

明 細 書

発明の名称：

画像処理方法、画像処理装置、及び画像処理プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、画像処理により視線情報を検出する技術に関するものである。

背景技術

[0002] 視線検出技術は、人物の興味対象の推定、眠気などの人物の状態の推定、及び視線による機器への入力を行うユーザインターフェースといった種々の用途で用いられている。視線方向は、ユーザの顔の向きに応じて異なるため、視線方向を正確に検出するために、顔の向きが考慮されている。

[0003] 例えば、特許文献1には、人の目の輪郭に対する瞳の位置及び顔の向きと、視線方向との相関関係を学習し、当該相関関係に検出対象者の瞳の位置及び顔の向きを適用し、検出対象者の瞳方向を推定し、推定した瞳方向と検出対象者の顔の向きとに基づいて検出対象者の視線方向を計算する技術が開示されている。特許文献2には、顔の向きを視線方向とみなす技術が開示されている。

[0004] 特許文献1、2の技術では、視線方向の水平成分と視線の垂直成分とを算出するにあたり、各成分に対して寄与するパラメータが異なることが何ら考慮されていないため、視線方向を正確に検出するうえでさらなる改善の必要がある。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2009-266086号公報

特許文献2：特開2017-83308号公報

発明の概要

[0006] 本開示の目的は、視線方向の検出精度をさらに向上させることが可能な画像処理技術を提供することにある。

[0007] 本開示の一態様に係る画像処理方法は、画像処理装置における画像処理方法であって、撮像装置により撮像された画像データを取得し、前記画像データから、人物の顔の特徴点の位置を検出し、前記画像データから、前記人物の目の瞳の中心位置を検出し、前記特徴点の位置に基づいて、前記顔の向きの水平成分及び垂直成分を検出し、前記顔の向きの水平成分と、前記瞳の中心位置及び前記特徴点の位置間の距離とに基づいて、前記撮像装置の光軸に対する前記人物の視線方向の水平成分を推定し、少なくとも前記顔の向きの垂直成分に基づいて、前記視線方向の垂直成分を推定し、前記視線方向の水平成分及び垂直成分を含む視線情報を出力する。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]本開示の実施の形態1に係る画像処理システムの全体構成の一例を示す図である。

[図2]実施の形態1に係る画像処理システムの詳細な構成の一例を示すブロック図である。

[図3]顔向き検出部の詳細な構成を示すブロック図である。

[図4]実施の形態1に係る画像処理装置の動作の一例を示すフローチャートである。

[図5]顔領域を示す図である。

[図6]顔領域に対して設定された顔の特徴点を示す図である。

[図7]目領域を示す図である。

[図8]二値化された目領域を示す図である。

[図9]顔の向きの水平成分を検出する処理の説明図である。

[図10]顔の向きの垂直成分を検出する処理の説明図である。

[図11]瞳方向の水平成分を検出する処理の第1例の説明図である。

[図12]図11に続く説明図である。

[図13]瞳方向の水平成分を検出する処理の第2例の説明図である。

[図14]光軸、顔の向き、瞳方向、及び視線方向の関係を示した図である。

[図15]本開示の実施の形態2に係る画像処理システムの全体構成の一例を示す

す図である。

[図16]実施の形態2に係る画像処理システムの動作の一例を示すフローチャートである。

[図17]まぶた検出処理の説明図である。

[図18]実施の形態3に係る画像処理システムの詳細な構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0009] (本開示の基礎となる知見)

3次元実空間内において人物の注視点を人物の顔の画像データを用いて検出する場合、例えば人物を撮影するカメラの光軸に対する視線方向を検出することが要求される。カメラの光軸に対する視線方向を検出する場合のパラメータとしては、例えばカメラの光軸に対する顔の向きと顔の向きに対する視線方向とが用いられる。

[0010] しかしながら、視線方向は3次元ベクトルで構成される。そのため、光軸に対する視線方向を検出する場合、カメラの光軸に対する顔の向きと、顔の向きに対する視線方向とを単に用いるだけでは不十分であり、両者を水平成分と垂直成分とに分けることが要求される。

[0011] 特許文献1では、左右方向の顔向きと左右方向の瞳方向との和から左右方向の視線方向が求められ、上下方向の顔向きと上下方向の瞳方向との和から上下方向の視線方向が求められている（段落[0073]）。

[0012] しかしながら、特許文献1では、人の目の輪郭に対する瞳の位置及び顔の向きと視線方向とから学習された相関関係に、検出対象者の顔向きと検出対象者の瞳の位置を適用することで瞳方向が計算されることが開示されているに過ぎない。そのため、特許文献1では、左右方向の瞳方向と上下方向の瞳方向とを区別して算出する具体的な開示がない。さらに、左右方向の顔向きと上下方向の顔向きとを区別して算出する具体的な開示もない。よって、特許文献1では、視線方向の水平成分と垂直成分とのそれぞれを算出するにあたり寄与するパラメータが異なることは何ら考慮されていない。さらに、特

許文献 1 では、予め相関関係を学習させることも要求され、手間である。

[0013] 特許文献 2 では、顔の向きが視線方向として見なされているため、視線方向の水平成分と垂直成分とのそれぞれを算出するにあたり寄与するパラメータが異なることは何ら考慮されていない。

[0014] 以上より特許文献 1、2 の技術は視線方向を精度よく検出するには不十分である。

[0015] そこで、本発明者は、視線方向の水平成分と垂直成分のそれぞれを算出するにあたり寄与するパラメータが異なるとの知見を得て、以下に示す各態様を想到するに至った。

[0016] 本開示の一態様に係る画像処理方法は、画像処理装置における画像処理方法であって、撮像装置により撮像された画像データを取得し、前記画像データから、人物の顔の特徴点の位置を検出し、前記画像データから、前記人物の目の瞳の中心位置を検出し、前記特徴点の位置に基づいて、前記顔の向きの水平成分及び垂直成分を検出し、前記顔の向きの水平成分と、前記瞳の中心位置及び前記特徴点の位置間の距離とに基づいて、前記撮像装置の光軸に対する前記人物の視線方向の水平成分を推定し、少なくとも前記顔の向きの垂直成分に基づいて、前記視線方向の垂直成分を推定し、前記視線方向の水平成分及び垂直成分を含む視線情報を出力する。

[0017] 本構成によれば、撮像装置の光軸に対する視線方向の水平成分は、顔の向きの水平成分と、瞳の中心位置及び顔の特徴点間の距離とに基づいて推定されている。光軸に対する視線方向の垂直成分は、少なくとも顔の向きの垂直成分に基づいて推定されている。このように、本構成では、光軸に対する視線方向の水平成分及び垂直成分のそれぞれが異なるパラメータを用いて推定されている。よって、本構成は、視線方向の検出精度をさらに向上させることができる。さらに、本構成は、上述したような相関関係を事前に学習することが不要である。よって、本構成は少ない処理ステップ数で高精度に視線方向を検出できる。

[0018] 上記画像処理方法において、前記特徴点は、前記人物の目尻及び目頭を含

んでもよい。

- [0019] 本構成によれば、顔の特徴点として目尻及び目頭が用いられているため、視線方向の検出精度をさらに向上させることができる。
- [0020] 上記画像処理方法において、前記視線方向の水平成分の推定では、前記瞳の中心位置及び前記目頭の位置間の第1距離と前記瞳の中心位置及び前記目尻の位置間の第2距離との割合に基づいて前記顔の向きに対する前記瞳の方向である瞳方向の水平成分を推定し、前記顔の向きの水平成分と前記瞳方向の水平成分とを合成することによって前記視線方向の水平成分を推定してもよい。
- [0021] 本構成によれば、瞳の中心位置及び目頭の位置間の第1距離と瞳の中心位置及び目尻の位置間の第2距離との割合に基づいて瞳方向の水平成分が推定され、瞳方向の水平成分と、顔の向きの水平成分とが合成され、視線方向の水平成分が推定される。これにより、視線方向の水平成分の推定精度が高まり、ひいては視線方向の検出精度をさらに向上させることができる。
- [0022] 上記画像処理方法において、前記特徴点は、前記顔の中心位置を含んでもよい。
- [0023] 本構成によれば、顔の特徴点として顔の中心位置が用いられているため、視線方向の検出精度をさらに向上させることができる。
- [0024] 上記画像処理方法において、前記視線方向の水平成分の推定では、前記人物の左右それぞれの瞳の中心位置の midpoint と前記顔の中心位置とのずれに基づいて前記顔の向きに対する前記瞳の方向である瞳方向の水平成分を推定し、前記瞳方向の水平成分と前記顔の向きの水平成分とを合成することによって前記視線方向の水平成分を推定してもよい。
- [0025] 本構成によれば、人物の左右それぞれの瞳の中心位置の midpoint と顔の中心位置とのずれに基づいて瞳方向の水平成分が推定され、瞳方向の水平成分と顔の向きの水平成分とが合成され、視線方向の水平成分が推定される。これにより、視線方向の水平成分の推定精度が高まり、ひいては視線方向の検出精度をさらに向上させることができる。

- [0026] 上記画像処理方法において、前記視線方向の垂直成分の推定では、さらに前記瞳の中心位置及び前記人物の上まぶた間の第3距離と前記瞳の中心位置及び前記人物の下まぶた間の第4距離とを用いて前記視線方向の垂直成分を推定してもよい。
- [0027] 本構成によれば、瞳の中心位置及び人物の上まぶた間の第3距離と瞳の中心位置及び人物の下まぶた間の第4距離とを用いて視線方向の垂直成分が推定されている。そのため、視線方向の垂直成分をより精度よく推定できる。
- [0028] 上記画像処理方法において、前記視線方向の垂直成分の推定では、前記第3距離と前記第4距離との割合に基づいて前記顔の向きに対する前記瞳の方向である瞳方向の垂直成分を推定し、前記瞳方向の垂直成分と前記顔の向きの垂直成分とを合成することによって前記視線方向の垂直成分を推定してもよい。
- [0029] 本構成によれば、第3距離と第4距離との割合に基づいて瞳方向の垂直成分が推定され、瞳方向の垂直成分と、顔の向きの垂直成分とが合成され、視線方向の垂直成分が推定される。これにより、視線方向の垂直成分の推定精度が高まり、ひいては視線方向の検出精度をさらに向上させることができる。
- [0030] 上記画像処理方法において、前記特徴点は、まゆげ及び口角の少なくとも一方を含み、前記視線情報と、前記まゆげの位置及び前記口角の位置の少なくとも一方に基づいて前記人物の関心度を推定してもよい。
- [0031] 本構成によれば、視線情報のみに基づいて関心度を推定する場合に比べて、より高精度に関心度を推定できる。
- [0032] 上記画像処理方法において、前記まゆげの位置及び前記口角の位置の少なくとも一方に基づいて前記人物の表情を推定し、前記視線情報と、前記推定された表情を示す情報とに基づいて前記人物の関心度を推定してもよい。
- [0033] 本構成によれば、まゆげの位置及び口角の位置の少なくとも一方に基づいて推定された人物の表情を示す情報と視線情報とを用いて関心度が推定されているため、人物の関心度をさらに高精度に推定できる。

- [0034] 上記画像処理方法において、前記視線情報は、所定の対象面における前記人物の注視点を基準とする所定範囲の領域である注視面を示す情報を含んでもよい。
- [0035] 本構成によれば、人物及び注視対象物間の距離又は注視対象物の大きさに依存することなく注視対象物を適切に判定できる。
- [0036] 上記画像処理方法において、前記画像データは、可視光カメラにより撮影されたものであり、前記瞳の中心位置は、虹彩の中心位置であってもよい。
- [0037] 可視光カメラで撮影された画像データから瞳孔を検出することは困難であるが、虹彩は検出可能である。本態様は、虹彩の中心位置が瞳の中心位置とされているため、可視光カメラを用いた場合において、瞳の中心位置を精度よく検出できる。
- [0038] 上記画像処理方法において、前記画像データは、赤外光カメラにより撮影されたものであり、前記瞳の中心位置は、瞳孔の中心位置であってもよい。
- [0039] 赤外光カメラで撮影された画像データから瞳孔を検出することは可能である。本態様は、瞳孔の中心位置が瞳の中心位置とされているため、赤外光カメラを用いた場合において、瞳の中心位置を精度よく検出できる。
- [0040] 上記画像処理方法において、前記画像データは、太陽光のスペクトル強度が所定の第1波長よりも減衰した所定の第2波長の帯域の赤外光を用いる赤外光カメラで撮影された画像データであってもよい。
- [0041] 本構成によれば、太陽光のスペクトル強度が強い屋外においても精度よく視線方向を検出できる。
- [0042] 本開示は、このような画像処理方法に含まれる特徴的な各構成をコンピュータに実行させる画像処理プログラム、或いはこの画像処理プログラムによって動作する画像処理装置として実現することもできる。また、このようなコンピュータプログラムを、CD-ROM等のコンピュータ読取可能な非一時的な記録媒体あるいはインターネット等の通信ネットワークを介して流通させることができるのは、言うまでもない。
- [0043] なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも本開示の一具体例を示すも

のである。以下の実施の形態で示される数値、形状、構成要素、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。また全ての実施の形態において、各々の内容を組み合わせることもできる。

[0044] (実施の形態1)

図1は、本開示の実施の形態1に係る画像処理システム1の全体構成の一例を示す図である。画像処理システム1は、人物400を撮影し、得られた人物400の画像データから人物400の視線を示す視線情報を検出するシステムである。図1の例では、画像処理システム1は、表示装置300に表示された複数のオブジェクト301のうち、どのオブジェクト301を人物400が注視しているかを特定している。但し、これは一例であり、画像処理システム1は、表示装置300の表示画面上に表示されたオブジェクト301のみならず、実空間内において人物400が注視するオブジェクト301を特定してもよい。

[0045] 図1の例では、画像処理システム1はデジタルサイネージシステムに適用されている。したがって、表示装置300に表示されるオブジェクト301は、広告などのサイネージの画像となる。

[0046] 画像処理システム1は、画像処理装置100、カメラ200（撮影装置の一例）、及び表示装置300を含む。画像処理装置100は、カメラ200及び表示装置300と所定の通信路を介して接続されている。所定の通信路は、例えば、有線LANなどの有線の通信路、又は無線LAN及びブルートゥース（登録商標）などの無線の通信路である。画像処理装置100は、例えば表示装置300の周囲に設置されたコンピュータで構成されている。但し、これは一例であり、画像処理装置100は、クラウドサーバで構成されてもよい。この場合、画像処理装置100は、カメラ200及び表示装置300とインターネットを介して接続される。画像処理装置100は、カメラ

２００で撮像された人物４００の画像データから、人物４００の視線情報を検出し、表示装置３００に出力する。画像処理装置１００は、カメラ２００又は表示装置３００にハードウェアとして組み込まれてもよい。カメラ２００又は表示装置３００がプロセッサを備え、画像処理装置１００がソフトウェアとして組み込まれていてもよい。

[0047] カメラ２００は、例えば所定のフレームレートで表示装置３００の周囲の環境を撮影することにより、表示装置３００の周囲に位置する人物４００の画像データを取得する。カメラ２００は、取得した画像データを所定のフレームレートで順次に画像処理装置１００に出力する。カメラ２００は、可視光カメラであってもよいし、赤外光カメラであってもよい。

[0048] 表示装置３００は、例えば液晶パネル又は有機ＥＬパネルなどの表示装置で構成されている。図１の例では、表示装置３００は、サイネージディスプレイである。なお、図１の例では、画像処理システム１は、表示装置３００を含むとして説明したが、これは一例であり、表示装置３００に代えて、別の機器が採用されてもよい。例えば、画像処理システム１が視線により機器への入力を受け付けるユーザインターフェースとして利用されるのであれば、画像処理システム１は例えば表示装置３００に代えて、冷蔵庫、テレビ、及び洗濯機などの家電機器が採用されてもよい。例えば、画像処理システム１が車両に搭載されるのであれば、表示装置３００に代えて、自動車などの車両が採用されてもよい。さらに、表示装置３００に代えてハードディスクドライブ、ソリッドステートドライブなどの記憶装置が採用されてもよい。

[0049] 図２は、実施の形態１に係る画像処理システム１の詳細な構成の一例を示すブロック図である。画像処理装置１００は、プロセッサ１１０を含む。プロセッサ１１０は、ＣＰＵ、ＦＰＧＡなどの電気回路である。プロセッサ１１０は、画像取得部１１１（取得部の一例）、特徴点検出部１１２、瞳検出部１１３、顔向き検出部１１４、垂直視線推定部１１６、水平視線推定部１１５、及び出力部１１７を含む。プロセッサ１１０が備える各ブロックは、プロセッサ１１０がコンピュータを画像処理装置として機能させる画像処理

プログラムを実行することで実現されてもよいし、専用の電気回路で構成されてもよい。以下に記述される各ブロックの説明は、各ブロックの処理の概要であり、各ブロックの処理の詳細は後述のフローチャートを用いて説明される。

- [0050] 画像取得部 111 は、カメラ 200 が撮像した画像データを取得する。ここで、取得される画像データには、表示装置 300 の周囲の人物 400 の顔が含まれる。なお、画像取得部 111 が取得する画像データは、例えばウェブサイトに掲載された画像データであってもよいし、外部の記憶装置が記憶する画像データであってもよい。
- [0051] 特徴点検出部 112 は、画像取得部 111 が取得した画像データから、人物 400 の顔の特徴点の位置を検出する。顔の特徴点とは、例えば目尻、目頭、顔の輪郭、鼻筋、口角、及び眉毛などの顔を構成する複数の部品のそれぞれにおいて、特徴的な位置にある 1 又は複数の点である。特徴点はランドマークとも呼ばれる。特徴点検出部 112 は、例えば機械学習のフレームワークのモデルファイルを利用したランドマーク検出処理を実行することで顔の特徴点を検出すればよい。
- [0052] 瞳検出部 113 は、画像取得部 111 により取得された画像データから、人物 400 の左目及び右目のそれぞれの瞳の中心位置を検出する。本実施の形態において、瞳とは、図 7 に示すように、瞳孔 55 と、瞳孔 55 を取り囲むドーナツ状の虹彩 56 とを含む有色の部分を目指す。
- [0053] 瞳検出部 113 は、後述する瞳孔外縁検出処理を画像データに適用することで瞳外縁を検出し、その瞳外縁の中心を瞳の中心位置として検出する。カメラ 200 が可視光カメラである場合、瞳孔外縁検出処理は瞳孔の外縁を検出することは困難であるが、虹彩の外縁を検出することは可能である。よって、カメラ 200 が可視光カメラである場合、瞳の中心位置は虹彩外縁の中心位置となる。カメラ 200 が赤外光カメラである場合、瞳孔外縁検出処理は、瞳孔外縁が検出可能である。よって、カメラ 200 が赤外光カメラである場合、瞳の中心位置は瞳孔外縁の中心位置となる。

- [0054] 顔向き検出部 114 は、特徴点検出部 112 により検出された特徴点の位置に基づいて、カメラ 200 の光軸に対する顔の向きの水平成分及び垂直成分を検出する。顔の向き水平成分は、光軸に対して顔の向きが水平方向の左側又は右側にどの程度向いているかを示す指標である。顔の向きの垂直成分は、光軸に対して顔の向きが垂直方向の上側又は下側にどの程度向いているかを示す指標である。水平方向とは、例えば地面と平行な方向であり、カメラ 200 が撮影する画像データの X 軸に対応する。垂直方向とは、例えば地面と直交する方向であり、カメラ 200 が撮影する画像データの Y 軸に対応する。
- [0055] 図 3 は、顔向き検出部 114 の詳細な構成を示すブロック図である。顔向き検出部 114 は、水平顔向き検出部 1141 及び垂直顔向き検出部 1142 を含む。水平顔向き検出部 1141 は顔の向きの水平成分を検出する。垂直顔向き検出部 1142 は、顔の向きの垂直成分を検出する。
- [0056] 図 2 に参照を戻す。水平視線推定部 115 は、顔向き検出部 114 により検出された顔の向きの水平成分と、瞳検出部 113 により検出された瞳の中心位置及び特徴点検出部 112 により検出された特徴点の位置間の距離とに基づいて、光軸に対する人物 400 の視線方向の水平成分を推定する。
- [0057] 本実施の形態では、特徴点には左目及び右目のそれぞれの目尻及び目頭が含まれる。目尻及び目頭を利用した水平視線推定部 115 の処理は以下の通りである。水平視線推定部 115 は、瞳の中心位置及び目頭の位置間の第 1 距離を算出する。第 1 距離を算出した水平視線推定部 115 は、瞳の中心位置及び目尻の位置間の第 2 距離を算出する。第 2 距離を算出した水平視線推定部 115 は、第 1 距離と第 2 距離との割合に基づいて顔の向きに対する瞳の方向である瞳方向の水平成分を推定する。そして、水平視線推定部 115 は、推定した瞳方向の水平成分と、顔の向きの水平成分とを合成し、視線方向の水平成分を推定する。この目尻及び目頭を利用した推定処理は、左目及び右目のそれぞれに対して適用される。
- [0058] 本実施の形態では、特徴点は、顔の中心位置が含まれてもよい。顔の中心

位置を利用した水平視線推定部 115 の処理は下記の通りである。水平視線推定部 115 は、人物 400 の左右それぞれの瞳の中心位置から、左右それぞれの瞳の中心位置間の中点を検出する。この中点を検出した水平視線推定部 115 は、顔の中心位置と前記中点とのずれを検出する。このずれを検出した水平視線推定部 115 は、このずれに基づいて瞳方向の水平成分を推定する。以下、水平視線推定部 115 は、目尻及び目頭を利用した場合と同様に、視線方向の水平成分を推定すればよい。この顔の中心位置を利用した推定処理は左目及び右目のそれぞれに適用される。

- [0059] 垂直視線推定部 116 は、顔向き検出部 114 により検出された顔の向きの垂直成分に基づいて、光軸に対する人物 400 の視線方向の垂直成分を推定する。本実施の形態では、垂直視線推定部 116 は、顔の向きの垂直成分を視線方向の垂直成分として推定する。
- [0060] 出力部 117 は、水平視線推定部 115 により推定された視線方向の水平成分と、垂直視線推定部 116 により推定された視線方向の垂直成分とを含む視線情報を生成し、表示装置 300 に出力する。出力部 117 は、視線方向に基づいて表示装置 300 の表示面（対象面）における注視点を算出し、この注視点を視線情報に含めてもよい。
- [0061] 注視点を算出した出力部 117 は、表示装置 300 で表示されているオブジェクト 301 の情報を取得し、取得した情報と注視点の座標データとから人物 400 が注視するオブジェクト 301（注視オブジェクト）を特定し、特定結果を表示装置 300 に出力してもよい。
- [0062] カメラ 200 は、図 1 で説明したため、ここでは説明を省略する。
- [0063] 表示装置 300 は、例えば出力部 117 から出力された視線情報を示すマーカを表示する。注視オブジェクトの特定結果を出力部 117 から取得した場合、表示装置 300 は、注視オブジェクトを示すマーカを表示してもよい。
- [0064] 画像処理システム 1 が、表示装置 300 に代えて家電機器で構成される場合、家電機器は視線情報から人物 400 の入力を受け付ける。画像処理シス

テム 1 が、表示装置 300 に代えて記憶装置で構成される場合、記憶装置は、視線情報を記憶する。この場合、記憶装置は視線情報にタイムスタンプを対応付けて記憶してもよい。

[0065] 次に、画像処理装置 100 の動作について説明する。図 4 は、実施の形態 1 に係る画像処理装置 100 の動作の一例を示すフローチャートである。ステップ S1 では、画像取得部 111 は、カメラ 200 から画像データを取得する。ステップ S2 では、特徴点検出部 112 は、顔領域を検出するための分類器に画像データを入力することにより、画像データから顔領域を検出する。この分類器は、例えばオープンソースによる画像処理ライブラリにおいて顔領域を検出するために予め作成されたハール（H a a r）状のカスケード分類器である。顔領域は、例えば顔の全体を含む程度のサイズを持つ矩形状の領域である。但し、これは一例であり、顔領域の形状は矩形以外の例えば、3 角形、5 角形、6 角形、又は 8 角形などであってもよい。なお、特徴点検出部 112 は、パターンマッチングにより顔領域を検出してもよい。

[0066] 図 5 は、顔領域 40 を示す図である。図 5 に示すように、特徴点検出部 112 は、額の上部と顎の下部と、耳の生え際とを含む矩形状の領域を顔領域 40 として検出している。ここでは、顔領域 40 は髪の毛の全体を含んでいないが、髪の毛の全体を含む領域であってもよい。図 5 では、画像データは人物 400 を正面から撮影した画像データであるため、左目と右目とが含まれている。本実施の形態では、説明の便宜上、右目とは人物 400 を正面から見て右側にある目のことを指し、左目とは人物 400 を正面から見て左側にある目のことを指す。但し、これは一例であり、人物 400 から見て右側にある目を右目、人物 400 から見て左側にある目を左目としてもよい。また、本実施の形態では、紙面の右側の方向を右方、紙面の左側の方向を左方とする。

[0067] 図 4 に参照を戻す。ステップ S3 では、ステップ S2 で検出された顔領域 40 に上述のランドマーク検出処理を適用し、顔の特徴点を検出する。

[0068] 図 6 は、顔領域 40 に対して設定された顔の特徴点 9 X を示す図である。図 6 に示すように、顔領域 40 に対してランドマーク検出処理が適用される

ことにより、複数の特徴点 9 X が顔領域 4 0 から検出されている。図 6 の例では、ランドマーク検出処理によって検出される特徴点 9 X のうち、視線情報の検出に必要となる特徴点 9 X が示されている。図 6 の例では、鼻筋上に位置する例えば 5 個の特徴点 9 X と、鼻の下側に位置する例えば 2 個の特徴点 9 X と、顔の輪郭上に位置する例えば 1 7 個の特徴点 9 X とが検出されている。さらに、図 6 の例では、左右の目頭 9 2 に位置する 2 個の特徴点 9 X と、左右の目尻 9 3 に位置する 2 個の特徴点 9 X とが検出されている。なお、特徴点 9 X は、それぞれランドマーク点番号が付与されており、どのランドマーク点番号の特徴点が顔のどの部位を示すかは予め定められている。例えば、ランドマーク点番号が「2」の特徴点 9 X は左の目尻 9 3 を示し、ランドマーク点番号が「0」の特徴点は左の目頭 9 2 を示すというように、各特徴点 9 X にはランドマーク点番号が設定されている。そのため、特徴点検出部 1 1 2 は、ランドマーク点番号から特徴点 9 X が顔のどの部位を示しているのかを特定できる。

[0069] 図 4 に参照を戻す。ステップ S 4 では、瞳検出部 1 1 3 は、目領域を検出するための分類器にステップ S 2 で検出された顔領域 4 0 を入力し、目領域を検出する。この分類器は、例えばオープンソースによる画像処理ライブラリにおいて目検出領域を検出するために予め作成されたハール状のカスケード分類器である。目領域は、目の大きさに所定のマージンを加えた程度のサイズを持つ矩形の領域である。但し、これは一例であり、目領域の形状は矩形以外の、例えば、3 角形、5 角形、6 角形、又は 8 角形などであってもよい。顔領域に人物 4 0 0 の 2 つの目が含まれている場合、瞳検出部 1 1 3 は 2 つの目のそれぞれに対応する 2 つの目領域 5 0 を設定する。なお、瞳検出部 1 1 3 はパターンマッチングにより目領域 5 0 を設定してもよい。本実施の形態において、目とは、図 7 に示すように上瞼の境界 5 3 と下瞼の境界 5 4 とによって取り囲まれる、白目と、黒目などの有色の部分とを含む領域を指す。

[0070] 図 7 は、目領域 5 0 を示す図である。図 7 に示すように、目領域 5 0 は、

目の全域を含み、目の大きさに多少のマージンが加えられた矩形状の領域であることが分かる。なお、目領域50の境界を目に対してどの位置に設定するかは、分類器の性能に依存する。したがって、分類器の性能に応じて目領域50のサイズは相違する。例えば、目領域50の上側の境界が上瞼の眉毛付近にまで及ぶこともあり得る。また、目領域50の鼻側の境界が鼻付近にまで及び、目領域50の耳側の境界がこめかみ付近にまで及ぶこともあり得る。図7の例では、顔領域40に左右の目が含まれていたため、瞳検出部113は、右目及び左目のそれぞれに対応する2つの目領域50を設定している。

[0071] 図4に参照を戻す、ステップS5では、瞳検出部113は、ステップS4で検出された目領域50から瞳の中心位置を検出する。以下、ステップS5の処理の詳細について説明する。まず、瞳検出部113は、目領域50を二値化する。図8は、二値化された目領域50を示す図である。ここでは、例えば大津の二値化と呼ばれる手法が採用されている。図8では、輝度が閾値より低い箇所が白、輝度が閾値以上の箇所が黒で表されている。

[0072] 次に、瞳検出部113は、二値化された目領域50に現れる白の島にラベリング番号を付与するラベリング処理を行う。図8の例では、上睫毛の左側が1つの島61とみなされ、島61に「1」のラベリング番号が付与されている。上睫毛の右側が1つの島62とみなされ、島62に「2」のラベリング番号が付与されている。瞳孔が1つの島63とみなされ、島63に「3」のラベリング番号が付与されている。下睫毛が一つの島64とみなされ、島64に「4」のラベリング番号が付与されている。

[0073] 次に、瞳検出部113は、ラベリングした島61～64のそれぞれに対して、所定の判定条件を満たすか否かを判定し、判定条件を満たす島を瞳孔として判定する。判定条件としては、所定の瞳孔最小面積以上、所定の瞳孔最大面積以下という条件が採用できる。瞳孔最小面積とは、画像データにおいて想定される瞳孔の最小面積であり、瞳孔最大面積とは、画像データにおいて想定される瞳孔の最大面積である。判定条件を満たす島が複数ある場合、

瞳孔検出部 113 は、例えば面積が最大の島を瞳孔と判定してもよい。ここでは、島 63 が瞳孔と判定される。

[0074] 次に、瞳孔検出部 113 は、瞳孔の中心を検出する。ここでは、瞳孔の島 63 の例えば重心が瞳孔の中心として検出される。

[0075] 図 8 に示す画像は、赤外光カメラによって撮影された画像である。赤外光カメラで撮影された画像データでは、瞳孔と虹彩との間に大きな輝度変化が現れる。そのため、図 8 の例では、二値化によって瞳孔の島 63 が検出されている。一方、可視光カメラで撮影された画像データでは、瞳孔と虹彩との間に大きな輝度変化が現れず、虹彩と白眼との境界で大きな輝度変化が現れる。

[0076] そこで、瞳孔検出部 113 は、例えばカメラ 200 が赤外光カメラである場合、二値化した目領域 50 から瞳孔を検出する。一方、瞳孔検出部 113 は、例えばカメラ 200 が可視光カメラである場合、二値化した目領域 50 から虹彩を検出する。この場合、瞳孔検出部 113 は、判定条件として、所定の虹彩最小面積以上、所定の虹彩最大面積以下という条件を採用すればよい。ここで言う、虹彩最小面積及び虹彩最大面積とは、ドーナツ状である虹彩そのものの面積を指すのではなく、虹彩に瞳孔を含めた領域、すなわち瞳の最大面積及び最小面積のことを指す。この場合、瞳孔検出部 113 は、虹彩の中心を検出すればよい。虹彩の中心としては、虹彩を示す島の例えば重心が採用できる。

[0077] 次に、瞳孔検出部 113 は、瞳孔の外縁を検出する瞳孔外縁検出処理を実行する。瞳孔外縁検出処理としては、John G. Daugman の提唱する手法（以下、「ドугマンアルゴリズム」と呼ぶ。）の一部を利用した瞳孔外縁検出処理を採用すればよい。ドугマンアルゴリズムは、「High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence: John G. Daugman (1993)」の文献にて開示されている。

[0078] 具体的には、瞳孔外縁検出処理において、まず、瞳孔検出部 113 は、二値化した目領域 50 から検出した瞳孔の中心を円の中心として、所定の瞳孔最小半径を持つ円を設定する。次に、瞳孔検出部 113 は、設定した円の円周上の輝度の合計値を周回積分により求める。次に、瞳孔検出部 113 は、直前に設定した円の半径を 1 ピクセル分、径方向に広げた円に対して周回積分を行うことにより輝度の合計値を求める。次に、瞳孔検出部 113 は、この処理を、所定の瞳孔最大半径まで繰り返し実行する。これにより、複数の半径と、複数の半径のそれぞれに対応する輝度の合計値との関係を示す関数が得られる。次に、瞳孔検出部 113 は、この関数を半径について偏微分して、隣り合う半径同士の輝度の合計値の最大変化量を求め、この最大変化量が検出された位置の半径の円を瞳孔外縁として検出する。次に、瞳孔検出部 113 は、瞳孔外縁の中心を瞳の中心位置として決定する。これで、ステップ S5 の処理は終了となる。

[0079] なお、画像データが可視光カメラで撮影された画像データである場合、瞳孔検出部 113 は、二値化された目領域 50 に対して瞳孔外縁検出処理を適用することによって虹彩外縁を検出する。したがって、画像データが可視光カメラで撮影された画像データである場合、ステップ S5 で最終的に得られる瞳の中心位置は、虹彩外縁の中心位置となる。

[0080] 従来、瞳孔外縁検出処理としてはハフ (H a u g h) 円検出処理が広く用いられている。しかし、画像データに含まれる人物 400 の瞳孔は正円ばかりではなく、いびつに変形しているケースもある。また、画像データに含まれる人物 400 が細目のケース及び顔を横に向けているケースもある。これらのケースでは瞳孔が正円ではなくなるため、ハフ円検出処理では瞳孔外縁を正確に検出できない可能性がある。

[0081] そこで、本実施の形態では、ドугマンアルゴリズムの一部を利用した瞳孔外縁検出処理を採用する。これにより、本実施の形態では、瞳孔が正円からいびつに変形したケース、細目のケース、及び顔の向きが横向きのケースというような様々なケースにおいて、瞳孔外縁検出処理に対するロバスト性

が高められている。

[0082] 図4に参照を戻す。ステップS6では、水平顔向き検出部1141は、ステップS3で検出された顔の特徴点に基づいて顔の向きの水平成分を検出する。さらに、ステップS6では、垂直顔向き検出部1142は、ステップS3で検出された顔の特徴点に基づいて顔の向きの垂直成分を検出する。

[0083] 顔の向きの水平成分の処理の詳細は下記の通りである。図9は、顔の向きの水平成分を検出する処理の説明図である。図9の左図は顔が左方を向いている状態を示す。図9の右図は顔が右方を向いている状態を示す。

[0084] 図9の左図を参照する。まず、水平顔向き検出部1141は、顔領域40に設定された顔の特徴点9Xから縦方向の縦中心線131と横方向の横中心線132とを設定する。例えば、水平顔向き検出部1141は、鼻筋の中心を示す特徴点133を通り、且つ顔領域40の縦の辺と平行な直線を縦中心線131として設定すればよい。特徴点133は、例えば鼻筋を示す5個の特徴点9Xのうち、上から3番目の特徴点9Xである。水平顔向き検出部1141は、例えば特徴点133を通り、且つ顔領域40の横の辺と平行な直線を横中心線132として設定すればよい。縦中心線131及び横中心線132は、鼻筋の中心の特徴点133を通るとして説明したが、例えば鼻筋の下端の特徴点134を通るように設定されてもよいし、鼻筋の上端の特徴点135を通るように設定されてもよい。

[0085] 次に、水平顔向き検出部1141は、横中心線132を特徴点133で区画し、右区間K1と左区間K2との長さを求める。次に、水平顔向き検出部1141は、横中心線132の長さを100%としたときの右区間K1と左区間K2との割合を求め、この割合に基づいて顔の向きの水平成分を求める。例えば、右区間K1の割合を $\alpha 1$ 、左区間K2の割合を $\alpha 2$ とし、右方を正とする。この場合、水平顔向き検出部1141は、図9の左図に示されるように、割合 $\alpha 2$ が割合 $\alpha 1$ より小さければ、顔は左方を向いていると判定する。図9の右図に示されるように、割合 $\alpha 1$ が割合 $\alpha 2$ より小さければ、水平顔向き検出部1141は、顔は右方を向いていると判定する。割合 $\alpha 2$

が割合 $\alpha 1$ と概ね等しければ、水平顔向き検出部1141は、顔は正面を向いていると判定する。概ね等しいとは、割合 $\alpha 2$ と割合 $\alpha 1$ との多少の相違を許容することを意味している。例えば、水平顔向き検出部1141は、割合 $\alpha 2$ と割合 $\alpha 1$ との両方が50%に対してプラスマイナス $\Delta\alpha$ の範囲内にある場合、顔は正面を向いていると判定すればよい。 $\Delta\alpha$ の一例は2%、5%、8%、10%などである。

[0086] 次に、水平顔向き検出部1141は、割合 $\alpha 1$ 及び割合 $\alpha 2$ のうち小さい方の割合を50から減じる。例えば、図9の左図に示すように、割合 $\alpha 2$ が割合 $\alpha 1$ より小さければ、水平顔向き検出部1141は、 $50 - \alpha 2$ を求める。図9の右図に示すように割合 $\alpha 1$ が割合 $\alpha 2$ より小さければ、水平顔向き検出部1141は、 $50 - \alpha 1$ を求める。次に、水平顔向き検出部1141は、顔が右方を向いている場合は、右方が正であるため、 $50 - \alpha 1$ を顔の向きの水平成分として算出する。一方、水平顔向き検出部1141は、顔が左方を見ている場合、左方が負であるため、 $-(50 - \alpha 2)$ を顔の向きの水平成分として算出する。

[0087] これにより、顔の向きの水平成分の値がプラスの方向に増大するにつれて、顔の向きはより右方を向いていることを示し、顔の向きの水平成分の値がマイナスの方向に増大するにつれて、顔の向きはより左方を向いていることを示す。また、顔の向きの水平成分が0の場合、顔の向きは正面方向であることを示す。以上により、顔の向きの水平成分が算出される。顔の向きの水平成分を求める手法は、上述の手法に限らず、顔の向きの水平成分が算出可能な手法であればどのような手法が採用されてもよい。例えば、顔向きの水平成分は、割合 $\alpha 1$ と割合 $\alpha 2$ とのうち大きい方の値から50を引いた値が採用されてもよい。また、顔の向きの水平成分は左方が正とされてもよい。

[0088] 次に、顔の向きの垂直成分について説明する。図10は、顔の向きの垂直成分を検出する処理の説明図である。図10の左図は顔が上方を向いている状態を示す。図10の右図は顔が下方を向いている状態を示す。

[0089] 図10の左図を参照する。まず、垂直顔向き検出部1142は、鼻筋の中

心を示す特徴点 1 3 3 を通り、且つ顔領域 4 0 の横の辺と平行な直線である横中心線 1 3 2 を顔領域 4 0 に設定する。なお、横中心線 1 3 2 は、特徴点 1 3 3 以外の鼻筋の特徴点に設定されてもよい。この横中心線 1 3 2 の設定は、水平顔向き検出部 1 1 4 1 の設定結果が利用されてもよい。

[0090] 次に、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、顔領域 4 0 の縦辺を、縦辺と横中心線 1 3 2 との交点 1 3 6 で区画し、上区間 K 3 と下区間 K 4 との長さを求める。次に、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、前記縦辺の長さを 1 0 0 % としたときの上区間 K 3 と下区間 K 4 との割合を求め、この割合に基づいて顔の向きの垂直成分を求める。例えば、上区間 K 3 の割合を $\alpha 3$ 、下区間 K 4 の割合を $\alpha 4$ とし、上方を正とする。この場合、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、図 1 0 の左図に示されるように、割合 $\alpha 3$ が割合 $\alpha 4$ より小さければ、顔は上方を向いていると判定する。図 1 0 の右図に示されるように、割合 $\alpha 4$ が割合 $\alpha 3$ より小さければ、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、顔は下方を向いていると判定する。割合 $\alpha 3$ が割合 $\alpha 4$ と概ね等しければ、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、顔は正面を向いていると判定する。割合 $\alpha 3$ と割合 $\alpha 4$ とが概ね等しいとは、上述の割合 $\alpha 1$ と割合 $\alpha 2$ とが概ね等しいと同じ意味である。

[0091] 次に、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、割合 $\alpha 3$ 及び割合 $\alpha 4$ のうち小さい方の割合を 5 0 から減じる。例えば、図 1 0 の左図に示すように、割合 $\alpha 3$ が割合 $\alpha 4$ より小さければ、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、 $50 - \alpha 3$ を求める。図 1 0 の右図に示すように割合 $\alpha 4$ が割合 $\alpha 3$ より小さければ、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、 $50 - \alpha 4$ を求める。次に、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、顔が上方を向いている場合は、上方が正であるため、 $50 - \alpha 3$ を顔の向きの垂直成分として算出する。一方、垂直顔向き検出部 1 1 4 2 は、顔が下方を見ている場合、上方が正であるため、 $-(50 - \alpha 4)$ を顔の向きの垂直成分として算出する。

[0092] これにより、顔の向きの垂直成分の値がプラスの方向に増大するにつれて、顔の向きはより上方を向いていることを示し、顔の向きの垂直成分の値が

マイナスの方向に増大するにつれて、顔の向きはより下方を向いていることを示す。また、顔の向きの垂直成分が0の場合、顔の向きは正面方向であることを示す。以上により顔の向きの垂直成分が算出される。顔の向きの垂直成分を求める手法は、上述の手法に限らず、顔の向きの垂直成分が算出可能な手法であればどのような手法が採用されてもよい。例えば、顔の向きの垂直成分は、割合 $\alpha 3$ 及び割合 $\alpha 4$ のうち大きい方の割合から50を減じた値が採用されてもよい。また、顔の向きの垂直成分は下方が正にされてもよい。

[0093] 図4に参照を戻す。ステップS7において、水平視線推定部115は、ステップS3で顔の特徴点として検出された目尻及び目頭と、ステップS5で検出された瞳の中心位置とを用いて瞳方向の水平成分を推定する。

[0094] 図11は、瞳方向の水平成分を検出する処理の第1例の説明図である。図11では右目が示されている。第1例では、目尻及び目頭を用いて瞳方向の水平成分が算出される。まず、水平視線推定部115は、目頭92と、瞳の中心位置622とのX方向の距離である第1距離D1を算出する。水平視線推定部115は、目尻93と瞳の中心位置622とのX方向の距離である第2距離D2を算出する。この場合、第1距離D1は、目頭92のX座標と瞳の中心位置622のX座標との差分の絶対値で算出される。第2距離D2は、目尻93のX座標と瞳の中心位置622のX座標との差分の絶対値で算出される。次に、水平視線推定部115は、目頭92のX座標と目尻93のX座標との距離を100%としたときの第1距離D1と第2距離D2との割合 $\beta 1$ と割合 $\beta 2$ とを算出する。上述の処理は左右の目のそれぞれに対して実行される。

[0095] 図12は、図11に続く説明図である。図12の左図は顔がほぼ正面を向いた状態で、瞳が左方を向いた状態を示す。図12の右図は顔がほぼ正面を向いた状態で瞳が右方を向いた状態を示す。図12において、L $\beta 1$ 及びL $\beta 2$ は左目の第1距離D1及び第2距離D2の割合を示し、R $\beta 1$ 及びR $\beta 2$ は右目の第1距離D1及び第2距離D2の割合を示している。

- [0096] 図12の左図では、左右の瞳が左方に寄っている。よって、左目は第2距離D2が短く、右目は第1距離D1が短くなっている。図12の右図では、左右の瞳が右方に寄っている。よって、左目は第2距離D2が長く、右目は第1距離D1が長くなっている。
- [0097] 以上をふまえ、瞳方向の水平成分は下記のように算出される。以下、瞳が右方に寄っている場合を正とする。水平視線推定部115は、瞳が左方に寄っているか右方に寄っているかを判定する。この場合、水平視線推定部115は、例えば右目に着目し、割合 $R\beta 1$ が割合 $R\beta 2$ より小さければ瞳は左寄りと判定し、割合 $R\beta 2$ が割合 $R\beta 1$ より小さければ瞳は右寄りと判定すればよい。左目に着目した場合、水平視線推定部115は、割合 $L\beta 2$ が割合 $L\beta 1$ より小さければ、瞳は左寄りと判定し、割合 $L\beta 1$ が割合 $L\beta 2$ より小さければ、瞳は右寄りと判定すればよい。
- [0098] 瞳が左方に寄っている場合、図12の左図に示すように、左目の第2距離D2の割合 $L\beta 2$ と右目の第1距離D1の割合 $R\beta 1$ との平均値を算出し、50からこの平均値を減じた値にマイナスを乗じた値を、瞳方向の水平成分として算出する。平均値を算出しているのは、瞳方向は、左右の目で大差がないからである。50から平均値を引いているのは、瞳が顔の正面から左方又は右方に寄るにつれて、瞳方向の水平成分の値を大きくするためである。マイナスを乗じているのは右方を正にするためである。
- [0099] 瞳が右方に寄っている場合、水平視線推定部115は、図12の右図に示すように、左目の第1距離D1の割合 $L\beta 1$ と右目の第2距離D2の割合 $R\beta 2$ との平均値を算出し、50からこの平均値を減じた値を瞳方向の水平成分として算出する。
- [0100] これにより、瞳方向の水平成分の値がプラスの方向に増大するにつれて、顔の正面に対して瞳がより右方を向いていることを示し、瞳方向の水平成分の値がマイナスの方向に増大するにつれて、顔の正面に対して瞳がより左方を向いていることを示す。また、瞳方向の水平成分が0の場合、瞳が顔の正面を向いていることを示す。以上により瞳方向の水平成分が算出される。瞳

方向の水平成分を求める手法は、上述の手法に限らず、瞳方向の水平成分が算出可能な手法であればどのような手法が採用されてもよい。例えば、上述の例では、割合 $\beta 1$ 及び割合 $\beta 2$ のうち小さい方の割合が用いられていたが、割合 $\beta 1$ 及び割合 $\beta 2$ のうち大きい方の割合が用いられてもよい。この場合、大きい方の割合から50を減じることで瞳方向の水平成分が算出されてもよい。また、瞳方向の水平成分は、左方が正にされてもよい。

[0101] 次に、瞳方向の水平成分を検出する処理の第2例について説明する。第2例では、顔の中心位置を用いて瞳方向の水平成分が検出される。図13は、瞳方向の水平成分を検出する処理の第2例の説明図である。水平視線推定部115は、左の目頭92のX座標と右の目頭92のX座標とを繋ぐ線分L2の中点を顔の中心位置142として検出する。次に、水平視線推定部115は、左の瞳の中心位置622のX座標と、右の瞳の中心位置のX座標とを繋ぐ線分L1の中点141を検出する。

[0102] 次に、水平視線推定部115は、中点141と中心位置142とのずれ143を瞳方向の水平成分として検出する。例えば、右方が正とすると、中心位置142に対して中点141が左方に位置する場合、ずれの絶対値にマイナスを付した値が瞳方向の水平成分として検出される。中心位置142に対して中点141が右方に位置する場合、ずれの絶対値が瞳方向の水平成分として検出される。以上により瞳方向の水平成分が算出される。

[0103] 図4に参照を戻す。ステップS8において水平視線推定部115は、ステップS6で検出した顔の向きの水平成分とステップS7で検出した瞳方向の水平成分とを合成して、視線方向の水平成分を推定する。例えば、視線方向の水平成分は、顔の向きの水平成分と瞳方向の水平成分とを所定の重み係数を用いて重み付け加算することで算出される。但し、これは一例であり、視線方向の水平成分は、顔の向きの水平成分と瞳方向の水平成分とを重み付けせずに加算して算出されてもよい。

[0104] 図14は、光軸151、顔の向き152、瞳方向153、及び視線方向154の関係を示した図である。図14の例では、人物400を上方から見た

状態が示されている。

- [0105] 図14の例では、顔の向き152は光軸151に対して左回りの方向にある。図14の例では、左回りがマイナス、右回りがプラスとされている。図14の例では、顔の向き152は光軸151に対して左回りの方向にある。そのため、光軸151を基準とする顔の向き152の水平成分は、光軸151と顔の向き152との角度($-\theta 1$)に相当する値を持つ。また、瞳方向153は顔の向き152に対して右回りの方向にある。そのため、顔の向き152を基準とする瞳方向153の水平成分は、顔の向き152と瞳方向153との角度($+\theta 2$)に相当する値を持つ。したがって、光軸151を基準とする視線方向154の水平成分は、光軸151と瞳方向153との角度($-\theta 3 = -\theta 1 + \theta 2$)に相当する値を持つ。
- [0106] これに対して、瞳が瞳方向155に向いていたとする。この場合、瞳方向155は顔の向き152に対して左回りの方向にある。そのため、顔の向き152を基準とする瞳方向155の水平成分は顔の向き152と瞳方向155との角度($-\theta 4$)に相当する値を持つ。したがって、光軸151を基準とする視線方向156の水平成分は、光軸151と瞳方向155との角度($-\theta 5 = -\theta 1 - \theta 4$)に相当する値を持つ。
- [0107] 図4に参照を戻す。ステップS9では、垂直視線推定部116は、ステップS6で検出された顔の向きの垂直成分を視線方向の垂直成分として推定する。
- [0108] ステップS10では、出力部117は、ステップS8で推定された視線方向の水平成分と、ステップS9で推定された視線方向の垂直成分とを含む視線情報を生成し、表示装置300に出力する。
- [0109] このように、本実施の形態によれば、光軸に対する視線方向の水平成分は、顔の向きの水平成分と、瞳方向の水平成分とを合成することで推定されている。光軸に対する視線方向の垂直成分は、顔の向きの垂直成分に基づいて推定されている。このように、本実施の形態では、光軸に対する視線方向の水平成分及び垂直成分のそれぞれが異なるパラメータを用いて推定されてい

る。よって、本実施の形態は、視線方向の検出精度をさらに向上させることができる。さらに、本実施の形態は、上述したような相関関係を事前に学習することが不要である。よって、本実施の形態は少ない処理ステップ数で高精度に視線方向を検出できる。

[0110] (実施の形態2)

実施の形態2は、上まぶた及び下まぶたを考慮に入れて視線方向の垂直成分を求めることを特徴とする。図15は、本開示の実施の形態2に係る画像処理システム1Aの全体構成の一例を示す図である。以下の説明では、実施の形態1との相違点を中心に説明する。プロセッサ110Aは、さらに、まぶた検出部118を含む。垂直視線推定部116Aは、実施の形態1の垂直視線推定部116に対して処理内容が相違するため、符号の末尾にAが付されている。

[0111] まぶた検出部118は、画像取得部111が取得した画像データに対して後述のまぶた検出処理を適用し、上まぶたの位置及び下まぶたの位置を検出する。

[0112] 垂直視線推定部116Aは、瞳検出部113により入力された瞳の中心位置及びまぶた検出部118により入力された上まぶたの位置間の第3距離と、前記瞳の中心位置及びまぶた検出部118により入力された下まぶた間の第4距離とを検出する。垂直視線推定部116Aは、第3距離と第4距離との割合に基づいて瞳方向の垂直成分を推定する。垂直視線推定部116Aは、瞳方向の垂直成分と、顔向き検出部114により検出された顔の向きの垂直成分とを合成することによって視線方向の垂直成分を推定する。

[0113] 次に、画像処理システム1Aの動作について説明する。図16は、実施の形態2に係る画像処理システム1Aの動作の一例を示すフローチャートである。なお、図16において図4と同じ処理については、同じ処理番号が付されている。

[0114] ステップS8に続くステップS101では、まぶた検出部118は目領域50に対してまぶた検出処理を適用して上まぶたの位置及び下まぶたの位置

を検出する。以下、まぶた検出処理の詳細を説明する。図17は、まぶた検出処理の説明図である。

[0115] まぶた検出部118は、二値化される前の目領域50を用いる。まず、まぶた検出部118は、目領域50に対して、ステップS5で検出された瞳の中心位置622を設定する。次に、まぶた検出部118は、瞳の中心位置622の上側にY軸と平行な上垂直線183を設定する。次に、まぶた検出部118は、上垂直線183上を瞳の中心位置622から上まぶたに向けて輝度の明るい側への変化が最大になる位置を探索し、この変化が最大になる位置を上まぶたの位置181として検出する。上まぶたの位置181を検出したまぶた検出部118は、瞳の中心位置622の下側にY軸と平行な下垂直線184を設定する。そして、まぶた検出部118は下垂直線184上を瞳の中心位置622から下まぶたに向けて輝度の明るい側への変化が最大になる位置を探索し、この変化が最大になる位置を下まぶたの位置182として検出する。なお、この探索処理の詳細は、ドугマンアルゴリズムにおける虹彩外縁の検出処理を利用した処理が用いられる。

[0116] 図16に参照を戻す。ステップS102では、垂直視線推定部116Aは、ステップS101で検出された上まぶたの位置181及び下まぶたの位置182を用いて瞳方向の垂直成分を推定する。

[0117] 再び、図17を参照する。垂直視線推定部116Aは、瞳の中心位置622から上まぶたの位置181までの垂直方向の距離である第3距離D3を検出する。垂直視線推定部116Aは、瞳の中心位置622から下まぶたの位置182までの垂直方向の距離である第4距離D4を検出する。

[0118] 垂直視線推定部116Aは、上まぶたの位置181から下まぶたの位置182までの垂直方向の距離を100%としたときの第3距離D3の割合 γ を算出する。ここで、瞳が正面方向を向いている場合の割合 γ を基準割合（例えば、0.6）とおき、上方向を正とする。この場合、瞳が上寄りになるにつれて、割合 γ は基準割合から減少していく。瞳が下寄りになるにつれて、割合 γ は基準割合よりも増大していく。そこで、垂直視線推定部116Aは

、基準割合から割合 γ を減じた値を瞳方向の垂直成分として推定する。これにより、瞳が上寄りになるにつれて瞳方向の垂直成分の値はプラスの方向に増大し、瞳が下寄りになるにつれて瞳方向の垂直成分の値はマイナスの方向に増大する。

[0119] ステップS 1 0 3では、垂直視線推定部 1 1 6 Aは、ステップS 6で検出された顔の向きの垂直成分と、ステップS 1 0 2で推定された瞳方向の垂直成分とを合成し、視線方向の垂直成分を推定する。例えば、視線方向の垂直成分は、顔の向きの垂直成分と瞳方向の垂直成分とを所定の重み係数を用いて重み付け加算することで算出される。但し、これは一例であり、視線方向の垂直成分は、顔の向きの垂直成分と瞳方向の垂直成分とを重み付けせずに加算されてもよい。

[0120] このように、本実施の形態によれば、瞳方向の垂直成分を考慮に入れて視線方向の垂直成分が推定されているため、視線方向の検出精度をさらに向上させることができる。

[0121] (実施の形態3)

実施の形態3は、人物4 0 0の関心度を推定するものである。図1 8は、実施の形態3に係る画像処理システム1 Bの詳細な構成を示すブロック図である。なお、本実施の形態において実施の形態1、2と同一の構成要素には同一の符号を付し、説明を省略する。また、図1 8において、図2と名称が同一であるが機能が異なるブロックには末尾にBの符号が付されている。

[0122] プロセッサ1 1 0 Bは、さらに関心度推定部 1 1 9を含む。関心度推定部 1 1 9は、以下の処理により人物4 0 0の関心度を推定する。まず、関心度推定部 1 1 9は、特徴点検出部 1 1 2により検出された顔の特徴点9 Xを用いて、顔領域4 0からまゆげ及び口角を検出する。ここで、関心度推定部 1 1 9は、特徴点検出部 1 1 2により検出された顔の特徴点9 Xにおいて、まゆげ及び口角のそれぞれに対応するランドマーク点番号が付された特徴点9 Xを特定することで、まゆげ及び口角を検出すればよい。

[0123] 次に、関心度推定部 1 1 9は、出力部 1 1 7から入力された視線情報と、

検出したまゆげの位置及び口角の位置とに基づいて人物400の関心度を推定し、表示装置300に出力する。具体的には、関心度推定部119は、例えば、人が喜び、驚き、怒り、悲しみ、及び無表情等の各種表情をしている際のまゆげ及び口角の標準的な位置が予め記述されたパターンデータを例えばメモリ（図略）から取得する。関心度推定部119は、検出した人物400のまゆげ及び口角の位置と、パターンデータとを照合し、人物400の表情を推定する。関心度推定部119は、推定した人物400の表情と視線情報が示す視線とを用いて、人物400の視線がどの方向にある、又は人物400の注視点がどの位置にあるときに人物400がどのような表情を行ったかを特定する。すなわち、関心度推定部119は、人物400の視線情報と人物400の表情とを対応付けたデータを人物400の関心度として特定する。ここでは、関心度推定部119は、まゆげ及び口角に基づいて関心度を推定するとして説明したが、これは一例であり、まゆげ及び口角の一方に基づいて関心度を推定してもよい。

[0124] 以上説明したように、本実施の形態によれば、視線情報に加えてまゆげ及び口角をさらに用いて人物400の関心度が推定されているため、視線情報のみに基づく関心度推定に比べてより高精度に関心度を推定できる。

[0125] （変形例）

（1）カメラ200として赤外光カメラが採用された場合、赤外光カメラは、太陽光のスペクトル強度が所定の第1波長よりも減衰した所定の第2波長の帯域の赤外光を用いる赤外光カメラで構成すればよい。所定の第1波長は、例えば850nmである。所定の第2波長は、例えば940nmである。第2波長の帯域は、例えば850nmを含まず、且つ940nmを基準（例えば中心）とする所定幅の帯域である。近赤外光を撮影する赤外光カメラとして、850nmの赤外光を用いるものが知られている。しかし、850nmでは太陽光のスペクトル強度が十分に減衰していないため、太陽光のスペクトル強度が強い屋外において高精度な視線検出ができない可能性がある。そこで、本開示は、赤外光カメラとして例えば940nmの帯域の赤外光

を用いるカメラを採用する。これにより、太陽光のスペクトル強度が強い屋外においても高精度な視線検出を行うことができる。ここでは、所定の第2波長は940nmとしたが、これは一例であり、940nmから多少ずれた波長であってもよい。なお、第2波長の赤外光を用いる赤外光カメラは、例えば第2波長の赤外光を照射する投光器を備えるカメラである。

- [0126] (2) 上記実施の形態では、視線情報は注視点を示す座標データを含むとして説明したが、本開示はこれに限定されない。例えば、視線情報は、注視点を基準（例えば中心）とする所定サイズの所定形状（例えば円、四角形など）の領域である注視面を示す座標データを含んでいてもよい。これにより、人物400及び注視対象物間の距離又は注視対象物の大きさに依存することなく注視対象物を適切に判定できる。

産業上の利用可能性

- [0127] 本開示は、視線情報を高精度に検出できるため、瞳情報を用いた虹彩認証、視線情報を用いた人物の興味対象の推定、人物の状態推定、及び視線を用いたユーザインターフェースなどにおいて有用である。