

近赤外画像計測による睡眠中の非拘束眼球運動検出

Unrestricted eye movement detection employing infrared imaging during sleep

2011004



研究代表者

立命館大学 理工学部
ロボティクス学科

准教授

下ノ村 和 弘

〔研究の目的〕

近年の高ストレス、24 時間型社会化から、睡眠に関する悩みを抱える人が増加しており、日本では、成人の 5 人に 1 人が睡眠になんらかの不満をもつといわれている。さらに、これらの睡眠障害が引き起こす日中の注意低下が重大な事故の要因となり得ることが指摘されている。従来より用いられてきた睡眠状態の検査法であるポリグラフ検査では、頭部や顔部に多数の電極の装着が必要であり、専門の施設において専門家のもとで実施することが必須であるが、普段の睡眠状態を日常的に評価するために、在宅で簡便に利用可能な睡眠状態評価技術が求められている。

睡眠状態評価に必要な生体情報のうち、心拍や呼吸、体動については、非拘束で比較的簡便に計測できる技術が開発されている。これに対して、睡眠中の眼球運動は、電極等の装着なしに非拘束で検出することは極めて難しく、今までほとんど試みられていない。睡眠中は眼を閉じるため検出対象の眼球が露出しないことから、画像により非接触で眼球運動を計測するシステムは利用できない。さらには、睡眠中に顔の向きや位置が様々に変化し得ることも問題を困難にしている。

本研究では、被験者の頭部周囲に、近赤外照明とカメラを設置し、閉眼時の眼球運動を画像から顔表面の動きとして検出する方法を提案す

る。また、画像計測による頭部姿勢の検出と照明および撮影方向の制御により、頭部の姿勢によらず、顔の小さな動きを安定して検出できることを目指す。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、まず、設置したカメラにより顔正面の画像が撮影できると仮定した場合、すなわち睡眠中の対象者の頭部がほとんど動かないことを仮定した場合に、画像解析により眼球運動を検出するアルゴリズムを構築した。

図 1 に、本研究で用いた実験環境の様子を示す。実験は暗室を用いて、一般的な睡眠中の環境を模した薄暗い環境で行った。このような環境でも解析可能な質の画像を取得するために、近赤外帯域の LED ランプを照明に用いた。カメラは、IR カットフィルタを装着していな



図 1 実験環境

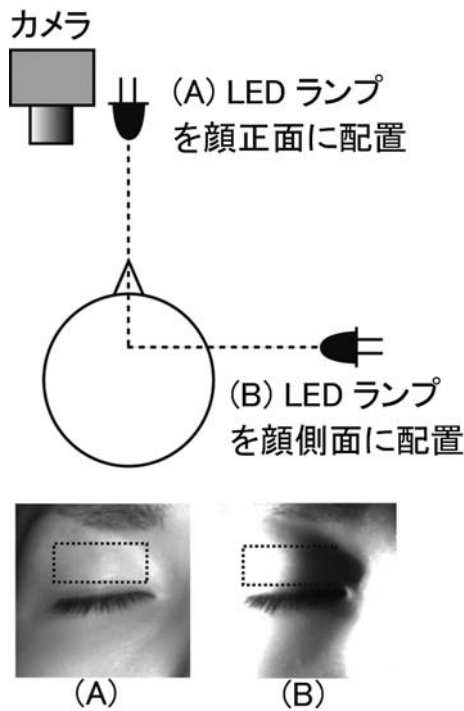


図2 カメラおよび近赤外 LED ランプの配置

い CMOS カメラを用いた。被験者は椅子に着座しているが、照明やカメラとの相対的な位置、姿勢は横になって寝ている際と同じになるようにカメラ等を設置した。

図2に、カメラおよび近赤外 LED ランプの配置を示す。カメラは被験者の顔を正面からとらえられるように設置した。これに対して、近赤外 LED ランプは、顔正面に向けて設置する場合と、顔側面から照らす場合とを比較した。(A) および (B) はそれぞれ、顔正面に向けて設置した場合、顔側面に向けて設置した場合のカメラ出力画像である。一般的な画像の品質の観点からは、(A) の正面から照明を当てた場合の方がよい画像が取得できている。しかしながら、眼球運動検出を目的とする場合には、その特徴が明確に現れる画像の方がよい。後に述べるように、本研究では、眼球運動による瞼表面のわずかな動きを画像処理によりとらえる。瞼表面は丸みを帯びているため、(B) のように側面から照明を当てた場合には、照明が直接当たる部分と影になる部分が生じ、その境界では大きな濃度変化がみられる。眼球が動き瞼表面

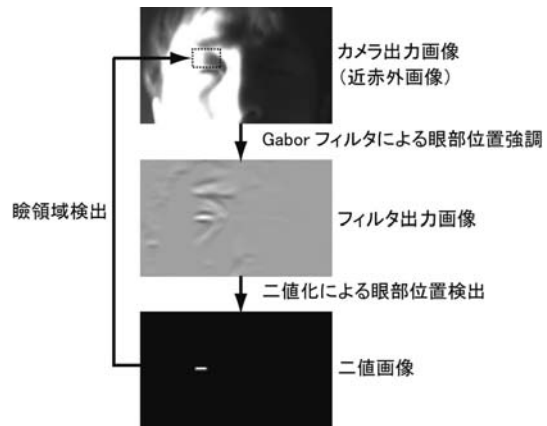


図3 瞼領域検出のアルゴリズム

形状が変化した場合、この高い濃度差をもつ部分が動くため、感度良くこれを検出できる。したがって、本研究では (B) のように顔側面から照明をあてることを選択した。

カメラでとらえた被験者の顔全体の画像の中から、まず瞼領域を検出する必要がある。図3にこのための手順を示す。カメラ出力画像に対して、まず、水平方向に伸びた形状のガボールフィルタを適用することで、閉じた眼の部分に対応する黒い水平方向の線分を強調する。フィルタ出力画像において、眼の部分が白く示され、抽出されていることが分かる。さらに二値化処理により眼の部位を特定する。このようにして検出された眼部のすぐ上の領域が瞼に対応するため、この画像領域を切り出して後続の処理を行う。続いて、この瞼領域においてフレーム間差分計算を行う。これにより、眼球が動いていない場合はほとんど変化がないが、眼球が動いている場合には、前述のようにこの領域が大きな濃度差をもっていることから、大きな応答が得られる。瞼領域のフレーム間差分応答を領域内で積分することで、この値を眼球運動の有無の指標とした。図4に、瞼領域におけるフレーム間差分応答の積分値のフレームごとの変化の例を示す。本研究で用いた顔側面からの照明を用いた場合 (B) に加えて、比較のために、照明を顔正面から当てた場合の結果も (A) に示している。太線の丸は瞼領域を、細線の丸は比較のために指定した瞼ではない領域を示してい

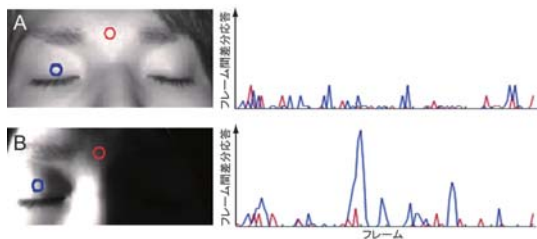


図4 眼領域におけるフレーム間差分応答

る。右側のグラフの縦軸は、眼領域におけるフレーム間差分応答の積分値である。眼領域とそうでない領域での値を重ね描きした。照明を顔正面から当てた(A)の場合では、もともと眼領域に大きな濃度変化がないため、フレーム間差分の結果は眼領域ではない場所で計算したそれ(バックグラウンドノイズ成分と見なせる)とほとんど見分けがつかない。一方、照明を顔側面から当てた(B)の場合では、眼球運動時に大きな応答が見られ、バックグラウンドノイズとの弁別が容易になっている。このような値に対してしきい値処理を施すことで、眼球運動の検出を行った。

図5に、眼球運動検出の結果を示す。(A)は、カメラを顔の正面に配置した場合である。左側のカメラ出力画像を、右側のグラフは100フレーム間(およそ3秒間)の眼球運動検出結果を示す。図中、4回の眼球運動が検出されているが、顔がカメラに対して正面を向いている場合には正確に眼球運動を検出できた。さらに、カメラに対して顔の方向が変化した場合について検討した。(B)は、カメラに対して顔が30度回転した場合の結果である。図中4回の眼球運動が検出されているが、この場合にも検出結果は正確であった。(C)および(D)は、カメ

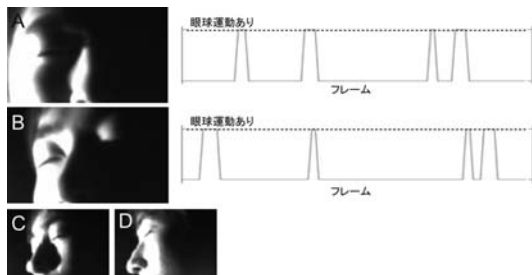


図5 眼球運動検出結果

ラに対して顔がそれぞれ60度、90度回転した場合のカメラ出力画像である。これらの場合には、眼部の位置検出がうまくはたらかないことから、眼球運動検出は行えなかった。これらの実験から、提案した眼球運動検出アルゴリズムは、カメラに対して顔が左右それぞれ30度以内程度の回転までならば、精度よく眼球運動を検出できるが、それよりも大きく顔が回転した場合には急激に検出精度が低下することが分かった。

そこで、画像から顔の方向を検出し、顔がカメラに対して30度以内程度に収まるように複数のカメラを設置することを考えた。顔の方向を検出する方法として、本研究では照度差ステレオ法の適用を試みた。照度差ステレオ法とは、異なる方向から光が照射された物体の画像を複数枚利用して物体面の方向を推定する方法である。物体表面の明るさは、その面の光源に対する方向によって変化する。このことを利用して、3方向以上の異なる方向の光源のもとで撮影された物体表面の明るさからその面の方向を推定する。推定された面の形状から鼻先の向く方向を推定し、顔の向きとして利用することを考えた。これは、複数のカメラおよび複数の照明を顔のまわりに設置することを想定し、顔に対して異なる方向に設置した複数の照明を切り替えながら顔画像を撮影することで、照度差ステレオ法が利用できると思ったためである。

図6に、照度差ステレオ法による顔方向検出の実験結果を示す。(A)は、顔正面にカメラを設置し、照明を左右それぞれ30度の方向、および正面の3方向から順にあてながら撮影し

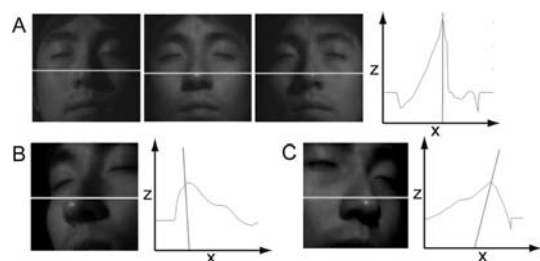


図6 照度差ステレオ法による顔方向の推定

た画像である。これら3枚の画像から照度差ステレオ法により推定した顔表面の形状を右側のグラフに示す。画像上で白い線で示されたラインのプロファイルである。顔形状を正確には復元していないものの、おおよそ鼻の形状は分かる。(B) および (C) は、カメラに対して顔をそれぞれ左右に30度回転させた場合の結果である。これらの場合も同様に、顔全体の形状は正確には推定できていないが、鼻の方向を推定することはかろうじて可能である。顔をカメラに対して60度回転させた場合では、表面形状の推定結果は著しく不正確であった。照度差ステレオ法による形状推定は、光源位置の設定に非常に敏感であり、これに誤差があると形状推定結果は大きく変化する。睡眠時の顔の方向の推定において、カメラや照明は固定できるとし

ても、測定対象者が動くことで相対的な位置を正確に知ることは困難であると考えられる。これらの実験より、顔方向の推定には別の手法を用いる必要があると結論した。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、カメラに対して正面に近い向きで顔画像が撮影できる条件では、正確に眼球運動を検出することができた。今後、ポリグラフ検査で用いられる眼球運動検出方法との比較による検証が課題である。また、カメラに対する顔の方向を推定することで、頭部姿勢の変化に対応できる可能性があるが、そのために適切な手法を選択し実験により利用可能性を検証することは今後の課題である。