

顔器官の輪郭情報を用いた経年変化にロバストな 認証システムの一検討

中井宏紀^{†1} 平井辰典 前島謙宣 森島繁生

顔認証において、同一の被写体であっても顔の外見に経年変化が生じる場合は認証精度が低下するという問題がある。本稿では、経年変化が生じても見た目に大きな変化を及ぼさない顔器官(目・鼻・口等)の輪郭情報を特徴量にすることで経年変化を含む顔認証の精度向上を目指す。具体的には、顔の幾何学特徴として先行研究と同様に顔グラフを、テクスチャ特徴として顔特徴点周辺の Histogram of Oriented Gradient(HOG)特徴量を認証に用いた。結果として、公開顔画像データベースである FG-NET Aging Database を用いた認証実験により、先行研究を上回る認証精度を示し、本手法の有効性を確認した。

A Study of Age-Invariant Face Authentication Based on the Edge of a Face Parts

HIROKI NAKAI^{†1} TATSUNORI HIRAI
AKINOBU MAEJIMA SHIGEO MORISHIMA

Face authentication accuracy falls by change of the face appearance due to aging. In this paper, we propose an age-invariant face authentication system which uses the edge of face parts to improve the face authentication accuracy for the image database with age variation. Specifically, we use face image graph as geometry feature and Histogram of Oriented Gradient (HOG) in the neighborhood of feature points as texture feature. As a result, for public facial aging database: FG-NET, we confirmed the effectiveness of proposed method through the evaluation experiment.

1. はじめに

セキュリティ強化を目的として、生体情報を用いた認証技術が注目されている。その中でも生体情報が比較的入手しやすい顔認証は、犯罪捜査支援や行方不明者捜索支援への応用が可能であり、特に重要な技術であると考えられる。しかし、顔認証は顔の表情や姿勢、照明、経年変化といった変動に影響を受けやすいという問題がある。その中でも、経年による顔の変化は予測が非常に困難であるため、特に難しい課題とされている。

実用化されている一般的な顔認証システムは、認証の度にシステムに登録していく情報を自動更新することで経年変化に対応している。しかしながら、人物検索支援等の自動更新が不可能な場合には適用できない。

経年変化に対応した顔認証の代表的な手法として、幾何学的特徴に基づく手法や、顔画像そのものをパターンとして扱うパターン認識に基づく手法が挙げられる。

幾何学的特徴に基づく手法として先行研究である原田らは、顔の特徴点から得られる顔パーツ間の距離を顔グラフ特徴量と定義し、認証に用いる特徴量とした[1]。そして、年齢と相関があり、経年変化に応じて一定の割合で変化する特徴量に対して、変化の影響を軽減するような補正を行うことで経年変化に対応した。しかし、経年変化と年齢の

相関を算出する際に、各年齢の特徴量の平均を用いていることに加え、経年変化を線形補間で近似していたため、個人の経年変化を反映できていないと言える。また、顔グラフは 27 点の特徴点からなる 66 次元の特徴量であり、66 次元のみで顔の個人性を表現するには不十分であると考えられる。

パターン認識に基づく手法として Park らは、固有顔に基づく経年変化顔生成手法を提案している[2]。具体的には、顔の形状とテクスチャ双方の老化パターンの固有空間を生成し、入力顔に対する適当な老化パターンを固有ベクトルの線形結合で表現した。そして、生成した顔画像群を商用の顔認識システムである Face VACS を用いて認証した。この手法は入力画像の人物が既知でかつ複数枚ある場合には適切な老化パターンをシミュレーションすることができるが、入力顔の人物が未知の場合には入力顔に最も近い顔の老化パターンが選択されてしまう。これは顔の類似度と老化パターンの類似度に相関があれば有用であるが、実際には顔のみから老化パターンが決定されるのではなく、生活習慣等の様々な要因により老化パターンは大きく変化するため、実際に年齢変化を予測することは非常に難しい。従って、適切な経年変化シミュレーションがなされているとは言い難い。

関連研究では経年変化に応じた特徴量の補正や、経年変化顔のシミュレーションを用いた顔認証を行っている。しかし、先ほど述べたように個人の実際の経年変化の予測は

^{†1} 早稲田大学
Waseda University, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan
cha-so.1004@akane.waseda.jp

非常に難しいと言える。そこで、本研究では経年変化にロバストな顔認証システムの構築をモチベーションに、経年変化しても大きく変化しない特徴量を抽出し、その特徴量を認証に用いることで高精度な顔認証を実現することを研究目的とする。この目的を達成するためには、あらかじめ経年変化に影響を受けにくい特徴量を検討する必要がある。

真覚らは、人が「元の顔」と「成長した顔」の同一性、非同一性をどこで判断するかという知覚実験を行い、特に眉、目、鼻や口といった顔の器官を重視していると述べている[3]。また、経験的にもこれらの顔の器官は年齢によって大きく変化しないことが分かる。以上のことから、経年変化に影響を受けにくい顔器官の見えを顔器官の形状に起因するものとし、顔器官の形状を特徴量に用いることで、経年変化に対応した個人識別手法を提案する。

2. 特徴量の抽出

本研究では、個人識別に有効な特徴量として顔のテクスチャ特徴と幾何学特徴から特徴量を得る。具体的には、テクスチャ特徴として顔特徴点周辺の Histogram of Oriented Gradient(HOG)特徴量を用い[4]、幾何学特徴として先行研究と同様に顔グラフを用いた。特徴量抽出の流れを図1に示す。



図1 特徴量抽出の流れ

2.1 特徴点検出

本研究では、顔の器官(眉・目・鼻・口等)に対して検出した33点の特徴点を使用する。特徴点検出には Irie らの手法を用いた[5]。Irie らは顔の特徴点表現を顔器官と顔の輪郭を含む40点で定義しているが、顔の輪郭は肥満・瘦身の影響で短期的に変動するため、本手法では輪郭を除いた33点の特徴点に限定した。顔画像に検出された特徴点を配置した例を図2に示す。

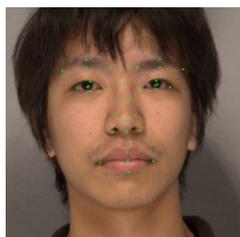


図2 特徴点付与画像

2.2 顔画像の正規化

それぞれの顔画像は異なる環境下で撮影されたものであり、顔の大きさや位置、顔向き等が異なる。そこで、全ての顔画像から出来るだけ同じような条件の下で特徴量を抽出する為に、以下の手順で顔画像の正規化を行った。正規化の流れを図3に示す。

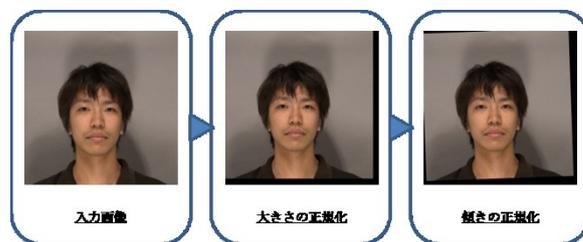


図3 顔画像正規化の流れ

2.2.1 大きさの正規化

大きさの正規化に先立ち、あらかじめ画像データベースから両目内側の特徴点間距離を算出する。撮影環境が統一された顔画像群を含むデータベースについて、各年齢における両目内側の特徴点間距離の平均値 P を縦軸に、年齢 x を横軸にプロットしたグラフをとり、関数フィッティングを行う。フィッティングにはカージョイド曲線、 n 次関数 ($n = 2, 3, 4, 5$) 用いた結果、最も適当であった5次関数を採用した。また、関数式は以下の式(2.1)のようになった。

$$P = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f \quad (2.1)$$

$$a = 1.61 \times 10^7, \quad b = -3.86 \times 10^5, \quad c = 3.56 \times 10^3$$

$$d = -1.56 \times 10^1, \quad e = 3.06, \quad f = 62.4$$

また、算出したグラフとフィッティングした関数を図4に示す。

図4に示したグラフに従い、年齢毎の両目内側の特徴点間距離によって顔画像の大きさを正規化する。この処理により、全ての画像において、両目内側の特徴点間距離が一定の基準で統一される。

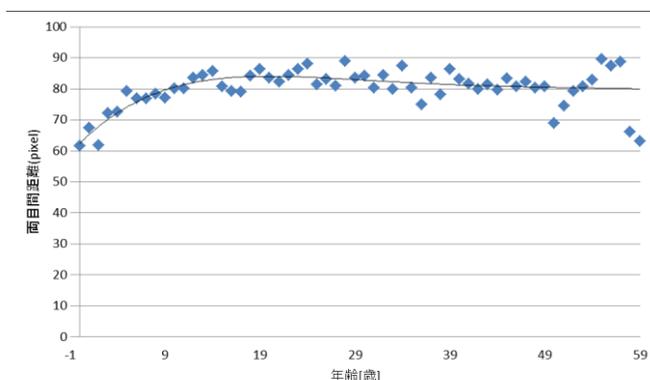


図4 年齢毎の平均両目内側の特徴点間距離

2.2.2 傾きの正規化

両目内側の特徴点を結んだ直線が水平となるように画像を回転する。画像の傾きを正規化した画像を図5に示す。



図5 傾きの正規化

2.3 特徴量の算出

本節では、使用する顔特徴点周辺の HOG 特徴量及び、顔グラフ特徴量について述べる。

2.3.1 特徴点周辺の HOG 特徴量

1章で述べたように、真覚らの研究から顔器官(眉、目、鼻、口等)は同一性や非同一性を判断する上で重要である[3].

本研究では、そのような顔器官周辺のテクスチャ情報を表す特徴量として、顔の特徴点周辺の HOG 特徴量を用いた[4]. HOG 特徴量はセルにおける輝度の勾配方向と勾配強度をヒストグラム化した特徴量であり、顔器官の輪郭形状を表す。

特徴点周辺の HOG 特徴量の算出には、検出した 33 点の特徴点を使用する。

まず、33 点の特徴点の周辺 30×30 [pixel] に対して、式(2.2)~(2.4)に従い、座標 (u, v) における輝度 $I(u, v)$ の勾配強度 $m(u, v)$ と勾配方向 $\theta(u, v)$ を算出する。

$$\begin{cases} f_u(u, v) = I(u, v) - I(u - 1, v) \\ f_v(u, v) = I(u, v) - I(u, v - 1) \end{cases} \quad (2.2)$$

$$m(u, v) = \sqrt{f_u(u, v)^2 + f_v(u, v)^2} \quad (2.3)$$

$$\theta(u, v) = \tan^{-1} \frac{f_v(u, v)}{f_u(u, v)} \quad (2.4)$$

算出された勾配強度 $m(u, v)$ と勾配方向 $\theta(u, v)$ を用いて勾配方向ヒストグラムを作成する。輝度の勾配方向ヒストグラムは、勾配方向を $0 \sim 180$ 度の範囲で 15 度ずつ分割し、分割された 12 方向に対して、導出した勾配強度 $m(u, v)$ を投票することで算出する。最後に、求めた HOG 特徴量をベクトル化することでヒストグラム強度 h_{ij} を算出する。特徴点周辺の HOG 特徴量の算出例を図6に示す。

ここで、まぶたの上下、上唇の下側、下唇の上側の特徴点は、目や口の開閉等の表情変動による輝度勾配の変化が起こる。そこで、表情変化に対応するために、まぶたの上

側と下唇の上側の特徴点はセルの範囲を上領域のみに、まぶたの下側と上唇の下側の特徴点はセルの範囲を下領域のみに限定して特徴量抽出を行う。

さらに、照明変動における輝度勾配の影響を軽減するために算出された HOG 特徴量に対して正規化を行う。 i 番目の特徴点の j 番目のヒストグラム強度 h_{ij} を式(2.5)に従い正規化する。

$$h_{ij} = \frac{h_{ij}}{\sum_j h_{ij}} \quad (2.5)$$

この処理により、1つの特徴点周りの HOG 特徴量の大きさが 1 に正規化される。

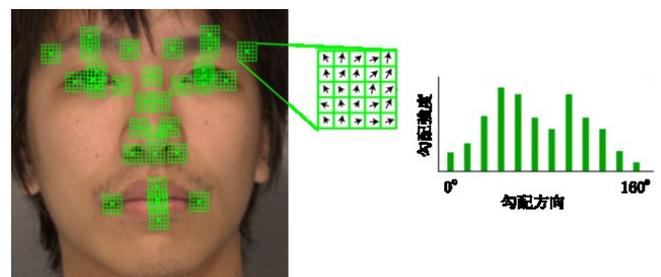


図6 特徴点周辺の HOG 特徴量の算出例

2.3.2 顔グラフ特徴量

顔の各部位(目・口等)の大きさや位置関係は個人によって異なるため、顔の各部位のもつ幾何学的な特徴は個人を識別するうえで非常に重要な情報だと考えられる[1][6].

そこで、顔の形状情報を表す特徴量として、顔グラフ特徴量を用いた。顔グラフ特徴量とは、各特徴量を結んだ直線の長さのことを指し、顔の各部位の情報および部位同士の相対的な関係性を表す[1][7].

顔グラフ特徴量の算出には、原田らの用いた特徴点から短期的に変化する特徴(肥満・痩身)である顔の輪郭点を除いた 20 点の特徴点から顔グラフを構成する。顔グラフの構成に用いた特徴点を図7に示す。

次に、隣接する 2 つの特徴点を結ぶ直線の距離を 1 つの特徴量とし、40 次元の特徴ベクトル F を作成する。 i 番目の特徴量を f_i と表すと、特徴ベクトル F は式(2.6)のように表される。顔グラフを図8に示す。

$$F = (f_0, f_1, \dots, f_{39}) \quad (2.6)$$

ここで、先ほど算出された HOG 特徴量と距離尺度を統一するために、HOG 特徴量と顔グラフ特徴量の合計が等しくなるように正規化を行う。



図7 顔グラフ算出に用いる特徴点

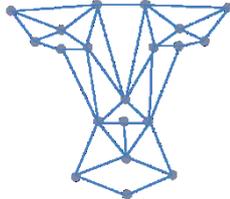


図8 顔グラフ

3. 評価実験

本章では、犯罪者捜索支援システムを想定し、成年時に撮影された画像から現在の本人の画像を特定するという評価実験を行った。本手法の有用性の評価には、同一人物の長年に渡る画像を収集し、同一人物で複数の年齢の画像を包含している公開顔画像データベースである FG-NET Aging Database[8]を用いる。ただし、犯罪者捜索支援システムを想定しているため、18歳以上の正面を向いた画像に限定して評価を行った。なお、18歳以上の正面を向いた画像は82人の人物からなる全291枚となった。

FG-NET Aging Databaseの画像例を図8に示す。

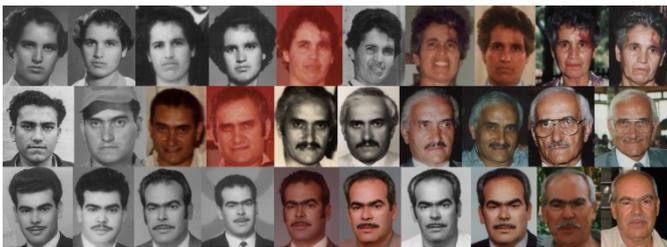


図8 FG-NET Aging Databaseの画像例

3.1 評価方法

評価に用いる尺度として、入力画像の特徴量と登録データの特徴量の距離を算出する必要がある。入力データ I 、登録データ R における距離 $D(R, I)$ を顔グラフ特徴量に基づく距離 $d(R, I)$ と HOG 特徴量に基づく距離 $h(R, I)$ の重み付き線形和から算出する。 α 、 β は各項に対する重み計数として、各距離を式(3.1)~(3.3)からそれぞれ算出する。

ここで f_i^I 、 f_i^R はそれぞれ入力データ I と登録データ R における i 番目の特徴点の顔グラフ特徴量であり、 h_{ij}^I 、 h_{ij}^R はそれぞれ入力データ I と登録データ R における i 番目の

$$D(R, I) = \alpha d(R, I) + \beta h(R, I) \quad (3.1)$$

$$d(R, I) = \sqrt{\sum_i (f_i^R - f_i^I)^2} \quad (3.2)$$

$$h(R, I) = \sqrt{\sum_i (h_{ij}^R - h_{ij}^I)^2} \quad (3.3)$$

特徴点の j 番目のヒストグラム強度である。算出した距離に基づき、昇順に順位付けを行う。

3.2 評価実験

評価実験を行うにあたり、入力データ(以下、probe)と比較するデータを含む画像群(以下、gallery)を年代毎に作成する必要がある。まずこのための gallery を作成する。probe と gallery の概念図を図9に示す。

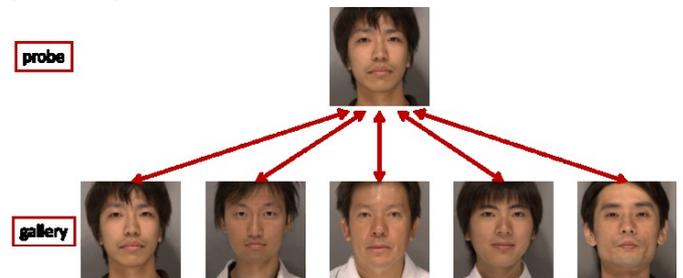


図9 probe と gallery の概念図

3.2.1 gallery の作成

82人291枚の FG-NET Aging Database の画像を年代毎に振り分ける。この時、振り分ける年代は20歳から5歳刻みに60歳までとし、各年代の gallery の中には必ず82人の人物が存在するように設定する。もし、gallery 内に82人の画像が存在しない場合には、Morph database[9]から人物を補充し、強制的に82人になるように調節する。これにより gallery を作成する。各年代の gallery の作成を図10に示す。

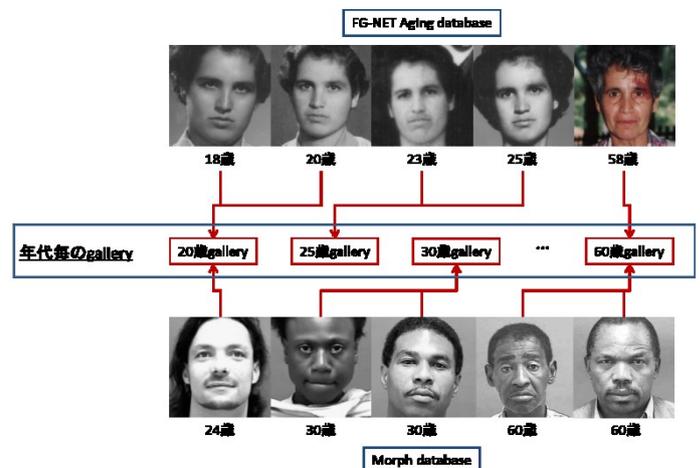


図10 年代毎の gallery 作成

3.2.2 評価実験の手順

図 11 に評価実験のフローチャートを示す。以下に各手順の詳細を示す。

- ① 最初に, 291 枚の FG-NET Aging Database の画像群から probe として画像を 1 枚選択する。
- ② 次に, probe の人物の年齢 a を取得し, $a+x$ 歳の gallery の画像群と照合する. x の初期値は 5 とする. 照合では距離 $D(R, I)$ を算出し, 昇順に順位付けを行う. この時 gallery に同じ人物が複数人いた場合, 同じ人物の順位の平均を算出し, 新たに昇順に順位付けを行う。
- ③ $x=30$ でなかった場合, x に 5 を加え, ②の工程を $x=30$ になるまで繰り返す. つまり, +5 歳から 5 歳刻みに $a+30$ 歳までの gallery と照合するまで繰り返す. $x=30$ のとき, ④へ進む。
- ④ probe として FG-NET Aging Database にある 291 枚全てが選択されるまで①~③を繰り返す. 全て選択したら, 評価実験を終了する。

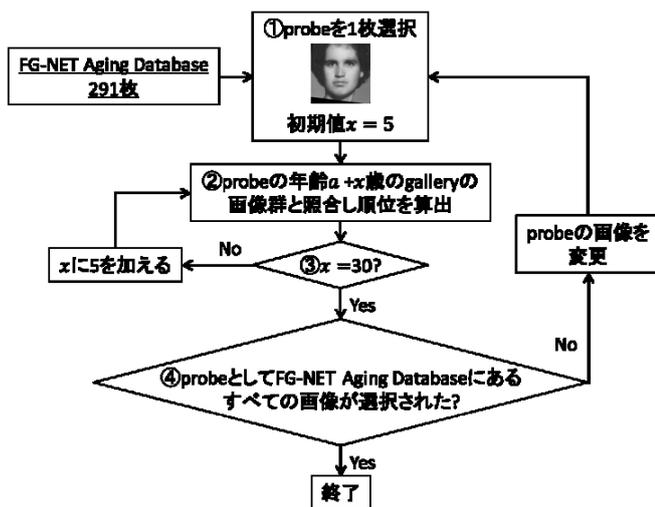


図 11 評価実験のフローチャート

3.2.3 結果

前節で算出した順位を照合回数で割った値を認証率とし, 1 位から 10 位までの認証率の累積を縦軸, 順位を横軸にプロットしたグラフを図 12 に示す。

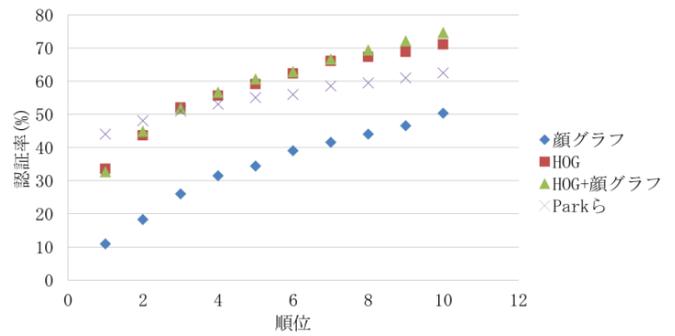


図 12 実験結果

3.3 考察

図 12 から 1 位においては Park らの手法に劣っているが, 3 位でほぼ同等, それ以降では上回っていることが分かる. 行方不明者捜索支援システムを考えた際, 認証率が 60% 以上になるためには Park らの手法では 9 位までの画像を確認する必要があるが, 本手法では 6 人までを確認すれば十分であるということが言える. 従って, 本研究で用いた特徴量が経年変化に伴う顔認証において有効であることが分かる. しかし, 特徴点周辺の HOG 特徴量は顔器官の輪廓形状を反映しているため, 成人までの顔の見えが大きく変化する世代(18 歳未満)には適用できないものと考えられる.

4. おわりに

本研究では, 目や口等の顔器官の輪廓情報を特徴点周辺の HOG 特徴量で記述し, 認証に用いた. これにより, 特徴量の補正や経年変化顔モデルを生成することなく関連研究と同程度の認証精度を実現した. また, 先行研究の顔グラフ特徴量を併用することにより認証精度の向上を確認した.

今後の課題として個人認証の認証率低下の原因であるキャストシャドウの除去, 顔向き補正, 画像間の画質の正規化が考えられる. また, 各個人の経年変化の違いを考慮した認証方法を検討していく予定である.

謝辞

本研究は, 文部科学省の科学戦略推進費による「安心・安全な社会のための犯罪・テロ対策技術等を実用化するプログラム」の一環として実施されました。

参考文献

- 1) 原田健希, 田副佑典, 前島謙宣, 森島繁生: “特徴量の経年変化解析に基づく個人識別手法の検討”画像の認識・理解シンポジウム, Poster, IS2-41, July, 2011.
- 2) U.Park, Y.Tong, A.K.Jain : “Aging-Invariant Face Recognition”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.32, No.5, MAY 2010.
- 3) 真覚健: “成長に伴う顔の構造的変化に対する顔認知の頑健性について”電気情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理 99(186), 31-36, 1999-07-16
- 4) N.Dalal, B.Triggs : “Histograms of oriented gradients for human detection”Proc. of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 886-893, 2005.
- 5) A.Irie, M.Takagiwa, K.Moriyama T.Yamashita : “Improvements to Facial Contour Detection by Hierarchical Fitting and Regression” The First Asian Conference on Pattern Recognition, Oral, pp.273-277 ,2011.
- 6) 萩原栄一, 増田功: “パターンマッチングを主体にした顔画像による個人 ID”信学技報, 88-46, 1988.
- 7) L.Wiskott, J.M.Fellous, N.Kruger, and C.vonder Malsburg : “Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching”IEEE Trans. PAMI, Vol.19, No.7, pp.775-779, 1997.
- 8) “FG-NET Aging Database”<http://www.fgnet.rsunit.com>, 2010.
- 9) K.J Ricanek and T. Tesafaye : “Morph: A Longitudinal Image Database of Normal Adult Age-Progression”Proc. Int’l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, pp.341-345, 2006.