

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4101734号
(P4101734)

(45) 発行日 平成20年6月18日 (2008. 6. 18)

(24) 登録日 平成20年3月28日 (2008. 3. 28)

(51) Int. Cl.

F I

G O 6 T 15/70 (2006. 01)

G O 6 T 15/70 B

G O 6 T 1/00 (2006. 01)

G O 6 T 1/00 3 4 O A

請求項の数 6 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2003-374422 (P2003-374422)
(22) 出願日 平成15年11月4日 (2003. 11. 4)
(65) 公開番号 特開2005-141305 (P2005-141305A)
(43) 公開日 平成17年6月2日 (2005. 6. 2)
審査請求日 平成17年5月17日 (2005. 5. 17)

(出願人による申告) 平成15年度通信・放送機構、研究テーマ「人間情報コミュニケーションの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願

(73) 特許権者 393031586
株式会社国際電気通信基礎技術研究所
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
(74) 代理人 100064746
弁理士 深見 久郎
(74) 代理人 100085132
弁理士 森田 俊雄
(74) 代理人 100083703
弁理士 仲村 義平
(74) 代理人 100096781
弁理士 堀井 豊
(74) 代理人 100098316
弁理士 野田 久登
(74) 代理人 100109162
弁理士 酒井 将行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 顔表情推定装置、顔表情推定方法および顔表情推定プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の人物の各々の複数の表情に対応し、予め獲得された同一のメッシュトポロジの複数の顔形状のメッシュ頂点座標から主成分分析により抽出された主成分のうち、所定数の限定された主成分の線形合成により、前記複数の人物の複数の表情に対応する前記顔形状をそれぞれ近似する複数の第1の合成係数の組を、前記複数人物および前記複数の表情にそれぞれ関連付けて記憶する3次元顔形状データベースにアクセスするためのデータベースアクセス手段と、

入力された推定対象の人物の所定の表情に対応する3次元計測顔形状データについて、前記同一のメッシュトポロジへ変換した3次元顔形状データを、前記限定された主成分の線形合成により近似する第2の合成係数の組を決定するための線形合成係数決定手段と、

前記3次元顔形状データベース内において前記所定の表情に対応する複数の前記第1の合成係数の組のうちから、前記第2の合成係数の組との距離が所定の範囲内である前記第1の合成係数の組に対応する少なくとも1つの類似顔候補を検索する検索手段と、

前記検索された類似顔候補について、前記所定の表情に対する前記第1の線形合成係数の組と他の表情に対する前記第1の線形合成係数の組との差分を算出する線形合成係数差分算出手段と、

前記距離に基づいて、前記類似顔候補に対する重み付け係数を決定する類似顔候補加重手段と、

前記線形合成係数差分算出手段から得られた前記差分と前記類似顔候補加重手段から得

10

20

られた前記重み付け係数とを掛け合わせた結果を、前記第2の合成係数の組に加えて、前記推定対象の人物の前記他の表情に対応する合成係数を推定する線形合成係数加重加算手段とを備える、顔表情推定装置。

【請求項2】

推定された前記他の表情に対応する前記合成係数に基づいて、対応する顔形状を生成する顔表情推定生成手段をさらに備える、請求項1記載の顔表情推定装置。

【請求項3】

複数の人物の各々の複数の表情に対応し、予め獲得された同一のメッシュトポロジの複数の顔形状のメッシュ頂点座標から主成分分析により主成分を抽出するステップと、

前記抽出された主成分のうち、所定数の限定された主成分の線形合成により、前記複数の人物の複数の表情に対応する前記顔形状をそれぞれ近似する複数の第1の合成係数の組を、前記複数人物および前記複数の表情にそれぞれ関連付けて記憶装置に記憶することで、3次元顔形状データベースを準備するステップと、

推定対象の人物の所定の表情に対応する3次元計測顔形状データについて、前記同一のメッシュトポロジへ変換した3次元顔形状データを、前記限定された主成分の線形合成により近似する第2の合成係数の組を決定するステップと、

前記3次元顔形状データベース内において前記所定の表情に対応する複数の前記第1の合成係数の組のうちから、前記第2の合成係数の組との距離が所定の範囲内である前記第1の合成係数の組に対応する少なくとも1つの類似顔候補を検索するステップと、

前記検索された類似顔候補について、前記所定の表情に対する前記第1の線形合成係数の組と他の表情に対する前記第1の線形合成係数の組との差分を算出するステップと、

前記距離に基づいて、前記類似顔候補に対する重み付け係数を決定するステップと、

前記差分と前記重み付け係数とを掛け合わせた結果を、前記第2の合成係数の組に加えて、前記推定対象の人物の前記他の表情に対応する合成係数を推定するステップとを備える、顔表情推定方法。

【請求項4】

推定された前記他の表情に対応する前記合成係数に基づいて、対応する顔形状を生成するステップをさらに備える、請求項3記載の顔表情推定方法。

【請求項5】

顔表情推定処理をコンピュータに実行させるための顔表情推定プログラムであって、

複数の人物の各々の複数の表情に対応し、予め獲得された同一のメッシュトポロジの複数の顔形状のメッシュ頂点座標から主成分分析により抽出された主成分のうち、所定数の限定された主成分の線形合成により、前記複数の人物の複数の表情に対応する前記顔形状をそれぞれ近似する複数の第1の合成係数の組を、前記複数人物および前記複数の表情にそれぞれ関連付けて記憶する3次元顔形状データベースにアクセスするステップと、

入力された推定対象の人物の所定の表情に対応する3次元計測顔形状データについて、前記同一のメッシュトポロジへ変換した3次元顔形状データを、前記限定された主成分の線形合成により近似する第2の合成係数の組を決定するステップと、

前記3次元顔形状データベース内において前記所定の表情に対応する複数の前記第1の合成係数の組のうちから、前記第2の合成係数の組との距離が所定の範囲内である前記第1の合成係数の組に対応する少なくとも1つの類似顔候補を検索するステップと、

前記検索された類似顔候補について、前記所定の表情に対する前記第1の線形合成係数の組と他の表情に対する前記第1の線形合成係数の組との差分を算出するステップと、

前記距離に基づいて、前記類似顔候補に対する重み付け係数を決定するステップと、

前記差分と前記重み付け係数とを掛け合わせた結果を、前記第2の合成係数の組に加えて、前記推定対象の人物の前記他の表情に対応する合成係数を推定するステップと、

をコンピュータに実行させる、顔表情推定プログラム。

【請求項6】

推定された前記他の表情に対応する前記合成係数に基づいて、対応する顔形状を生成するステップをさらにコンピュータに実行させる、請求項5記載の顔表情推定プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明はカメラ等での撮影により得られた対象人物のある表情、たとえば、無表情の画像に基づいて、当該対象人物の所望の表情の顔画像を推定して生成するための顔表情推定装置、顔表情推定方法および顔表情推定プログラムの構成に関する。

【背景技術】

【0002】

映像生成分野におけるコンピュータグラフィックス（CG）技術による顔アニメーションが普及している。このようなコンピュータアニメーションにおいて、任意の人物の3次元顔形状の表情変化に伴う形状変形を作成する場合、第1の従来手法として、アニメータが専用のソフトウェアを利用して1つの表情から人手で変形を施し、所望の表情を作成するという手法が一般的である。

10

【0003】

しかしながら、このような第1の従来手法による場合、熟練したアニメータでなければリアルな表情の変化を作成することが困難で、一般には、静止画のリアリティは高いものの、動きの画像においてはリアリティに欠けてしまう傾向にある。

【0004】

また、第2の従来手法として、筋肉モデルを定義した計算機シミュレーションにより3次元顔形状のリアルな表情変化を実現する手法が提案されている（たとえば、非特許文献1を参照）。しかしながら、このような第2の従来手法では、対象となるモデルが変わるごとに筋肉の配置を定義する必要があり、任意の人物に対しては、その都度ユーザが定義を行わなければならないという問題がある。

20

【0005】

あるいは、第3の従来手法として、対象となる人物に対して予め多くの顔表情の3次元形状を計測し、任意表情を合成する手法が提案されている（たとえば、非特許文献2を参照）。しかしながら、この第3の従来手法では、あくまで人物ごとに複数表情の3次元形状を計測しおいた上で、各表情に対応するアニメーションを生成する必要があり、各表情を生成するごとに3次元計測装置が必要とされるという問題がある。

【非特許文献1】Y. Lee, D. Terzopolos, K. Waters著, "Realistic modeling for facial animation", Proc. of SIGGRAPH95, pp.55-62, 1995

30

【非特許文献2】倉立 尚明、ヘニ ヤヒヤ、エリック バティキオティス-ベイツン著、"3次元顔形状からの主成分の抽出とアニメーション合成", 電子情報通信学会技術報告、Vol.HIP99-37, pp.25-30, 1999

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、上述したような問題点を解決するためになされたものであって、その目的は、予め計測された複数人物の複数の表情の3次元顔形状データベースを用いることで、未知人物の顔形状の表情変化を自動的に推定するための顔表情推定装置、顔表情推定方法および顔表情推定プログラムを提供することである。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

このような目的を達成するために本発明では、予め計測済みの複数人物の複数顔表情に対応する3次元顔形状データベースから主成分を抽出し、さらにデータベース内の全ての顔を主成分空間で表現しておく。そしてデータベースに無い人物について、まず所定の表情（たとえば、無表情）の3次元顔形状をこれら主成分で近似し、次にその無表情の主成分空間におけるもっとも近い人物あるいは近傍の複数人物の主成分空間における顔表情変化を参照することにより目標人物の無表情からの表情変化を推定する。

【0008】

50

すなわち、上記のような目的を達成するために、本発明に係る顔表情推定装置は、複数の人物の各々の複数の表情に対応し、予め獲得された同一のメッシュトポロジの複数の顔形状のメッシュ頂点座標から主成分分析により抽出された主成分のうち、所定数の限定された主成分の線形合成により、複数の人物の複数の表情に対応する顔形状をそれぞれ近似する複数の第1の合成係数の組を、複数人物および複数の表情にそれぞれ関連付けて記憶する3次元顔形状データベースにアクセスするためのデータベースアクセス手段と、入力された推定対象の人物の所定の表情に対応する3次元計測顔形状データについて、同一のメッシュトポロジへ変換した3次元顔形状データを、限定された主成分の線形合成により近似する第2の合成係数の組を決定するための線形合成係数決定手段と、3次元顔形状データベース内において所定の表情に対応する複数の第1の合成係数の組のうちから、第2の合成係数の組との距離が所定の範囲内である第1の合成係数の組に対応する少なくとも1つの類似顔候補を検索する検索手段と、検索された類似顔候補について、所定の表情に対する第1の線形合成係数の組と他の表情に対する第1の線形合成係数の組との差分を算出する線形合成係数差分算出手段と、距離に基づいて、類似顔候補に対する重み付け係数を決定する類似顔候補加重手段と、線形合成係数差分算出手段から得られた差分と類似顔候補加重手段から得られた重み付け係数とを掛け合わせた結果を、第2の合成係数の組に加えて、推定対象の人物の他の表情に対応する合成係数を推定する線形合成係数加重加算手段とを備える。

10

【0009】

好ましくは、顔表情推定装置は、推定された他の表情に対応する合成係数に基づいて、対応する顔形状を生成する顔表情推定生成手段をさらに備える。

20

【0010】

この発明の他の局面に従うと、顔表情推定方法であって、複数の人物の各々の複数の表情に対応し、予め獲得された同一のメッシュトポロジの複数の顔形状のメッシュ頂点座標から主成分分析により主成分を抽出するステップと、抽出された主成分のうち、所定数の限定された主成分の線形合成により、複数の人物の複数の表情に対応する顔形状をそれぞれ近似する複数の第1の合成係数の組を、複数人物および複数の表情にそれぞれ関連付けて記憶装置に記憶することで、3次元顔形状データベースを準備するステップと、推定対象の人物の所定の表情に対応する3次元計測顔形状データについて、同一のメッシュトポロジへ変換した3次元顔形状データを、限定された主成分の線形合成により近似する第2の合成係数の組を決定するステップと、3次元顔形状データベース内において所定の表情に対応する複数の第1の合成係数の組のうちから、第2の合成係数の組との距離が所定の範囲内である第1の合成係数の組に対応する少なくとも1つの類似顔候補を検索するステップと、検索された類似顔候補について、所定の表情に対する第1の線形合成係数の組と他の表情に対する第1の線形合成係数の組との差分を算出するステップと、距離に基づいて、類似顔候補に対する重み付け係数を決定するステップと、差分と重み付け係数とを掛け合わせた結果を、第2の合成係数の組に加えて、推定対象の人物の他の表情に対応する合成係数を推定するステップとを備える。

30

【0011】

好ましくは、顔表情推定方法は、推定された他の表情に対応する合成係数に基づいて、対応する顔形状を生成するステップをさらに備える。

40

【0012】

この発明のさらに他の局面に従うと、顔表情推定処理をコンピュータに実行させるための顔表情推定プログラムであって、複数の人物の各々の複数の表情に対応し、予め獲得された同一のメッシュトポロジの複数の顔形状のメッシュ頂点座標から主成分分析により抽出された主成分のうち、所定数の限定された主成分の線形合成により、複数の人物の複数の表情に対応する顔形状をそれぞれ近似する複数の第1の合成係数の組を、複数人物および複数の表情にそれぞれ関連付けて記憶する3次元顔形状データベースにアクセスするステップと、入力された推定対象の人物の所定の表情に対応する3次元計測顔形状データについて、同一のメッシュトポロジへ変換した3次元顔形状データを、限定された主成分の

50

線形合成により近似する第2の合成係数の組を決定するステップと、3次元顔形状データベース内において所定の表情に対応する複数の第1の合成係数の組のうちから、第2の合成係数の組との距離が所定の範囲内である第1の合成係数の組に対応する少なくとも1つの類似顔候補を検索するステップと、検索された類似顔候補について、所定の表情に対する第1の線形合成係数の組と他の表情に対する第1の線形合成係数の組との差分を算出するステップと、距離に基づいて、類似顔候補に対する重み付け係数を決定するステップと、差分と重み付け係数とを掛け合わせた結果を、第2の合成係数の組に加えて、推定対象の人物の他の表情に対応する合成係数を推定するステップと、をコンピュータに実行させる。

【0013】

10

好ましくは、顔表情推定プログラムは、推定された他の表情に対応する合成係数に基づいて、対応する顔形状を生成するステップをさらにコンピュータに実行させる。

【発明の効果】

【0014】

本発明に係る顔表情推定装置、顔表情推定方法および顔表情推定プログラムは、あらかじめ複数の人物の各々について複数の表情に対して顔形状を計測し、主成分分析した結果を3次元顔形状データベースとして構築しておくことにより、この3次元顔形状データベースに登録されていない未知人物の顔形状についても、自動的にその人物らしい表情変形を推定することが可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

20

【0015】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

[ハードウェア構成]

図1は、本発明の顔表情推定方法を実施するための顔表情推定装置1000の一例を示す概念図である。

【0016】

この顔表情推定装置1000は、パーソナルコンピュータまたはワークステーション等、コンピュータ上で実行されるソフトウェアにより実現されるものであって、対象となる人物の所定の表情の3次元顔形状画像を撮影し、撮影された3次元顔形状に基づいて、予め計測済みの複数人物の複数顔表情についての3次元顔形状データベースを利用して、対象人物の当該所定の表情からの表情変化を推定するためのものである。

30

【0017】

すなわち、顔表情推定装置1000内の内部記憶装置、あるいは顔表情推定装置1000が通信可能な外部記憶装置中には、予め計測済みの複数人物の複数の所定の顔表情についての3次元顔形状データベースが格納されている。この3次元顔形状データベースにおいては、後に説明するような複数人物の複数の顔表情データについての主成分が抽出されている。そして、この3次元顔形状データベースに登録される全ての顔は、これら主成分のうちの上位の主成分の線形結合で近似できることになる。このような線形結合において、各主成分の係数を「線形合成係数」とよぶことにする。

【0018】

40

上記3次元顔形状データベースには、各人物ごとに各表情に関連付けて、対応する線形合成係数の組が格納される。

【0019】

一方で、この3次元顔形状データベースに基づく主成分空間において、上述のように3次元顔画像が撮影され、推定の対象となる人物の所定の表情を、まず、上述した主成分で近似する。言い換えると、推定の対象となる人物の所定の表情を、主成分空間において、近似に用いた線形合成係数を各座標成分とする点として表す。このように推定の対象となる人物の所定の表情の近似を行った上で、顔表情推定装置1000は、この主成分空間内で対象人物の所定の表情を表す点の座標に、もっとも近い座標で当該所定の表情が表現されている登録済みの人物（あるいは近傍の座標で当該所定の表情が表現されている複数の

50

登録済みの人物)の主成分空間における顔表情変化を参照することによって、対象人物の所定の表情から他の表情への表情変化を推定するものである。

【0020】

図2は、上述した「複数の所定の顔表情」の一例を示す図である。

【0021】

ここでは、「無表情で目を開けた表情」および「無表情で目を閉じた表情」が、「無表情」に分類される。

【0022】

また、「基本口形状」に分類されるものとしては、「母音(/a,i,u,e,o/)を発音時の表情」、「口を意識的に開けた表情」および「口を意識的に閉じた表情」がある。

10

【0023】

「追加口形状」に分類されるものとしては、「唇を突き出した表情(両唇/上唇/下唇)」、「歯を噛みしめ唇を開けた表情(両唇/上唇)」、「唇の両端を口腔内へ吸い込んだ表情」、「口を左にずらした表情(口の開閉)」および「口を右にずらした表情(口の開閉)」がある。なお、表情の後に括弧で記載したのは、唇や口の動作が各々の場合について独立に行われることを示す。

【0024】

さらに、「感情表情」に分類されるものとしては、「笑いの表情(口の開閉)」、「怒りの表情(口の開閉)」、「悲しみの表情」、「驚きの表情」、「恐れ of の表情」、「嫌悪の表情」、「軽蔑の表情」がある。

20

【0025】

もちろん、データベースに登録する表情(顔形状)の種類は、上記のようなものに限定されるものではない。

【0026】

なお、以下の説明では、特に断りのない限り、計測後データベースに登録する複数の表情としては、一例として、1)「無表情で目を閉じた表情」、2)「口を意識的に開けた表情」、3)「母音(/i/)を発音時の表情」、4)「母音(/u/)を発音時の表情」、5)「母音(/o/)を発音時の表情」、6)「唇を突き出した表情(両唇)」、7)「歯を噛みしめ唇を開けた表情(両唇)」、8)「笑いの表情(口は開)」、9)「笑いの表情(口は閉)」の9表情であるものとして説明を行う。

30

【0027】

再び、図1を参照して、顔表情推定装置1000は、コンピュータ100と、コンピュータ100に接続され、推定対象となる人物2の3次元顔形状画像を獲得するための3次元顔形状画像測定装置であって、3次元顔形状画像を全周囲計測により取り込むための3次元レーザスキャナ200と、同じく3次元顔形状画像測定装置であって、推定対象となる人物2の3次元顔形状画像を取り込むための非接触3次元デジタイザ206とを備える。

【0028】

この実施の形態の装置における3次元レーザスキャナ200では、対象人物2の頭部のまわりを回転台座204に支持されるカメラ202が1回転して、頭部の3次元座標とテクスチャ情報を獲得する。ただし、一般に、非接触3次元デジタイザ206を用いれば、一方向から見た場合の画像ではあるが、より短時間に頭部の3次元座標とテクスチャ情報を獲得することができる。3次元レーザスキャナ200および非接触3次元デジタイザ206のいずれにおいても、受光するためのカメラとしては、CCD(固体撮像素子)を含むビデオカメラを用いて撮影処理を行うものとする。

40

【0029】

すなわち、これらカメラにより、観察対象の人物2の顔を含む画像であって対象となる画像領域内の各画素の値のデジタルデータが準備される。

【0030】

3次元顔形状撮影装置において、コンピュータ100は、CD-ROM(Compact Disc

50

Read-Only Memory) 上の情報を読み込むための C D - R O M ドライブ 1 0 8 およびフレキシブルディスク (Flexible Disk、以下 F D) 1 1 6 に情報を読み書きするための F D ドライブ 1 0 6 を備えたコンピュータ本体 1 0 2 と、コンピュータ本体 1 0 2 に接続された表示装置としてのディスプレイ 1 0 4 と、同じくコンピュータ本体 1 0 2 に接続された入力装置としてのキーボード 1 1 0 およびマウス 1 1 2 とを含む。

【 0 0 3 1 】

図 3 は、このコンピュータ 1 0 0 の構成をブロック図形式で示す図である。

【 0 0 3 2 】

図 3 に示されるように、このコンピュータ 1 0 0 を構成するコンピュータ本体 1 0 2 は、C D - R O M ドライブ 1 0 8 および F D ドライブ 1 0 6 に加えて、それぞれバス B S に接続された C P U (Central Processing Unit) 1 2 0 と、R O M (Read Only Memory) および R A M (Random Access Memory) を含むメモリ 1 2 2 と、直接アクセスメモリ装置、たとえば、ハードディスク 1 2 4 と、3 次元レーザスキャナ 2 0 0 および非接触 3 次元デジタイザ 2 0 6 とデータや制御信号の授受を行うための通信インタフェース 1 2 8 とを含んでいる。C D - R O M ドライブ 1 0 8 には C D - R O M 1 1 8 が装着される。F D ドライブ 1 0 6 には F D 1 1 6 が装着される。

10

【 0 0 3 3 】

なお、C D - R O M 1 1 8 は、コンピュータ本体に対してインストールされるプログラム等の情報を記録可能な媒体であれば、他の媒体、たとえば、D V D - R O M (Digital Versatile Disc) やメモリカードなどでもよく、その場合は、コンピュータ本体 1 0 2 には、これらの媒体を読み取ることが可能なドライブ装置が設けられる。

20

【 0 0 3 4 】

本発明の顔表情推定装置 1 0 0 0 の主要部は、コンピュータハードウェアと、C P U 1 2 0 により実行されるソフトウェアとにより構成される。一般的にこうしたソフトウェアは C D - R O M 1 1 8 、F D 1 1 6 等の記憶媒体に格納されて流通し、C D - R O M ドライブ 1 0 8 または F D ドライブ 1 0 6 等により記憶媒体から読取られてハードディスク 1 2 4 に一旦格納される。または、当該装置がネットワークに接続されている場合には、ネットワーク上のサーバから一旦ハードディスク 1 2 4 にコピーされる。そうしてさらにハードディスク 1 2 4 からメモリ 1 2 2 中の R A M に読出されて C P U 1 2 0 により実行される。なお、ネットワーク接続されている場合には、ハードディスク 1 2 4 に格納することなく R A M に直接ロードして実行するようにしてもよい。

30

【 0 0 3 5 】

図 1 および図 3 に示したコンピュータのハードウェア自体およびその動作原理は一般的なものである。したがって、本発明の最も本質的な部分は、F D 1 1 6 、C D - R O M 1 1 8 、ハードディスク 1 2 4 等の記憶媒体に記憶されたソフトウェアである。

【 0 0 3 6 】

なお、一般的な傾向として、コンピュータのオペレーティングシステムの一部として様々なプログラムモジュールを用意しておき、アプリケーションプログラムはこれらモジュールを所定の配列で必要な時に呼び出して処理を進める方式が一般的である。そうした場合、当該顔表情推定装置 1 0 0 0 を実現するためのソフトウェア自体にはそうしたモジュールは含まれず、当該コンピュータでオペレーティングシステムと協働してはじめて顔表情推定装置 1 0 0 0 が実現することになる。しかし、一般的なプラットフォームを使用する限り、そうしたモジュールを含ませたソフトウェアを流通させる必要はなく、それらモジュールを含まないソフトウェア自体およびそれらソフトウェアを記録した記録媒体 (およびそれらソフトウェアがネットワーク上を流通する場合のデータ信号) が実施の形態を構成すると考えることができる。

40

【 0 0 3 7 】

[3 次元顔表情推定のための前処理]

以下では、まず、本発明の 3 次元顔表情推定処理を行うための前処理として、3 次元顔形状データベースのデータの準備と、3 次元顔形状データベースのデータに登録された複

50

数の人物の複数の顔形状のデータに対する主成分による顔表現について説明する。

【0038】

すなわち、複数人物から複数の顔表情の3次元顔形状を計測したデータベースに対して、主成分分析を行うことにより、比較的少ない数の上位主成分を用いるだけで主観的にこれらデータベースに含まれる顔形状を再現することが可能である。たとえば、100名の人物から9種類の顔表情を計測した例では、30～50の上位主成分があれば、主観的に全ての900（＝100（人）×9（種類））の顔を再現することが可能である。

【0039】

なお、後に説明するように、本発明の3次元顔表情推定では、これら主成分をパラメータとして変化させることにより、未知の、言い換えると、3次元顔形状データベースに登録されていない顔形状を近似する。

10

【0040】

〔前処理（顔形状データベースの構築）〕

図4は、3次元顔表情推定処理を行うための前処理である、顔形状データベースの構築の構築の手順を説明するためのフローチャートである。

【0041】

まず、図1において説明したとおり、複数人物の複数の表情の3次元顔形状を計測して、3次元計測顔形状データを獲得する（ステップS100）。

【0042】

続いて、このようにして、獲得された3次元計測顔形状データを同一のメッシュトポロジへと変換する（ステップS102）。

20

【0043】

図5は、このような同一のメッシュトポロジへの変換手続きを説明するための概念図である。

【0044】

すなわち、まず、3次元計測顔形状データについて、目・鼻・口・顎・眉などの特徴線の特定を行う。図5においては、一例として、ディスプレイプレイ上に表示される3次元計測顔形状データに対して手動で特徴線の特定するものとしている。

【0045】

さらにこのように特定された特徴線に基づき、モーフィングを用いて、複数の人物および複数の表情に共通な一般化メッシュを、処理対象の3次元計測顔形状データに適合させ、最終的には同じトポロジを持つ3次元データに変換する。なお、このような「一般化メッシュの適合処理」の詳細については、たとえば、特開平11-224350号公報に開示されている。

30

【0046】

再び、図4に戻って、このような同一のメッシュトポロジへの変換の後、続いて、変換された全ての3次元顔の頂点座標に対して主成分分析を行う（ステップS104）。

【0047】

すなわち、一般化メッシュを各計測顔形状に適合させることにより、異なる顔形状の数学的解析が容易となる。つまり、m人の人物からs種類の顔形状を計測したM（＝m×s）個の3次元計測顔形状データの各々に対して、上述した一般化適合を施し、M個の同じトポロジを持つデータ3次元データ（以下、「3次元顔形状データ」と呼ぶ）が得られる。それぞれの3次元顔形状データは、適合化したメッシュのN個のノードの（x，y，z）座標を用い、3N個の成分を持つ列ベクトル f_i （ $i = 1, \dots, M$ ）で表すことができる。

40

【0048】

【数1】

$$f_i = [x_{i1} \quad x_{i2} \quad \cdots \quad x_{iN} \quad y_{i1} \quad y_{i2} \quad \cdots \quad y_{iN} \quad z_{i1} \quad z_{i2} \quad \cdots \quad z_{iN}]^T$$

50

【0049】

これにより、適合化され登録される顔形状は、以下の1つの行列Fであらわすことができる。

【0050】

【数2】

$$F = [f_1, f_2, \dots, f_M]$$

【0051】

図6は、このような行列Fを示す概念図である。図6においては、行列Fの概念を示すために、一例として、「無表情で目を閉じた表情」を添え字 "neutral" で表し、「母音 (/a,i,u,e,o/) を発音時の表情」を、各母音 (a,i,u,e,o) を添え字として表し、「口を意識的に開けた表情」および「口を意識的に閉じた表情」をそれぞれ添え字 "open" および "close" で表した場合を示している。

10

【0052】

ここで、以下のとおり、任意の3次元顔形状 f_i を、M個の登録された形状の平均 μ_f からのずれベクトル f_{mi} により表現する。

【0053】

【数3】

$$f_i = f_{mi} + \mu_f, \quad \mu_f = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M f_k$$

20

【0054】

このずれベクトル f_{mi} により新たに以下の基本顔形状行列 F_M が定義できる。

【0055】

【数4】

$$F_M = [f_{m1}, f_{m2}, \dots, f_{mM}]$$

30

【0056】

この行列 F_M について、共分散行列 C_f は以下のように表すことができる。

【0057】

【数5】

$$C_f = F_M F_M'$$

【0058】

この共分散行列 C_f に対して、以下のような特異値分解を行うことにより、各固有ベクトルを、行列 F_M の線形独立な主成分として求めることができる。

40

【0059】

【数6】

$$C_f = USU'$$

【0060】

ここで、行列Uは正規化されたユニタリ行列で、各列が固有ベクトルを表す。また、行列Sは対角行列で、対角成分が固有値を表すものである。

【0061】

以上の手続きにより、全ての3次元顔の頂点座標に対して主成分分析が行われる。

【0062】

50

続いて、求められた主成分のうち、有効な上位主成分の数を決定し、内部記憶装置であるハードディスク124または外部記憶装置内のデータベースに保存する（ステップS106）。CPU120は、バスBSによりハードディスク124にアクセス可能であり、または、バスBSおよび通信インターフェース128により、図示しない外部記憶装置にアクセスすることが可能である。

【0063】

上述のとおり、主観的には、900表情の場合30～50の上位主成分で十分である。

【0064】

さらに、有効な上位主成分の線形合成により全ての3次元顔形状データを表現し、各線形合成係数を、対応する人物および表情の各々と関連付けて、3次元顔形状データベースとして、これもハードディスク124または外部記憶装置に保存する（ステップS108）。

10

【0065】

すなわち、3次元顔形状データベース内の全ての顔が上位k個の主成分 U_k の線形結合として表現されていることになる。

【0066】

ここで、i番目の顔の線形結合係数 α_i は、個々の主成分に対する合成係数 α_{ij} ($j = 1, \dots, k$)から構成される列ベクトルとして以下のように表現できる。

【0067】

【数7】

20

$$\alpha_i = [\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ik}]^T \quad (1)$$

【0068】

ただし、線形結合係数 α_i は、主成分 U_k と平均顔 μ_f および元の形状 f_i より以下の式で与えられる。

【0069】

【数8】

$$\alpha_i = U_k^T (f_i - \mu_f) \quad (2)$$

30

【0070】

この線形結合係数 α_i をデータベース内の全ての顔M種類についてまとめると、以下の線形合成結合行列Aが定義できる。

【0071】

【数9】

$$A = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M] \quad (3)$$

【0072】

40

これにより、データベース内の全ての顔平均からのずれの主成分近似 F_m' は、主成分 U_k の線形結合として、線形合成結合行列Aを用いて、以下の式で表すことができる。

【0073】

【数10】

$$F_m' = U_k A \quad (4)$$

【0074】

[顔形状推定処理]

このように、主成分分離させたデータベースを用いることにより、データベース内の人

50

物と同様の顔表情に伴う形状変形を、以下の手順で任意の未知人物について推定することが可能である。

【0075】

図7は、本発明の顔形状推定処理の流れを説明するためのフローチャートである。

【0076】

図7を参照して、まず、顔表情推定装置1000により、推定の対象となる未知人物の所定の表情の3次元計測顔形状データを獲得する（ステップS200）。獲得された3次元計測顔形状データは、たとえば、ハードディスク124に格納される。

【0077】

ここで、「所定の表情」は、3次元顔形状データベース内の複数の表情のいずれかと同じ表情であればよく、たとえば、「無表情で目を閉じた表情」とすることができる。

【0078】

続いて、顔表情推定装置1000のCPU120は、獲得された3次元計測顔形状データを、3次元顔形状データベース内の顔形状データと同一メッシュトポロジへと変換する（ステップS202）。

【0079】

このようにして、3次元顔形状データベースに未登録の人物の単一の顔表情形状がデータベースと同一のメッシュ構造で得られる。このとき、入力顔は以下のように列ベクトル f_u で表現できる。

【0080】

【数11】

$$f_u = [x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_N \quad y_1 \quad y_2 \quad \cdots \quad y_N \quad z_1 \quad z_2 \quad \cdots \quad z_N]^T \quad (5)$$

【0081】

これに対し、データベースから得た平均顔形状 μ_f を用い、入力顔はこの平均からのずれ f_{mu} へと分離できる。

【0082】

【数12】

$$f_{mu} = f_u - \mu_f$$

【0083】

続いて、入力表情顔形状を先の有効な上位主成分の線形合成で近似する（ステップS204）。

【0084】

すなわち、この平均からのずれ f_{mu} を、上位 k 個の主成分 U_k との線形結合で表現することにより、入力顔をデータベース内の顔同様に上位 k 個の主成分空間に定義することができる。ここで、この未登録人物の単一の顔表情形状に対応する線形結合係数 β は以下の式で求めることができる。

【0085】

【数13】

$$\beta = U_k^T (f_u - \mu_f) = [b_1 \quad b_2 \quad \cdots \quad b_k]^T \quad (7)$$

【0086】

続いて、顔表情推定装置1000のCPU120は、推定対象の人物に対して得られた主成分の線形合成係数について、3次元顔形状データベース内の上記所定の表情の線形合成係数と近い線形合成係数で表される顔形状を有する人物を探索する（ステップS206）。

【0087】

10

20

30

40

50

すなわち、入力顔が k 個の主成分で表現されたことより、 k 次元の主成分空間において顔形状の比較が可能となる。そこでまず、他の人物の同じ表情について k 次元の主成分空間中における入力顔との距離を比較する。3 次元顔形状データベース内の j 番目の人物の線形合成係数 a_j の各成分と、入力顔の線形合成係数 β の各成分について、以下の式より距離 d_j を求める。

【0088】

【数14】

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^k (b_i - a_{ji})^2} \quad (8)$$

10

【0089】

ただし、距離の定義は、上記式 (8) に定義されるものに限定されるものではなく、距離の公理を満たす限り、他の距離を用いることもできる。

【0090】

(類似顔の選定)

得られた距離の小さい順に並べることにより、入力顔に近い順に顔表情形状を持つ人物のリストを作成することができる。

【0091】

その上で、以下に示す手順 (1) ~ (4) のいずれかの選定手続を例として、類似顔表情人物の選定を行う。

20

【0092】

(1) 人数による限定

あらかじめ選定する人数を、たとえば入力顔に近い順に「上位 5 人」などに限定しておくという選定方法である。

【0093】

(2) 距離による限定

あらかじめ主成分空間における距離範囲を、たとえば「距離 100.0 以内」などと限定しておく。また、仮に最も近い顔がこの距離に含まれない場合は距離範囲を段階的に増やすようにする。

30

【0094】

(3) 人数と距離による限定

あらかじめ選定する人数を、たとえば「上位 5 人」、主成分空間における距離範囲を、たとえば「距離 100.0 以内」などと限定しておく。そして、上位人数に満たない場合は距離範囲を段階的に増やすようにする。

【0095】

(4) 乱数効果を加えた限定

上述の (1) ~ (3) の限定で得られた選定候補に加え、乱数的に無作為に 1 名以上の候補を追加する。

【0096】

このような手続きにより、すくなくとも 1 名以上の人物を探索する。

40

【0097】

(選定人物に対する重み付けの決定)

再び、図 7 に戻って、次に、探索結果の人物の、対象となる表情顔から他の表情への変化を主成分空間中で求める。複数人物が探索結果として得られた場合、たとえば、近さに応じて重み付け加算した変化を求める (ステップ S208)。

【0098】

ここで、類似顔表情を持つ人物が n 人選定されたことにより、次にこれらの人物の表情変化を、入力顔の表情変化に寄与する重み付けの割合を決定する。

【0099】

50

選定人物に対する重み付けの決定の手順には、以下の（Ａ）～（Ｃ）のような手法が考えられる。

【０１００】

（Ａ）単純平均

重み付けを均一とし、総和が１となるように、選定された人物数 x に対し、 $w = 1.0 / n$ を全ての人物の重み付けとする。

【０１０１】

（Ｂ）距離加重

距離の近い人物に対して重み付けが大きくなるように重み付けの割合を決定する。以下にその例を示す。

【０１０２】

（Ｂ－１）距離に反比例する例

i 番目の人物に対し、以下の式（９）を用いて、重み付け係数 w_i を決定する。

【０１０３】

【数１５】

$$w_i = c_0 / d_i, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1.0 \quad (9)$$

【０１０４】

ただし、 c_0 は総和が１．０となるようにするための定数である。

【０１０５】

（Ｂ－２）距離の自乗に反比例する例

i 番目の人物に対し、以下の式（１０）を用いて、重み付け係数 w_i を決定する。

【０１０６】

【数１６】

$$w_i = c_0 / d_i^2, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1.0 \quad (10)$$

【０１０７】

ただし、 c_1 は総和が１．０となるようにするための定数である。

【０１０８】

（Ｃ）順位加重

選定された順位が上位であるほど、重み付けが大きくなるように重み付けの割合を決定する。以下にその例を示す。

【０１０９】

（Ｃ－１）順位に反比例する例

i 番目の人物に対し、以下の式（１１）を用いて、重み付け係数 w_i を決定する。

【０１１０】

【数１７】

$$w_i = c_2 / i, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1.0 \quad (11)$$

【０１１１】

ただし、 c_2 は総和が１．０となるようにするための定数である。

【０１１２】

（Ｃ－２）ユーザ指定

あらかじめユーザにより順位に対する重みを定義しておく。たとえば選定結果が５人である場合に重み付けが順に、たとえば、０．５０，０．２５，０．１０，０．１０，０．０５というように総和が１．０となるよう定義しておく。

【０１１３】

10

20

30

40

50

(選定人物の顔表情変形ベクトル)

以上のようにして、選定人物に対する重み付けが決定されると、この重み付けに基づいて、次に、選定人物の顔表情変形ベクトルが算出される。

【0114】

すなわち、先の重み付けに加え、類似顔表情を持つ人物が n 人選定されたことにより、個々の選定人物の顔表情変形ベクトルを算出する。この「顔表情変形ベクトル」とは、個々の人物において人物選定に用いた表情から、その人物の他の表情への変化を主成分空間のベクトルとして表現したものである。

【0115】

選定人物 1 名につき、 $k \times (s - 1)$ 個の表情変形ベクトル ε_i が得られる。これらをまとめて記載すると、以下の式 (12) および (13) のとおりとなる。

【0116】

【数18】

$$\varepsilon_i = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1(s-1)} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2(s-1)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{k1} & e_{k2} & \cdots & e_{k(s-1)} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$= \begin{pmatrix} a_{1p_1} - a_{1q} & a_{1p_2} - a_{1q} & \cdots & a_{1p_{s-1}} - a_{1q} \\ a_{2p_1} - a_{1q} & a_{2p_2} - a_{2q} & \cdots & a_{2p_{s-1}} - a_{2q} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{kp_1} - a_{kq} & a_{kp_1} - a_{kq} & \cdots & a_{kp_{s-1}} - a_{kq} \end{pmatrix} \quad (13)$$

【0117】

ここで、 q は三次元顔形状データベース内における、選定人物の類似表情（所定の表情）のインデックス番号であり、 $p_1 \cdots p_{s-1}$ は選定人物の類似表情以外のインデックス番号を示す。

【0118】

この表情変形ベクトル ε_i を選定人物 n 人全てについて求める。

【0119】

以上より、選定人物ごとの表情変形ベクトル ε_i とその重み付け係数 w_i が得られた。これらを用い、入力人物における顔表情変形ベクトルを求め、表情推定を行う。入力人物における顔表情変形ベクトル ε_i は以下の式 (14) により求めることができる。

【0120】

【数19】

$$\varepsilon_0 = \sum_{i=1}^n w_i \varepsilon_i \quad (14)$$

【0121】

再び、図7に戻って、続いて、得られた表情変化を、入力表情顔に対して与えることにより、未知人物の顔表情変形を推定する（ステップS210）。

【0122】

この顔表情変形ベクトル ε_0 の各列に対し、入力顔の線形結合係数 β を加えることによ

10

20

30

40

50

り、以下の式（１５）のように、列ごとに個々の表情に対応する線形結合係数 β_i を求めることができる。

【０１２３】

【数２０】

$$\beta_i = [b_1 + e_{1i} \quad b_2 + e_{2i} \quad \cdots \quad b_k + e_{ki}]^T \quad (15)$$

【０１２４】

この線形結合係数 β_i より、データベースから得た平均顔形状 μ_f と主成分 U_k とを用い、入力人物の推定表情の三次元形状を以下の式（１６）により求めることができる。

10

【０１２５】

【数２１】

$$f_{iu} = U_k \beta_i + \mu_f \quad (16)$$

【０１２６】

以上のようにして、推定された他の表情に対応する３次元顔形状を計算により導出することが可能である。

【０１２７】

図８は、推定対象の人物について、複数の表情に対応する顔形状を実際に３次元的に計測し、各表情について、３次元計測顔形状データを同一のメッシュトポロジへと変換した結果を示す図である。

20

【０１２８】

一方これに対して、図９は、推定対象の人物について、１つの所定の表情に対応する顔形状を３次元的に計測し、計測により得られた３次元計測顔形状データを同一のメッシュトポロジへと変換した上で、図８における各表情に対応する顔形状を上述した顔表情推定処理により推定した結果を示す図である。

【０１２９】

図８と図９を対比することにより、本発明のした顔表情推定処理によれば、あらかじめ複数の人物の各々について複数の表情に対して顔形状を計測し、主成分分析した結果を３次元顔形状データベースとして構築しておくことにより、この３次元顔形状データベースに登録されていない未知人物の顔形状についても、自動的にその人物らしい表情変形を推定することが可能である。

30

【０１３０】

なお、以上の説明では、推定の対象となるのは、未知の「人物」の顔形状であるものとしたが、本発明において、「人物の表情の推定」とは、必ずしも現実の人物の表情を推定する場合に限られず、本発明は、たとえば、現実の人物を基に作成された彫刻の表情や、人物を模して作成された３次元的な像やキャラクタの表情を推定することにも適用可能なものである。

【０１３１】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

40

【図面の簡単な説明】

【０１３２】

【図１】本発明の顔表情推定方法を実施するための顔表情推定装置１０００の一例を示す概念図である。

【図２】「複数の所定の顔表情」の一例を示す図である。

【図３】コンピュータ１００の構成をブロック図形式で示す図である。

50

【図４】３次元顔表情推定処理を行うための前処理である、顔形状データベースの構築の構築の手順を説明するためのフローチャートである。

【図５】同一のメッシュトポロジへの変換手続きを説明するための概念図である。

【図６】適合理化され登録される顔形状を表す行列Ｆを示す概念図である。

【図７】本発明の顔形状推定処理の流れを説明するためのフローチャートである。

【図８】推定対象の人物について、複数の表情に対し実測した３次元計測顔形状データを同一のメッシュトポロジへと変換した結果を示す図である。

【図９】推定対象の人物について、実測した１つの所定の表情に対応する３次元計測顔形状データに基づいて、各表情に対応する顔形状を推定した結果を示す図である。

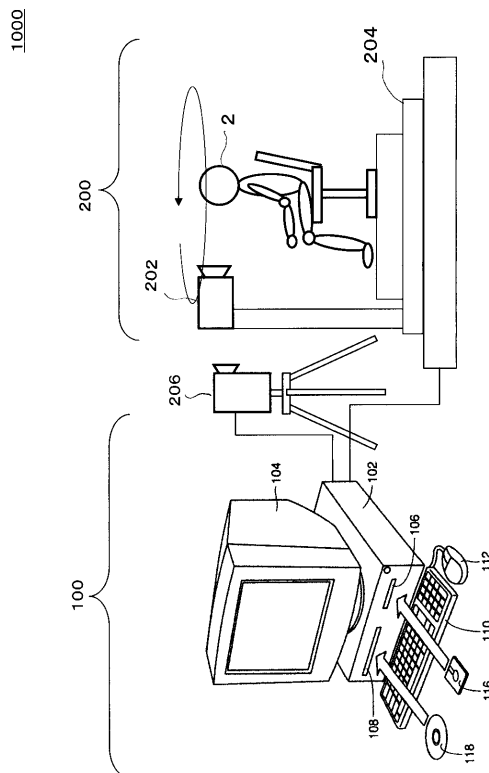
【符号の説明】

10

【０１３３】

１００ コンピュータ、１０２ コンピュータ本体、１０４ ディスプレイ、１０６ ＦＤドライブ、１０８ ＣＤ－ＲＯＭドライブ、１１０ キーボード、１１２ マウス、１１６ フレキシブルディスク、１１８ ＣＤ－ＲＯＭ、１２０ ＣＰＵ、１２２ メモリ、１２４ ハードディスク、１２８ 通信インタフェース、２００ ３次元レーザスキャナ、２０６ 非接触３次元デジタイザ、１０００ 顔表情推定装置。

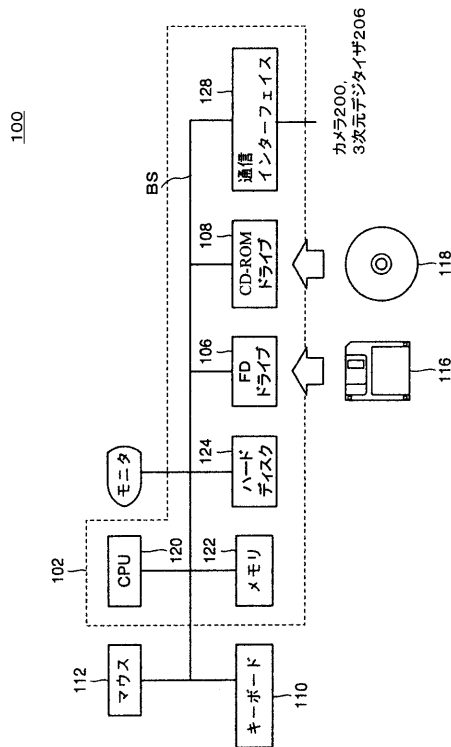
【図１】



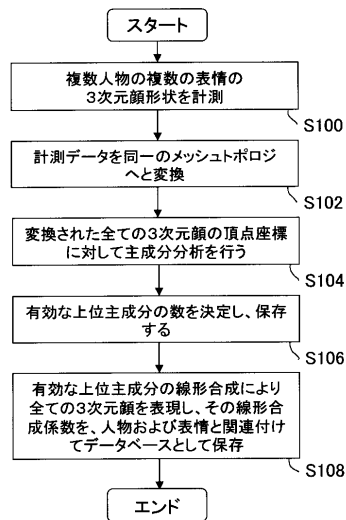
【図２】

分類(形状数)	表情の内容
無表情(2)	目を開けた表情／目を閉じた表情
基本口形状(7)	母音形状(/a,i,u,e,o/) 口を意識的に開けた表情／口を意識的に閉じた表情
追加口形状(10)	唇の突き出し(両唇／上唇／下唇) 歯を噛みしめ唇を開ける(両唇／上唇) 唇の両端を口腔内へ吸い込む 口を左にずらす(口の開閉) 口を右にずらす(口の開閉)
感情表情(9)	笑った表情(口の開閉)、怒り(口の開閉) 悲しみ、驚き、恐れ、嫌悪、軽蔑

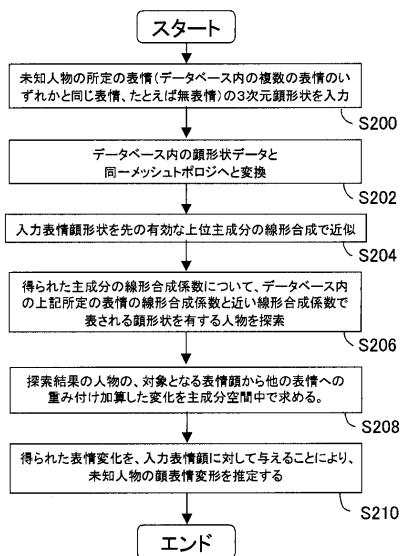
【図 3】



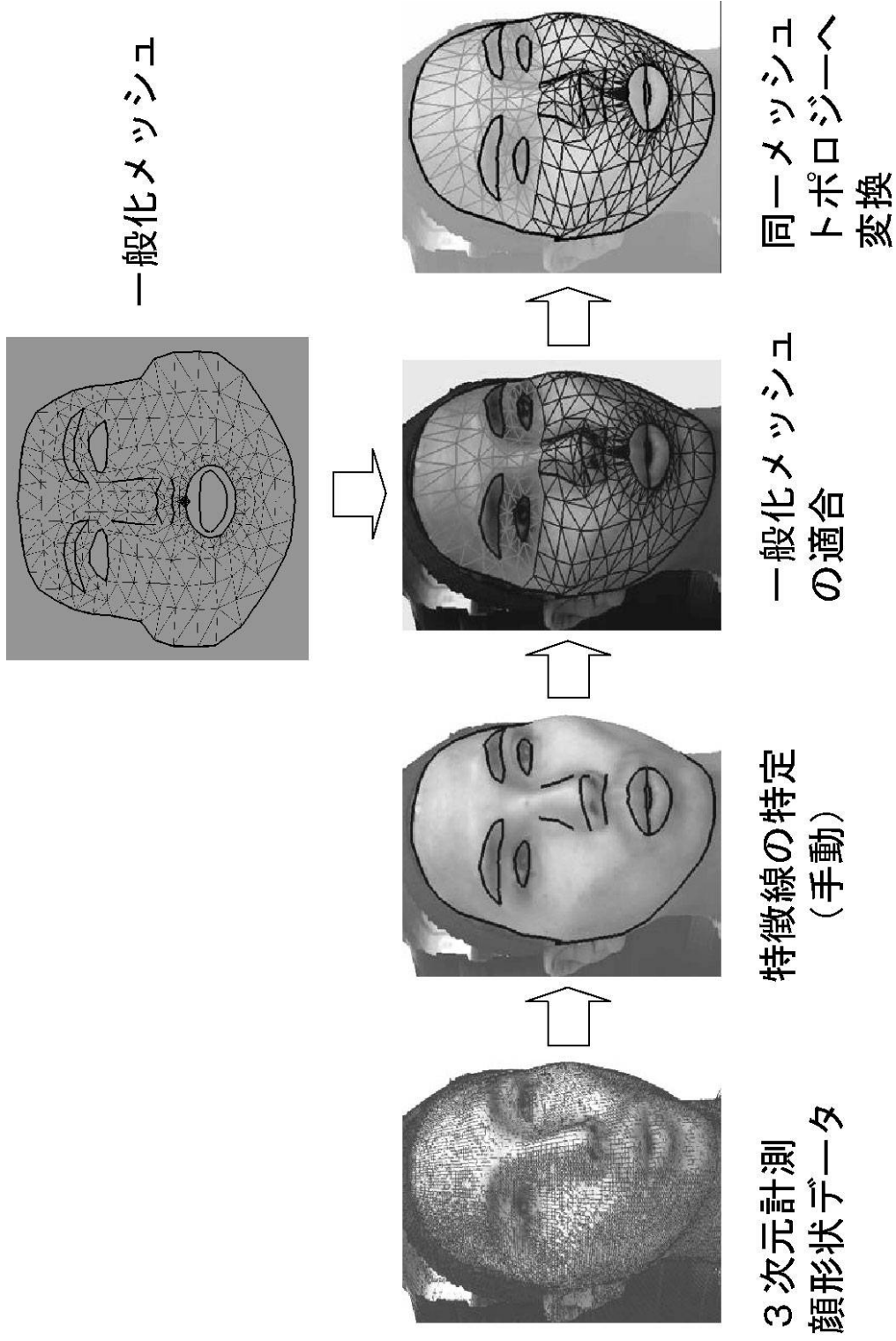
【図 4】



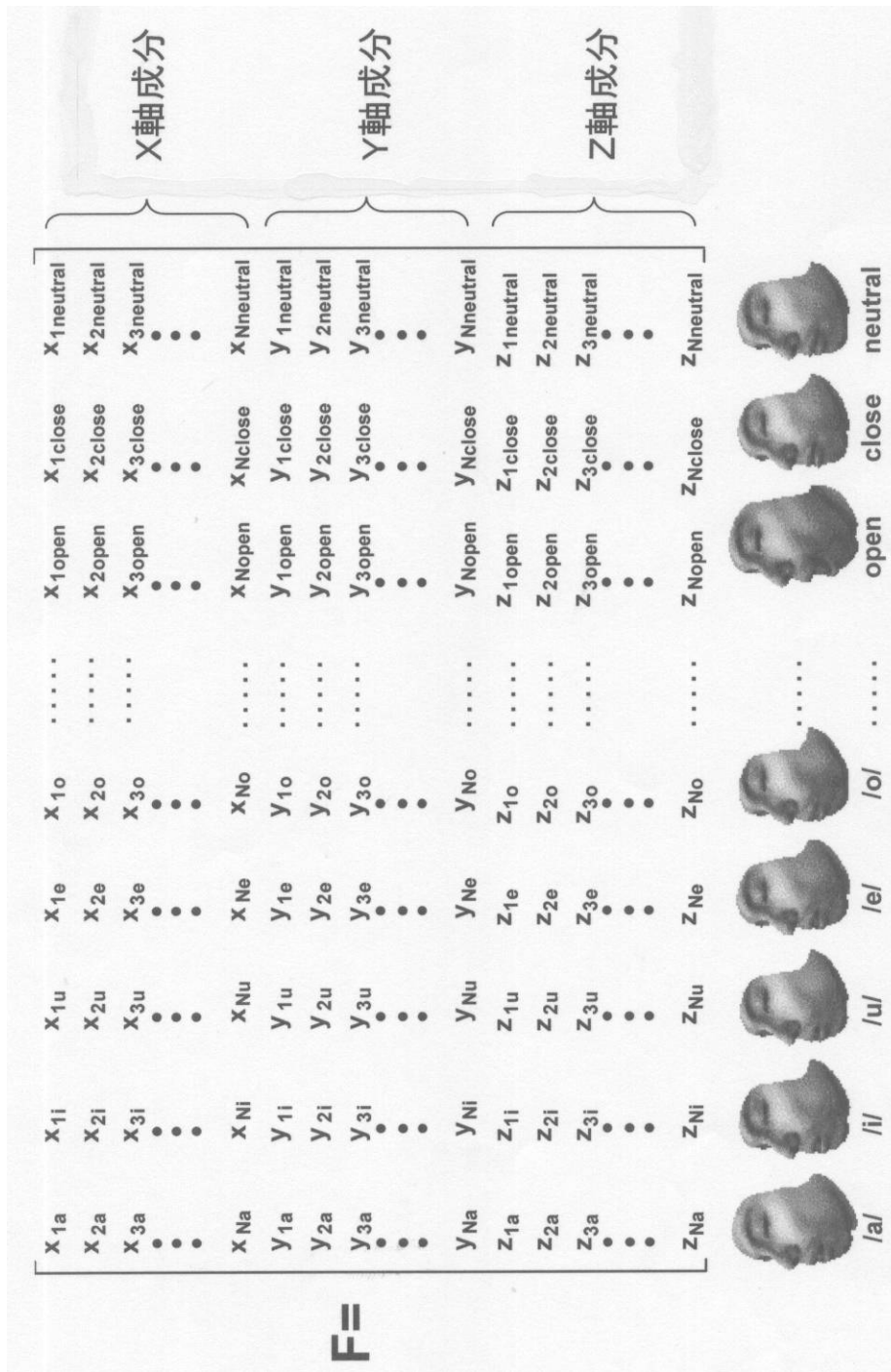
【図 7】



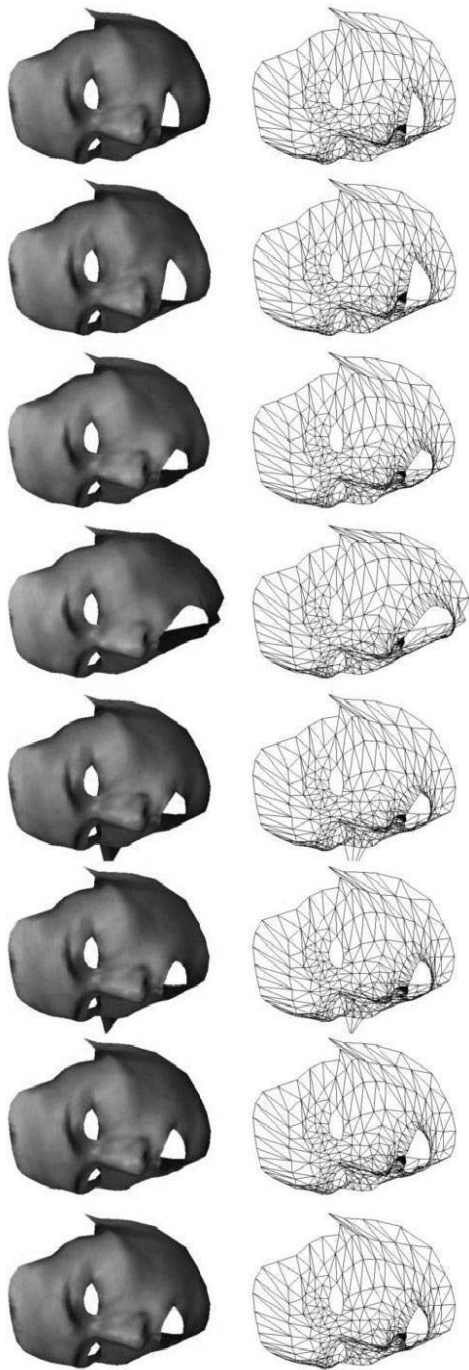
【図 5】



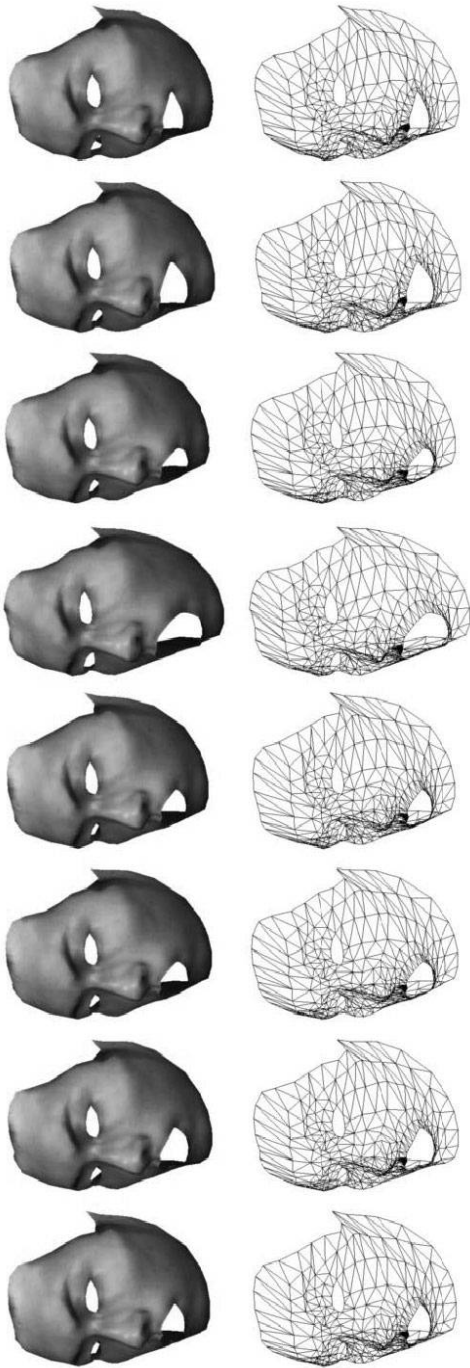
【図6】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 倉立 尚明

京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 田中 幸雄

(56)参考文献 特開平10-091808 (JP, A)

倉立尚明ほか, Facial Motion Mappingによる発話顔アニメーションの分析合成, 画像電子学会誌, 日本, 画像電子学会, 2003年 7月25日, 第32巻 第4号, 355-368頁

高雷ほか, 実写画像に基づいた発話による口の動きを持つ顔画像生成, 電子情報通信学会技術研究報告, 日本, 社団法人電子情報通信学会, 1997年11月21日, Vol. 97 No. 387, 41-46頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 15/70

G06T 1/00