
局所特徴記述子を用いた
バイOMETRICS認証の検討
A Study on Biometric Authentication
Using Local Feature Descriptor

伊藤 康一, 青山 章一郎, 青木 孝文
Koichi Ito, Shoichiro Aoyama and Takafumi Aoki
東北大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences,
Tohoku University

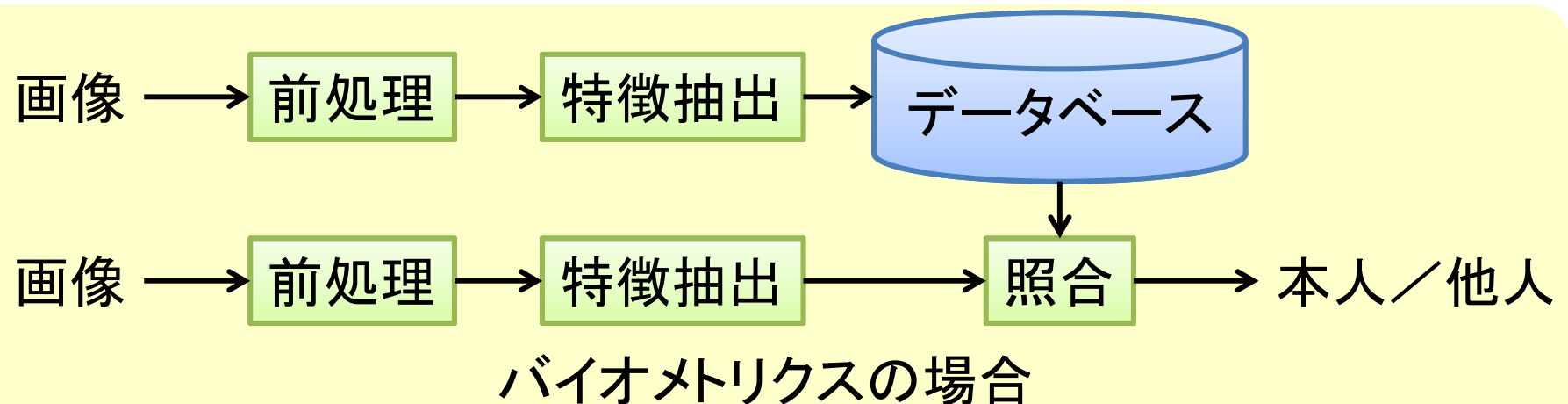
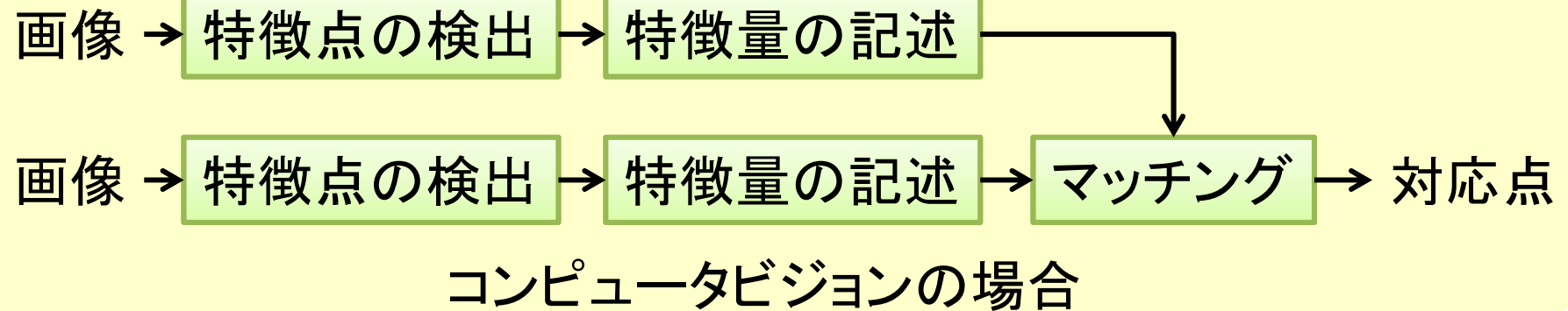
- コンピュータビジョンの分野で盛んに研究されている局所特徴記述子をバイオメトリクスでも使ってみる
 - コンピュータビジョンの分野では、ソースコードやスクリプトを公開している場合が多い
 - 誰でも気軽に照合アルゴリズムを作ることができる
 - セキュリティの分野の方々にコンピュータビジョンで使われている手法を紹介したい
- セキュリティシステムへの応用が期待できる
 - 符号化された特徴量であるため、鍵などの代わりとして使えるかもしれない

- 局所特徴記述子とは？
- 局所特徴記述子を用いた照合システム
 - コンピュータビジョンの場合
 - バイオメトリクスの場合
- 本発表で用いる局所特徴記述子について
- 性能評価実験
 - 顔認証
 - 掌紋認証
- 局所特徴記述子についての考察
- まとめ・今後の課題

- 画像に写っているシーンの特徴となるポイントを抽出し、そのポイントの周囲の情報から特徴を表す特徴量を記述したもの
 - バイオメトリクスであれば・・・
指紋認証におけるマニューシャ(位置・角度・種類など)
虹彩認証におけるiriscode
 - コンピュータビジョンであれば・・・
SIFT (Scale Invariant Feature Transform) など
- さまざまな分野で非常に注目されている研究テーマであり、現在でもさまざまな局所特徴量が提案されている
 - 特に、1999年にSIFTが提案されてから研究が盛んに行われている
- 汎用性が高いものが多いので、バイオメトリクス認証においても有用である

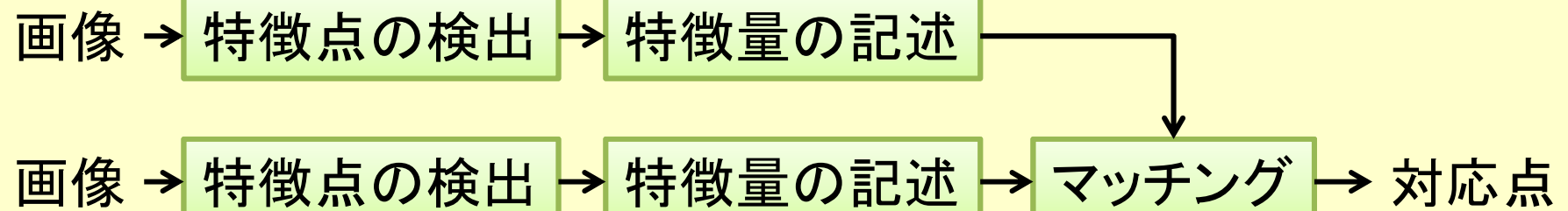
局所特徴記述子を用いた照合システム

5



コンピュータビジョンの場合

6

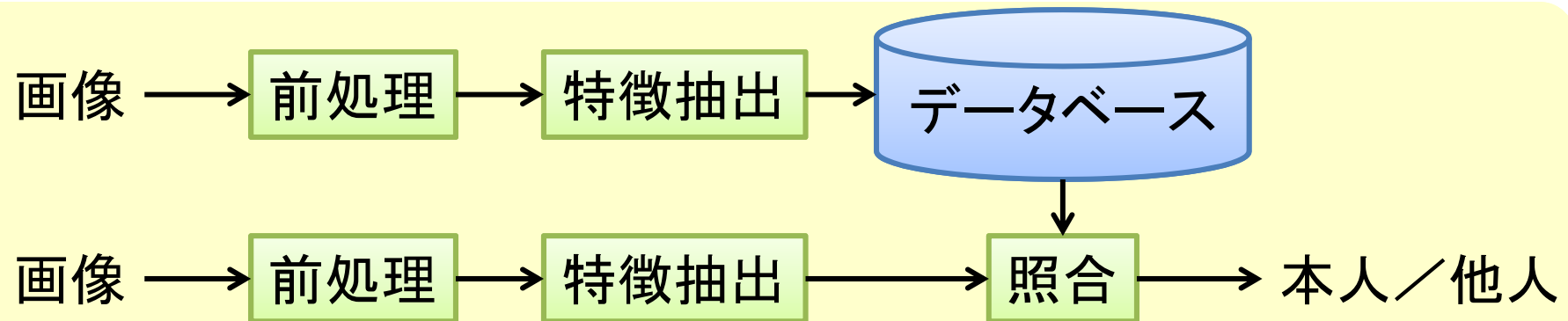


視点の異なる画像間の対応を求め
るために、画像変形に不変な
特徴点を抽出し、周囲の情報から
特徴量を記述する

- 対象のクラスが決められていないので、画像の変形や明るさの違いなどにロバストである必要がある
- 抽出した特徴点に対してのみ特徴量を記述する

バイオメトリクスの場合

7



- 対象のクラスがあらかじめ決まっているので、前処理により、向きや位置を正規化することができる
- 対象のクラスが決まっているので、それに特化した特徴量を定義することができる
- 対象のクラスが変わってしまうと、使えなくなる場合が多い
- 最近では、汎用性の高い局所特徴記述子が提案されはじめている

試してみた局所特徴記述子

8

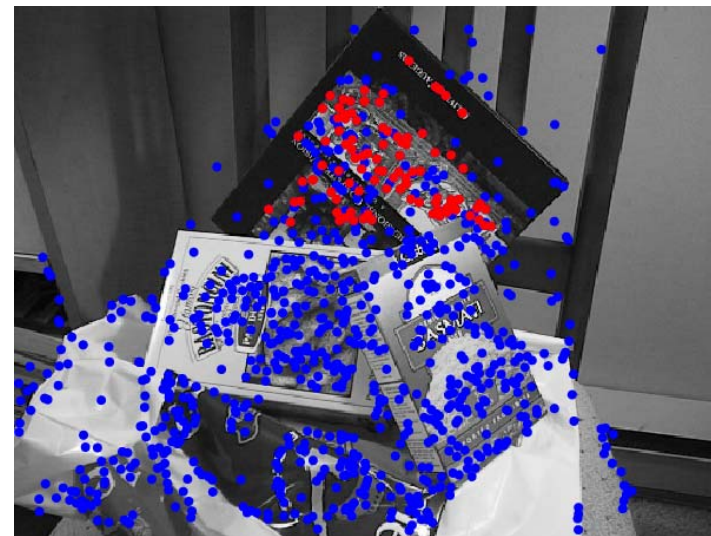
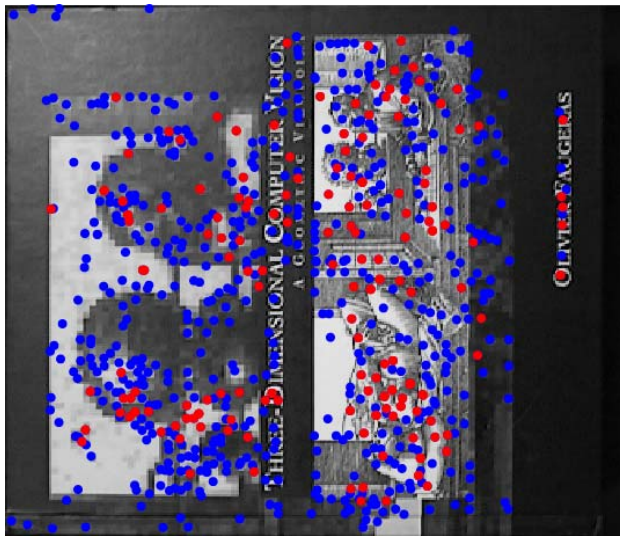
- SIFT (Scale Invariant Feature Transform)¹: 指紋, 掌紋, 顔など
- Gaborフィルタによる符号化^{2, 3}: 虹彩, 掌紋, 顔など
- LBP (Local Binary Patterns)⁴: 顔, 指紋, 掌紋など
- 位相特徴⁵: 指紋, 虹彩, 掌紋, 顔など

1. D. Lowe, “Distinctive image features from scale invariant keypoints”, Int’l. J. Computer Vision, 60, 2, pp. 91–110 (2004).
2. J. Daugman, “High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence”, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 15, 11, pp. 1148–1161 (1993).
3. D. Zhang, et al., “Online palmprint identification”, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 25, 9, pp. 1041–1050 (2003).
4. T. Ahonen, et al., “Face description with local binary patterns: Application to face recognition”, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 28, 12 (2006).
5. S. Iitsuka, et al., “A practical palmprint recognition algorithm using phase information”, Proc. Proc. Int’l Conf. Pattern Recognition, WeBCT9.18, pp. 1–4 (2008).

SIFT (Scale Invariant Feature Transform)

9

- 画像の拡大縮小・回転に不変な特徴点を抽出し，局所領域の輝度勾配のヒストグラムを特徴量としている
- コンピュータビジョンの分野でさまざまな用途で使われているとともに，今まで解けなかった問題がSIFTによって解けるようになった
- 照合スコアは，対応点の個数とする

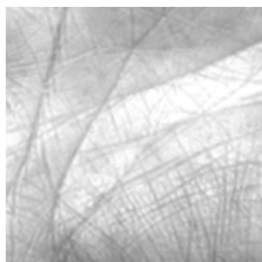


抽出した特徴点と画像間の対応点(赤で示した点)

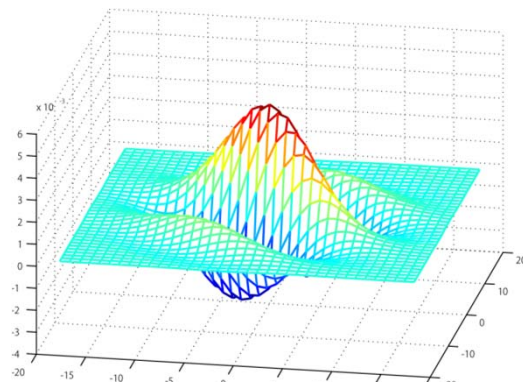
Gaborフィルタを用いた符号化

10

- 虹彩認証や掌紋認証で使われている特徴量である
- 生体特徴に適したGaborフィルタをかけ, その出力に応じて符号化している
- 汎用性は高いが, 生体特徴ごとにフィルタのパラメータを最適化する必要がある
- palmcodeを生成するためのパラメータは公開されているので, 実験ではpalmcodeのパラメータを用いる
- 照合スコアは, コード間のハミング距離とする



原画像



Gaborフィルタ



実部



虚部

LBP (Local Binary Patterns)

- 顔認証でよく使われている局所特徴記述子である
- 指紋認証, 掌紋認証などでも使われている
- 下図は矩形の場合であるが, 注目画素に対する円上の点との差でもよい
- LBPを改良した手法が数多く提案されている
- 照合スコアは, LBP間の距離とする

| | | |
|---|---|---|
| 6 | 5 | 2 |
| 7 | 6 | 1 |
| 9 | 8 | 7 |

3x3 block

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

threshold

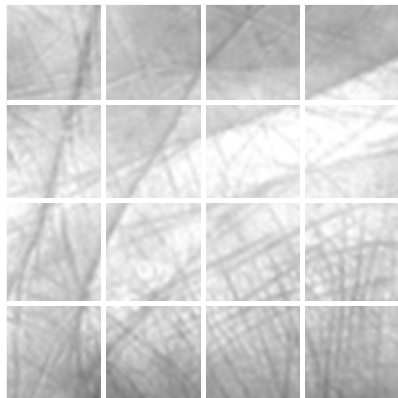
Pattern=10001111

| | | |
|-----|----|----|
| 1 | 2 | 4 |
| 128 | | 8 |
| 64 | 32 | 16 |

weights

$$\text{LBP} = 1 + 16 + 32 + 64 + 128 = 241$$

- 画像をフーリエ変換して得られる位相情報を特徴量とする
 - ノイズ, 明るさの変化, 平行移動にロバストである
- 画像全体ではなく, 局所ブロックの単位で特徴量を抽出した方が, 画像変形に対してロバストになる
- 階層画像を作って対応点探索をすることで, 画像のひずみに対応することができる
- 照合スコアは, 位相特徴間の相関が高いブロックの数とする



原画像



位相特徴

位相情報を量子化することで,
識別性能をほぼ下げずに特徴
量の容量を減らすことができる

- 4つの局所特徴記述子について、バイオメトリクス認証における性能を評価する
- 局所特徴記述子の汎用性を調べるために、顔認証および掌紋認証における性能を評価する
- 顔認証
 - LBPの有効性が実証されている
 - CSU Face Identification Evaluation SystemとFERETデータベースを用いる
- 掌紋認証
 - Gaborフィルタによる符号化の有効性が実証されている
 - PolyU Palmprint Database ver.1を用いる

■ The CSU Face Identification Evaluation System¹

- Colorado State University (CSU) が2001年に公開した顔認証アルゴリズムの性能評価システムである
- FERETデータベースに対応している
- いくつかのベースラインアルゴリズムが実装されている
- 前処理により, 顔の大きさ・位置が正規化される

■ FERETデータベース²

- 1,209人から撮影した3,368枚の顔画像が格納されている(CSU Face Identification Evaluation Systemで使われる画像の枚数)
- 撮影条件に従って, 登録画像である *fa* と入力画像である *fb*, *fc*, *dup1*, *dup2* に分けられている

1. <http://www.itl.nist.gov/iad/humanid/feret/>

2. <http://www.cs.colostate.edu/evalfacerec/algorithms5.php>

実験結果 (顔認証)

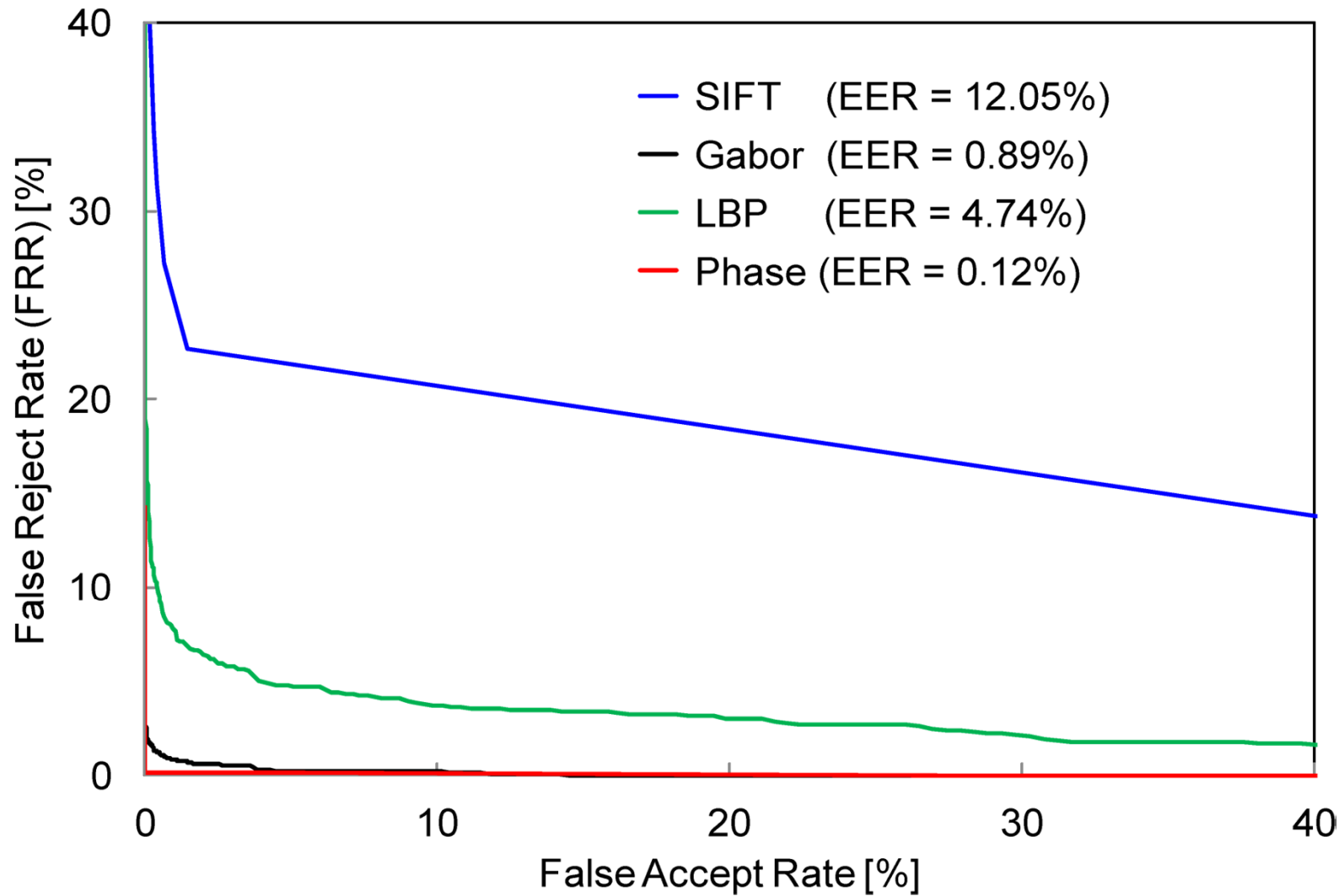
| Algorithm | <i>fafb</i> | <i>fafc</i> | <i>dup1</i> | <i>dup2</i> | Lower | Mean | Upper |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| SIFT | 95.1% | 16.0% | 44.3% | 26.5% | 60.0% | 65.0% | 70.0% |
| Gabor | 64.6% | 49.0% | 51.5% | 51.7% | 62.5% | 68.2% | 74.4% |
| LBP | 93.3% | 47.9% | 60.5% | 49.6% | 71.2% | 75.5% | 80.6% |
| Phase | 98.7% | 98.5% | 87.5% | 87.2% | 91.2% | 94.7% | 97.5% |

- *fafb*: 同じカメラ, 同じ明るさだが, 表情が異なる画像
- *fafc*: 異なるカメラ, 異なる照明で撮影した画像
- *dup1*: 時間をおいて撮影した画像
- *dup2*: 1年以上の時間をおいて撮影した画像

- PolyU Palmprint Database ver.1を用いて性能を評価
 - 100人の被験者から6枚ずつ撮影した合計で600枚の画像が格納されている(384x284画素)
 - 手のひらの中央にある128x128画素の掌紋領域を抽出し、照合に用いる
 - 本人ペア:1,500ペア, 他人ペア:178,200ペア
 - ROC曲線およびEERで性能を評価する
- 論文などでよく用いられているのは ver.2である
 - 386人から採取した7,752枚の画像が格納されている
 - 合計で30,147,008ペアの実験をしなければならないので、今回は時間の関係上、ver.1を使った

<http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/>

実験結果 (掌紋認証)



■ SIFT

- 特徴点が偏っている場合があるので、記述子のみを用いた方がよさそう
- ヒストグラムを連結した記述子なので、鍵には向いていないかもしれない

■ Gabor

- 掌紋に最適化されたフィルタだったので、顔ではあまり性能が出なかった
- Gaborフィルタの形状がわかれば元の画像に近い物を復元できるかもしれない

■ LBP

- どちらでも安定した性能を有している
- ヒストグラムが特徴量なので、SIFTと同様に何らかの工夫が必要かもしれない

■ Phase

- どちらでも安定した性能を有している
- 乱数に近い特徴なので鍵として使える可能性がある

- 最近，研究が盛んに行われている局所特徴記述子を用いたバイオメトリクス認証について検討した
- 今回は，もっとも単純な実装を試しただけなので，工夫をすることで，いろいろな可能性が出ると思われる
- 特に，特徴量が乱数に近い性能を持っていれば，セキュリティシステムにおける鍵のようなものとして使えるかもしれない

- さまざまな局所特徴記述子が提案され，公開されているので，それらがバイオメトリクス認証に有用であるかを評価する
- セキュリティシステムや暗号アルゴリズムとの融和性を検証する

- SIFT (Scale Invariant Feature Transform)
 - <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/keypoints/>
- SURF (Speeded-Up Robust Feature)
 - <http://www.vision.ee.ethz.ch/~surf/>
- BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features)
 - <http://cvlab.epfl.ch/research/detect/brief/>
- ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)
 - OpenCV 2.3 以降に入っている
- BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints)
 - <http://www.asl.ethz.ch/people/lestefan/personal/BRISK>
- CARD (Compact And Real-time Descriptors)
 - <http://cvlab.jp/>
- LBP (Local Binary Patterns)
 - <http://www.cse.oulu.fi/CMV/Downloads/LBPSoftware>

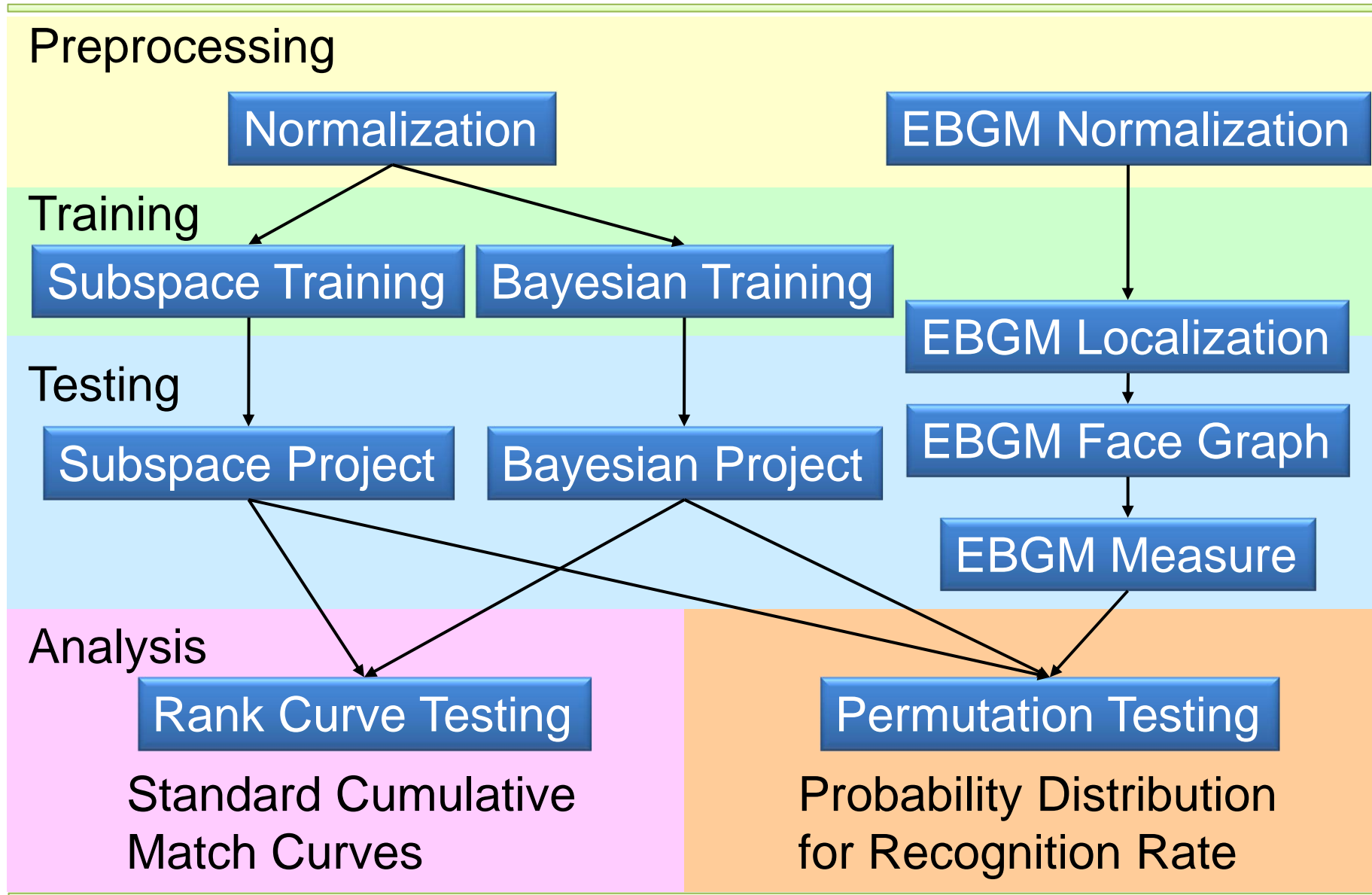
- Colorado State University (CSU) が2001年に公開した顔認証アルゴリズムの性能評価システムである
- FERETデータベースに対応している
 - FERET用の前処理プログラムが実装されている
- 4種類の基本アルゴリズムが実装されている
 - PCAを用いたアルゴリズム (固有顔)
 - PCAとLDAを組み合わせたアルゴリズム (University of Maryland)
 - ベイズ推定を用いたアルゴリズム (Massachusetts Institute of Technology)
 - Elastic Bunch Graph Matching を用いたアルゴリズム (University of Southern California)

* <http://www.cs.colostate.edu/evalfacerec/algorithms5.php>

- webページのフォームに必要事項を記入すると、ダウンロード用のURLが書いてあるメールが届く
- LinuxのCソースとして配布されている
- シェルスクリプトが実行ファイルになっている
- あらかじめ、小さな画像データベースが含まれている(数が少ないので、システムの動作チェックにしか使えない)
- 本格的な評価をしたいときは、別途FERETデータベース*をダウンロードする必要がある
 - 自前のデータベースを評価するときは、顔画像を正規化する処理を自前で用意するか、システムの前処理のために、目の位置を記載したファイルを用意する必要がある

* <http://face.nist.gov/colorferet/>

システムの構成





原画像

(512x768画素)



正規化画像

(130x150画素)

- システムに実装されている前処理は、以下の5ステップからなる
 - 8bitのグレイスケール値を浮動小数点に変換する
 - 両目の座標を基準として、幾何補正を行う
 - 楕円状のマスクを作成する(顔全体が入るような楕円を定義する)
 - ヒストグラム平滑化を用いてマスクされていない領域(顔領域)の輝度値を正規化する
 - 平均が0で分散が1となるように輝度値をスケールする
- 130x150画素の正規化画像が出力される

PCA (Principle Component Analysis)* 26

- もっともよく知られた顔認証のアルゴリズムである
- 顔の位置について正規化が行われていれば, ある程度の性能が出る
- 照明変化, 表情変化などに非常に弱い
- ベクトル間の距離(照合スコア)は, ユークリッド距離とマハラノビス・コサイン(マハラノビス空間におけるベクトルのなす角のコサイン)が用いられる

* M.A. Turk, et al., "Face recognition using eigenfaces," Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 586--591, June 1991.

LDA (Linear Discriminant Analysis)*

27

- 線形判別を用いた顔認証アルゴリズムである
- Fisher's Discriminant Analysis と呼ばれていることから、LDAを用いた顔認証をFishsurfaceと呼ぶことが多い
- LDAは、クラス内の違いを減らしつつ、クラス間の違いを強調するような線形変換である
- まず、PCAで特徴ベクトルの次元を落とし、さらに識別に重要な特徴を保存するクラスのみを残すようにLDAで次元を落とす
- ベクトル間の距離(照合スコア)は、ユークリッド距離とLDAsoft (固有値で重み付けられたL2ノルム)が用いられる

*K. Etmad, et al., "Discriminant analysis for recognition of human face images," J. Opt. Soc. Am. A, vol. 14, no. 8, pp. 1724--1733, August 1997.

- 最大事後確率推定 (MAP推定: Maximum A Posteriori estimation) と最尤推定 (ML推定: Maximum Likelihood estimation) を用いて顔認証を行う
- ちなみに, ベイズ推定と言っているが, 実際はMAP推定とML推定を用いた顔認証アルゴリズムであり, 正確には確率的な類似度評価を用いたアルゴリズムである (ベイズ推定, MAP推定, ML推定は別物であることに注意)
 - ML推定: 尤度を最大にするパラメータを推定する
 - MAP推定: 事後確率を最大にするパラメータを推定する
 - ベイズ推定: 予測分布の形で推定する

*B. Moghaddam, et al., "A Bayesian similarity measure for direct image matching," Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition, vol. 2, pp. 350--358, 1996.

EBGM (Elastic Bunch Graph Matching)* ²⁹

- 各特徴点(目, 鼻, 口など)を結んだグラフを構成するとともに, 各特徴点から抽出したGabor jet (Gabor waveletの係数群)を特徴量とする
- 対応する jet ペアの類似度を求めることで照合スコアを計算する
- 顔の器官の変形を考慮して照合するため, 顔の向きの違いや表情変化などにロバストである

*L. Wiskott, et al., "Face recognition by elastic bunch graph matching," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 19, no. 7, pp. 775--779, July 1997.

- NISTが公開している顔画像データベースであり, 1993年12月から1996年8月にかけて収集された顔画像が格納されている
- 現在は, colorのみが公開されている (webページにあるフォームに必要事項を記入するとURLの入ったメールが届く)
- 1,209人から撮影した3,368枚の顔画像が格納されている (CSU Face Identification Evaluation Systemで使用される画像の枚数)
- 撮影条件に従って, 登録画像である fa と入力画像である fb, fc, dup1, dup2 に分けられている
- 性能評価の際には, fa-fb (fafb), fa-fc (fafc), fa-dup1 (dup1), fa-dup2 (dup2) の4種類の実験を行う

* <http://face.nist.gov/colorferet/>

FERETデータベースの撮影条件

31

| 名前 | 撮影条件 |
|------|--|
| fa | 固定されたカメラで、照明を調整して撮影されている |
| fb | faと同じ時期に同じカメラ、同じ照明条件で撮影されているが、表情が異なる |
| fc | faと同じ時期に撮影されているが、カメラの種類や照明が異なる |
| dup1 | 撮影時期が異なる(1年以内) |
| dup2 | 撮影時期が異なり(1年以上)、人によっては眼鏡をかけたり、髪型が異なっている |

*P.J. Phillips, et al., "The FERET evaluation methodology for face recognition algorithms," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 22, no. 10, pp. 1090--1104, October 2000.