない。そのため、870nmと970nmの近赤外光源と画像を撮影するためのカメラ、画像をバッファするためのメモリが必要である。そして、光源、カメラ、メモリを使うためには同期制御をしなければならない。

光源の同期制御はカメラの撮影タイミングに同期しなければならない。また、メモリへの書き込みもカメラから出力されるフレームに合わせて制御しなければならない。

画像の差分にはフレーム間差分を用いる。その理由は今回使用した CCD カメラはプログレッシブ方式（フレーム毎に1枚の画像を出力する方式）であり、870nmと970nmの2波長分の画像を得るためには2フレームを必要とし、その差分としてフレーム間差分が適しているためである。そのため、870nmと970nmの画像間で1フレーム分の撮影時間の差が発生してしまう問題がある。

このプログレッシブ方式のカメラに対し、インターレース方式（フレーム毎に1列置き画像を出力する方式）のカメラを用いれば、プログレッシブ方式での1フレームの時間中に870nmと970nmの画像を得ることが可能なため、時間のずれは起こりにくくなる。しかし、インターレース方式では1列分の位置ずれが発生してしまう。これらの画像の出力方式は目的に合わせて適宜選択する必要がある。

また、本システムではディスプレイにて肌

の検出結果を観測できるようにするため、先に述べた4項目（カメラ、メモリ、光源、差分）以外にディスプレイとその制御回路を要件として含んでいる。

(3) FPGA への実装

今回作成した肌検出モジュールの外観を図4に示す。モジュールはベースボード、カメラボード、光源（LED投光器）で構成されている。使用したハードウェアは表1の通りである。

ベースボードには FPGA（Xilinx 社製 XC3S500E）やディスプレイへ出力するための A/D コンバータ、SRAM、LED ドライブ回路などが搭載されている。このベースボードのサイズは 15cm × 11cm であるが、様々なインターフェース（小型ディスプレイやコネクタが異なるカメラなど）を接続できるように拡張性に富む設計となっているため、システムに必要なものだけを装備したボードとすることでより小型することが可能である。

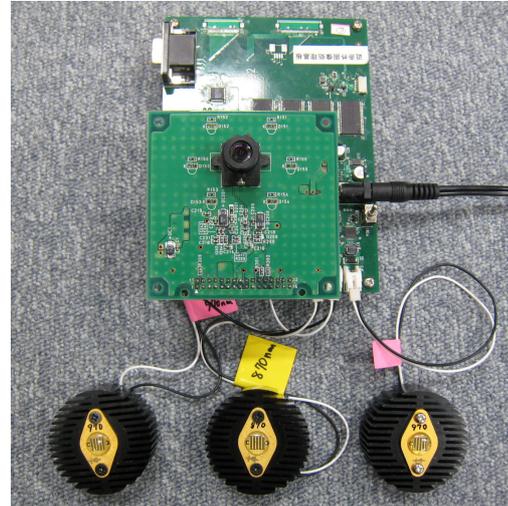


図4 肌検出モジュール外観

表1 使用したハードウェア一覧

ベースボード	SP3E-2	ESP 企画
カメラボード	CAMV-640B-B W	三洋半導 体
光源(870nm)	L870-66-60	epitex
光源(970nm)	L970-66-60	epitex

カメラボードには CCD 素子とカメラのドライブと信号処理をする DSP IC が搭載されている。このカメラボードに使用されている CCD 素子は、近赤外領域に良好な感度特性を持つ LC99117（三洋半導体）が使用されている。

光源には放射強度が強く、放射角度の広い LED アレイ（1パッケージに近赤外 LED が 10 × 5 個入っている）を使用している。

FPGA でカメラや光源の同期制御を行うためのタイミング設計は非常に重要である。本手法においては、光源(870nmと970nm)の切り替え、カメラからの撮影画像のバッファ先の切り替えをカメラのフレームに同期させる必要がある。またバッファから順次画素データを読み出し、差分処理をすることで肌検出が可能となる。

これらの処理はフレーム単位、画素単位で常に同期をとりながら処理する必要があり、同期がずれないようにタイミング設計を行う必要がある。

(4) ハードウェアの同期制御

本システムの同期制御の流れをエラー! 参照元が見つかりません。に示す。図は横軸が時系列で、縦にモジュールが並んでおり、並列に処理していることを示している。本システムではこれらの処理はすべて FPGA 上に実装している。

まず DCM によりクロックの生成をする。DCM とは水晶発振子から入力される基準クロックを FPGA 上の回路で扱いやすく正確なタイミングを刻むように生成、管理するモジュールである。

クロックが安定したら、次にカメラの設定を行う。カメラにはホワイトバランスや露光、フレームレートなどの挙動をカメラレジスタの変更により設定することができる。本システムではフレーム間の画素値の揺れや変化を抑えるため、自動ホワイトバランスや自動ゲイン調整などを使用しない設定にしている。またフレームレートは 40fps、画像の解像度は 352x288 に設定している。

カメラ設定が終了したらカメラから出力される同期信号を基準として画像信号を FPGA 上のレジスタで受け取る。このカメラの同期信号のうちフレーム毎に変化する垂直同期信号 (VSYNC) を基に照射する光源 (870nm と 970nm) 画像を書き込むメモリ (M1 と M2) の切り替えを行う。

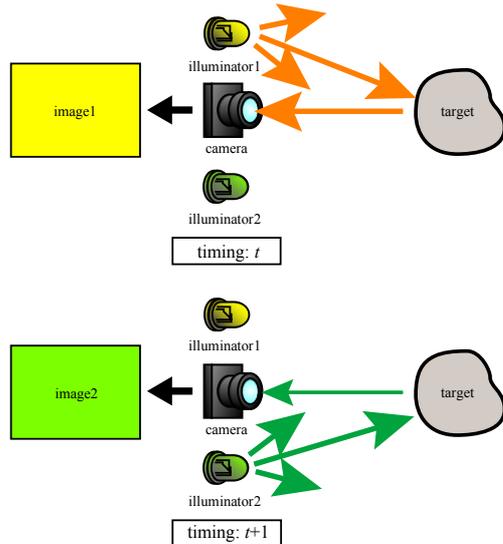


図 5 光源切り替えイメージ図

光源切り替えのイメージを図 5 に示す。メモリ 1 には 870nm の光源を照射した画像、メモリ 2 には 970nm の光源を照射した画像が書き込まれる。つまり、メモリ 1 には 870nm の反射特性、メモリ 2 には 970nm の反射特性を持つ画像が格納されていることになる。これにより差分はメモリ 2 の画像からメモリ 1 の画像を引けばよいということになる。

カメラの同期とは別にディスプレイの同期制御を行う。ディスプレイを同期するための信号は DCM からのクロックとカウンタ回路により生成する。このディスプレイタイミングに同期してメモリ 1 とメモリ 2 から画素を参照し、差分をとる。その差分結果により、負の差分値が出れば肌の領域ということになる。

(5) システムのモジュール構成

実際に F P G A に組み込んだモジュール (回路) の構成とその周辺デバイスの構成を表すブロック図を図 6 に示す。

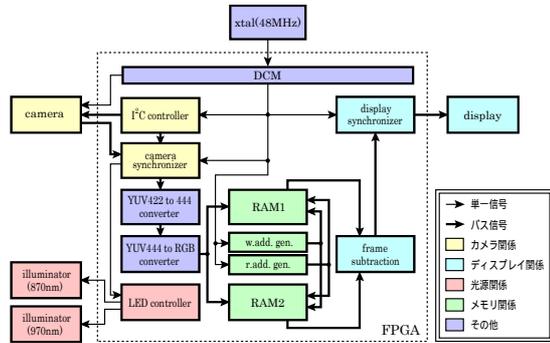


図 6 本システムの回路構成ブロック図

すべてのデバイス(カメラ、光源、メモリ、ディスプレイ)は FPGA に接続されており、FPGA 上から一括制御することができる。そのため、ハードウェア間の同期がとりやすくなっている。特に本システムで最もタイミングが重要である光源の切り替えタイミングを完全にカメラのフレームと同期できることが最大のメリットとなっている。

メモリはタイミング制御のしやすい FPGA 内部の Block RAM を使用している。さらに Dual Port RAM とすることで同期タイミング設計しやすくしてある。

今回使用したカメラからの画像信号は YUV4:2:2 という形式で出力されるため、まず信号を扱いやすい YUV4:4:4 形式に変換し、その後で RGB 信号に変換するという信号変換回路を組み込んでいる。このカメラは近赤外画像を単色 (RGB のうち G に相当) で出力する仕様となっているため、RGB に変換された画像信号のうち 1 色 (G) を取り出し、メモリへ格納する。

また、ハードウェアの設計で同期回路は単

ークロックで同期すべきという一般通念を遵守し、すべてのモジュールは DCM からのクロック (48MHz) を基準クロックとして、各同期信号の状態を条件として動作するように設計している。

4. 研究の成果

(1) 肌と綿布の判別実験

本システムの動作を確かめるために図7に示すように肌と綿布を同時に撮影し、その判別実験を行った。

結果を図に示す。図のように肌領域である手 (画像左側) と綿布 (画像右側) の判別ができていたことが確認できた。また、肌検出はカメラのフレームレート (40fps) に対してリアルタイムに行えていることが確認できた。



図7 肌と綿布の判別実験風景



図8 肌と綿布の判別結果

(2) まとめ

本稿では、赤外マルチバンド光源による肌検出手法を小型軽量化することを目標とし、その実装に関する回路設計や検証実験を行った。その結果、肌検出システムを FPGA に実装することで小型軽量化を実現し、より可搬性の高いモジュールとすることに成功した。

参考文献

- [1] J.Dowdell, I.Pavlidis, and G.Bebis:"Face Detection in the Near-IR Spectrum", Proc. of Image and Vision Computing, Vol.21, Issue 7, pp.565-578, 2003
- [2] 鈴木, 山本, 加藤, 安藤, 小島: "近赤外マルチバンドによる肌検出の提案", 電学会論文誌 C, Vol.127, No.4, pp.583-590 (2007)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計7件)

森川晶平, 近赤外3波長帯域を利用したマテリアル検出の提案, 動的画像処理実利用化ワークショップ DIA2009, 2009年3月5日, 日本大学工学部

渡辺泰人, 近接した近赤外光を用いた肌領域検出について有効性の考察, Meeting on Image Recognition and Understanding 2008, 2008年7月30日, 軽井沢プリンスホテル

森川晶平, 近赤外光によるマテリアル特性を利用した顔検出システム, 第14回画像センシングシンポジウム, 2008年6月12日, パシフィコ横浜

Taito Watanabe, Detection Method of

Skin Region by Single Band Pass Filter,
International Symposium on
Optomechatronic Technologies 2007,
2007年10月10日, Beaulieu Congress
Centre, Lausanne, Switzerland

Taito Watanabe, Proposal of a Method
of Skin Region Detection by Two Near
Wavelengths of Near Infrared, SICE
Annual Conference 2007, 2007年9月
18日, 香川大学

渡辺泰斗, 近赤外光を用いた肌領域検
出について有効性の考察, 第6回情報科
学技術フォーラム, 2007年9月5日, 中
京大学

渡辺泰斗, 近接した近赤外光源による
肌検出手法の研究, 第13回画像センシ
ングシンポジウム, 2007年6月7日, パ
シフィコ横浜アネックスホール

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本和彦(YAMAMOTO KAZUHIKO)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号: 60273116

(2) 研究分担者

加藤邦人(KATO KUNIHITO)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号: 70283281

(3) 連携研究者