

顔表面からの法線を用いた顔表情認識 Facial expression recognition using normal lines from facial surface

伊森 宏樹[†]
Hiroki Imori

長谷 博行[†]
Hiroyuki Hase

東海 彰吾[†]
Shogo Toukai

1. まえがき

顔表情の認識や顔による個人同定の研究は過去にも盛んに研究されてきた。表情認識の研究には2次元データと3次元データを利用するアプローチがある。2次元データは取得が用意であるが、特徴として顔部品を利用するか、パターンとして利用する方法が主流である。また、3次元データを使った方法は、解析・認識に有効な特徴はこれまで提案されていなかった。

本研究では、3次元データを用いて表情筋や骨の動きを数量化するために効果的な方法を考える。つまり、頬などの3次元的な動きを2次元空間上に写像し、この空間上で数量化を行うことでその人の表情が喜怒哀楽などの感情を示しているかを認識する。以下では、この2次元空間を顔平面[1]と呼ぶことにする。

2. 顔平面の概念

顔平面は頭部を横切る仮想平面である。その概念は、3次元データで取得した顔の表面を微小領域に分割し、その微小平面上の法線を求める。図1に示すように頭部は楕球形をしているため、法線群はある場所において集束する。次に頭内部に仮想的な平面を想定すると、平面上には法線が交わる点の分布が生じる。この点の広がり仮想平面の位置や傾きに依存し、法線の集束位置に平面を仮定すると顔との相対位置が固定できると考えられる。この仮想平面を顔平面と呼ぶことにする。顔平面により、表情筋の3次元の変化を2次元に落すことが可能になり、次元の削減とともに変動の数量化を容易にする利点がある。

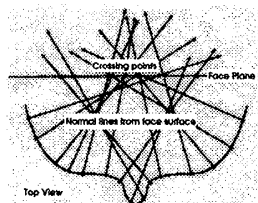


図1: 顔平面の概念

3. 顔平面の導出方法

レンジファインダにより観測された3次元データを $\vec{p}_i$ ($i=1, \dots, N$) とする。レンジファインダの光軸をZ軸にする。また、X、Y軸はそれぞれ水平、垂直軸であり、X-Y平面はZ軸に垂直である。X、Y、Z軸は右ねじの関係とする。

ここでは、顔表面上の点 $\vec{p}_i$ を通る規格化された法線ベクトルを $\vec{f}_i$ とする。

今、ある点 $\vec{P}$ から点 $\vec{p}_i$ を通る法線ベクトル上に降ろした垂線の長さ d_i は式(1)で表す事ができる。

$$\begin{aligned} d_i^2 &= \|\vec{P} - \vec{p}_i\|^2 - (\vec{P} - \vec{p}_i, \vec{f}_i)^2 \\ &= (\vec{P} - \vec{p}_i)^t (E - \vec{f}_i \vec{f}_i^t) (\vec{P} - \vec{p}_i) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 E は 3×3 の単位行列、 $(\cdot, \cdot)$ は内積、 $(\cdot)^t$ は転置を表す。次に、垂線の長さの二乗和が最小になる点 $\vec{P}$ を求める。これは $Q = \sum_{i=1}^N d_i^2$ を $\vec{P}$ に関して微分することにより求めることができる。

$$\frac{dQ}{d\vec{P}} = 2\Sigma(E - \vec{f}_i \vec{f}_i^t)(\vec{P} - \vec{p}_i) = 0 \quad (2)$$

この式を解くと、式(3)が得られる。

$$\vec{P} = \{\Sigma(E - \vec{f}_i \vec{f}_i^t)\}^{-1} \cdot \Sigma(E - \vec{f}_i \vec{f}_i^t) \vec{p}_i \quad (3)$$

仮想平面はこの点 $\vec{P}$ を通るように考える。後は仮想平面の方向を決定すればよい。今、仮想平面の法線ベクトルを $\vec{n}$ とすると、式(4)を最大にする $\vec{n}$ を持つ仮想平面は、顔微小平面上の法線群との角度が最も直角に近くなると予想される。この平面を顔平面と呼ぶことにする。

$$S = \Sigma(\vec{f}_i, \vec{n})^2 = \vec{n}^t (\Sigma \vec{f}_i \vec{f}_i^t) \vec{n} \quad (4)$$

これは固有値問題に帰着し、 $\vec{n}^t \vec{n} = 1$ の条件下で固有方程式を解くことにより3組の固有値と固有ベクトルを得る。固有値は実数となり、これらを $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ とし、対応する固有ベクトルを ψ_1, ψ_2, ψ_3 とすると、距離最小基準で求める仮想平面の法線ベクトル $\vec{n}$ は ψ_1 とすればよい。本研究ではハウスホルダー法を用いてこの固有方程式を解き $\vec{n}$ を得た。

次に、仮想平面の方程式を示す。今、仮想平面上の任意の点を $\vec{Q} = (q_x, q_y, q_z)$ として、 $\vec{n}$ と $\vec{Q} - \vec{P}$ の内積をとると、式(5)を満たす。

$$\vec{n} \cdot (\vec{Q} - \vec{P}) = 0 \quad (5)$$

この式を展開し整理すると式(6)を得る。

$$\frac{n_x}{n_z} q_x + \frac{n_y}{n_z} q_y + q_z - \frac{1}{n_z} (n_x p_x + n_y p_y + n_z p_z) = 0 \quad (6)$$

ただし、 $\vec{n} = (n_x, n_y, n_z)^t$, $\vec{P} = (p_x, p_y, p_z)^t$ である。

式(6)で $A = \frac{n_x}{n_z}$, $B = \frac{n_y}{n_z}$, $D = -\frac{1}{n_z} (n_x p_x + n_y p_y + n_z p_z)$ とおくと、これらA、B、Dが平面の方程式のパラメータとなる。

4. 顔平面の導出実験

4.1 データの取得

計測機器にレーザー光による非接触型レンジファインダ(ミノルタ VIVID700)を用いて顔の立体形状の計測を行う。この装置は三角測量の原理で対象までの距離が計測でき、分解能は測定物までの距離などに依存するが、もっとも良い条件では奥行き方向におよそ0.3mmであり、出力画素数は 200×200 である。一枚の距離画像を

[†] 福井大学工学部 情報・メディア工学科

得るのにおよそ0.6秒かかる。一画素はx、y、z座標(単位:mm)とカラーデータをもつ。被験者にはカメラから1.5m程度離れた場所で、カメラ方向を向いてもらい、撮影する。まず、Z方向に対し平均値フィルタを施し、後の処理にはフィルタを施したデータを使用することにする。また、顔表面の微小領域は、注目画素の右隣の画素と真下の画素の3つの有効画素から構成して法線ベクトルを計算した。

4.2 顔平面による顔領域の定義

顔平面を導出する際、最初に生成される顔平面は、顔表面にほぼ平行で、その位置は顔表面と耳の間に生成される傾向があることが実験により確認されている。そこで、導出された顔平面の後方のデータを除去し、前方にあるデータのみを有効データとして再度顔平面を導出する。すると次に導出される顔平面の位置は若干変わるが、この処理を数回行くと顔平面はほぼ安定した位置に定まり、平面の位置は固定される。このように、顔平面より前面のデータを顔領域と定義する。

距離最小基準による方法は、解析的に解が求まり、決定的に顔平面を導出することができる。90データに対して導出実験し、結果として100%の成功率を得た。図2に顔平面の繰り返し導出過程の1回目、3回目、5回目の結果を示す。図2の3回目と5回目の画像を比較すると平面の位置にほとんど変化がないことが分かる。図3に繰り返し毎の平面パラメータA、B、Dを示す。この実験により、ほぼ1、2回で定常となることがわかった。

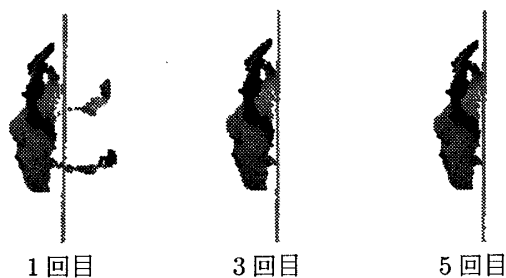


図2: 繰り返し導出過程

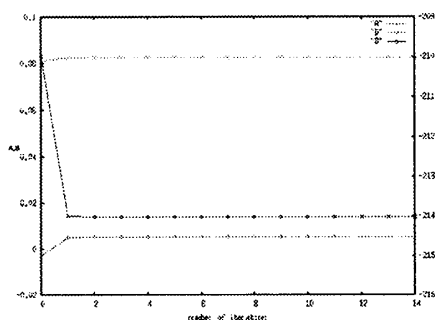


図3: 係数A、B、Dの変化

5. 表情認識

5.1 認識方法

本研究では、平常顔と笑顔の2種類の表情を用いる。まず、顔表面の微小平面上の法線と顔平面上との交点を

求める。そして、求めた交点を中心として一定の範囲を顔平面上に指定する。その範囲での法線の密度を計算する。さらに、特徴点として2種類の表情において変化があると見られる両目の下(1,2)、頬(3,4)、鼻の両付け根(5,6)、口の下(7,8)、顎(9)の9箇所を指定する(図4)。その9箇所を特定する基準として比較的表情的変化に影響されない、右目尻、左目尻、鼻の頂点を手動で選んだ。さらに、9箇所から得られた密度を正規化して9次元ベクトルとした。それらを使って判別分析を行うことで表情の認識を試みた。



図4: 計測箇所9点の表示

5.2 認識実験

表情が平常顔か笑顔であるかを判別する方法として判別分析法を用いる。ここではどのグループに属するかの判別の基準としてマハラノビスの距離を利用する。

認識実験は平常顔、笑顔それぞれ26データを用い、Leave-one-out法で行った。すなわち、26データの内の25データで学習し、1つの未知データで認識を行った。これを26データそれぞれを未知データとして26回繰り返した。

5.3 実験結果

認識実験により得られた結果を表1に示す。学習データ数は未知データ数に比べて非常に多いが、これはLeave-one-out法で25データ×26回の認識実験を行ったためである。結果より、全て正しく認識できていることがわかる。

表1: 認識結果

	学習データ		未知データ	
	正認識数	誤認識数	正認識数	誤認識数
平常顔	650/650	0/650	26/26	0/26
笑顔	650/650	0/650	26/26	0/26

6. まとめ

本研究では、平常顔と笑顔の認識に100%成功したが、今後は、現在利用している計測箇所の位置と数が適切かどうかを検討する必要がある。また、今回扱った表情は平常顔と笑顔だけであったが、表情は基本6感情と呼ばれる、驚き、恐怖、嫌悪、怒り、喜び、悲しみに分類されるのが一般的であり、今後はこれらの表情についても順次実験を行い、研究を進めていきたい。

参考文献

- [1] 長谷博行, 根岸秀行, 東海彰吾, 酒井充, 米田政明: "顔平面を用いた顔表情解析", 第20回センシングフォーラム, 1C2-2, 277-282, 2003.