논문 99-8-1-09

CCD 카메라 얼굴 영상에서의 SVD 및 HMM 기법에 의한 눈 패턴 검출

진경찬*, P. 미셰**, 박일용***, 손병기***, 조진호***

Eye Pattern Detection Using SVD and HMM Technique from CCD Camera Face Image

Kyung-Chan Jin*, Pierre MICHE**, Il-Yong Park***, Byung-Gi Sohn***, Jin-Ho Cho***

요 약

CCD 카메라에 얻어진 비디오 신호로부터 디지털화된 얼굴영상을 얻은 다음 신속하게 눈 패턴을 검출할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 얼굴영역 및 눈 패턴 검출을 위해 주축성분분석(Principle Component Analysis :PCA)과 통계적인 성질이 유사한 일괄처리 SVD(Singular Value Decomposition)알고리즘 및 패턴서치회로망을 이용하였고, 정확도를 향상하기 위해 HMM(Hidden Markov Model)을 이용하였다. 제안한 알고리즘으로 기존의 주축성분분석을 이용한 패턴 검출보다 계산량이 적고 정확도도 우수하며 초당 2 프레임 정도의 실시간 처리가 가능함을 알 수 있었다.

Abstract

We proposed a method of eye pattern detection in the 2-D image which was obtained by CCD video camera. To detect face region and eye pattern, we proposed pattern search network and batch SVD algorithm which had the statistical equivalence of PCA. We also used HMM to improve the accuracy of detection. As a result, we acknowledged that the proposed algorithm was superior to PCA pattern detection algorithm in computational cost and accuracy of detection. Furthermore, we evaluated that the proposed algorithm was possible in real-time face pattern detection with 2 frame images per second.

Ⅰ. 서 론

CCD 카메라에서 얻어진 비디오 영상으로부터 사람의 얼굴과 눈을 효과적으로 검출하는 시스템은 정보통신, 산업, 교통, 보안 및 민원현장 등의 여러분야에서 널리 응용이 될 수 있다. 이 때문에 여러 연구자들이 실용적인 시스템을 구현하기 위한 연구를 수행하여 왔으나 2차원 영상에서 패턴추출을 위한 계산량의 방대함 때문에 아직 성능이 기대에 미치지 못하고 있는 실정이다. 산업현장에서 활용할 수 있는 수준이 되려면 대형 컴퓨터대신 DSP로 제작함으로써 규모가 작고 간단하면서 실시간 처리에 이르는 속도를 가지는 것이 바람직하다. 최근 얼굴관련 패턴검출을 위한 정합알고리즘들이 제시되고 있는데 이들은 주로 통계적인 피쳐기반 정합과 템플리트 정합에 의해 이루어진다.

피쳐기반 정합[1-2]은 영상에서 피쳐들의 통계적인 특성을 기반으로 하여 패턴영역을 검출하는 방법이며, samaria등[3-5]은 HMM(Hidden Markov Model)을 2차

* 경북대 센서기술연구소(Sensor Technology Research Center, Kyungpook National Univ.)

** 프랑스 국립응용과학원 (INSA De Rouen, France)

*** 경북대 전자전기공학부 (School of Electronic & Electrical Eng., Kyungpook National Univ.)

<접수일자 : 1998년 11월 28일>

원 영상의 패턴인식에 응용하여 자동적인 얼굴검출과 GA(Genetic Approach)를 통해 눈을 모델링하였다.

템플리트 정합은 구하고자 하는 패턴의 템플리트를 상관성기법을 이용해 패턴정합을 시도하는 것이다. Kirby 등[6]은 KL-변환을 이용하여 패턴정합을 시도하였고, Pentaland 등[7]은 고유얼굴을 이용하여 얼굴을 인식하였다. Kirby, Pentaland 등이 제안한 방법은 PCA를 구하기 위한 행렬계산량이 많다는 단점이 있다. Oja등[8]는 KL-변환이 신경망 학습에 의한 주축분석방법으로 응응될 수 있음을 보였다.

피쳐기반 정합방법과 템플리트 정합방법을 혼용하는 연구로서 Sung등[9]은 k-means 클러스터링을 이용하여 6개의 얼굴과 비얼굴을 분석하였고, Brunelli등[10]은 얼굴검출과 인식을 위해 피쳐 및 템플리트 분석하여 고유얼굴과 통계적 성질을 이용한 정합을 시도하였다. Brunelli 등의 알고리즘은 초기에 설정된 특정인 얼굴영상에 대해서는 상당한 성능을 발휘하지만, 복잡한 영상에서의 얼굴검출은 효과적이지 못하다.

본 논문에서는 Kirby, Pentaland 등이 제안한 알고리즘이 가지는 행렬계산량 문제와 PCA 템플리트를 이용한 검출의 정확성을 개선하기 위해 피쳐기반 정합방법과 템플리트 정합방법을 혼용하는 알고리즘을 제안하였다. 얼굴 및 눈 템플리트를 추출을 위해 CCD 카메라에서 입력되는 영상을 프레임 그레버를 이용하여 획득한 후 일괄처리 SVD(Batch Singular Value Decompositio) 알고리즘[11]을 이용하였다. 또한 추출된 얼굴 템플리트로 얼굴영역을 찾고 HMM 기법으로 얼굴인식 및 분류를 수행하였으며, 고유 눈영상(eigeneye)을 이용한 패턴탐색 신경망[12]으로 눈을 검출하는 알고리즘을 제안하였다.

II. 본 론

얼굴 영역 및 눈 패턴을 찾기 위하여 템플리트 정합과 피쳐기반 정합을 혼용하였다. 템플리트 정합은 얼굴영역 검출과 눈 패턴 검출을 위한 것이고, 피쳐기반 정합은 얼굴영역 검출시 얼굴패턴을 분류하기 위한 것이다. 얼굴 영역 및 눈 패턴을 검출하기 위한 알고리즘의 수행 순서 블럭도를 그림 1에서 보였다.

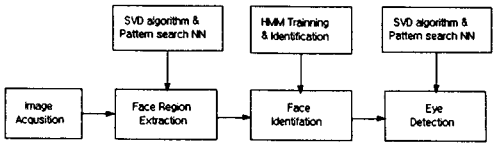


그림 1. 얼굴 영역 및 눈 패턴 검출을 위한 흐름도
Fig. 1. Flowchart of face region and eye detection.

1. SVD 알고리즘을 이용한 얼굴 영역 추출

8비트로 양자화된 2차원의 얼굴영상획득을 위해 프레임 그레버(DT3153, Data Translation)를 이용하였다. 획득된 2차원 영상에서 얼굴영역을 추출하기 위한 SVD 알고리즘은 고유공간성분을 효과적으로 개선하는 알고리즘으로 주축성분분석과 유사한 특성을 가지며 주축성분분석에 비해 계산량이 적다는 장점을 가진다. m 개의 화소를 가지는 입력영상 벡터시컨스를 $[A_i]$라 하고, B_i 를 $[A_1 A_2 \ldots A_i]$라 하면 B_i 의 SVD는 식 1으로 구할 수 있다.

$$SVD\,[B_i] = [U_i *] \begin{bmatrix} \Sigma_i & 0 \\ 0 & [\varepsilon] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i^T \\ * \end{bmatrix} \qquad (1)$$

식 1에서 U_i 는 $m*k$, Σ_i 는 $k*k$, V_i 는 $i*k$ 크기를 가지는 행렬이며, k 는 SVD 변환후 영상 재구성을 위한 벡터 갯수가 된다. Turk등은 고유변환(eigen-decomposiution)을 시도할 때에 $B_i^T B_i$ 를 계산하여 입력영상들에 대한 고유얼굴을 구하였다. 이때의 계산량은 $O(mk+k^3)$이며, 일괄처리 SVD로 구할 경우에는 계산량은 $O(mk)$으로 훨씬 감소될 수 있다. 일괄처리 SVD 알고리즘의 구현은 아래의 단계들을 통해 구할 수 있다.

step 1 : $x = U_{k_i}^T A_{i+1}$

step 2 : $a' = A + 1 - U_{k_i} x, \quad a = a' / \|a'\|$

step 3 : compute of SVD $\begin{bmatrix} \Sigma_{k_i} & U_{k_i} A_{i+1} \\ 0 & a^T A_{i+1} \end{bmatrix} = W \Lambda Q^{\mathrm{T}}$

step 4 : $U_{ki+1} = [U_{ki}\ a] W$

step 5 : $V_{ki+1} = \begin{bmatrix} V_{ki} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} Q$

step 6 : $\Sigma_{ki+1} = \Lambda$

2. 얼굴 패턴 인식

HMM은 통계적인 모델을 최적화하도록 추정하는 알고리즘으로 1차원의 신호에 대한 HMM은 아래 식과 같다.

$$\lambda=\{N,A,B,\pi\} \tag{2}$$
$$P(O,Q\,|\lambda)=\pi_{q1}b_{q1}(o_1)\ [\ \prod\ {}_{t=2}^{T}\ a_{q-1.qt}\ b_{qt}(o_t)]$$

식 2에서 N은 모델의 상태갯수, A는 상태천이행렬, B는 출력확률함수, π는 초기상태확률함수이다. λ 인 모델이 정의 되었을때에 관찰함수인 O와 상태시퀀스인 Q 사이의 상호확률(joint probabilty)는 식 3에서 보였다.

$$P(O\,|\lambda)=\sum_{Q}P(O\,|\lambda) \tag{3}$$

식 3은 1차원 신호모델을 추정한 것이므로, 2차원의 영상모델을 추정은 식 4와 같이 새로운 모델 $\lambda^{(k)}$ 로 정의된다. 식 4에서 T는 시컨스 크기를 나타내며, $\phi(x)$는 $r\le x$ 인 가장 큰 r 값을 나타낸다. 5-state 얼굴모델 및 관측열을 구하는 과정을 그림 2에서 보였다.

$$H=(N,L,M),\quad \lambda^{(k)}=(A^{(k)},B^{(k)},\pi^{(k)})$$
$$T=\phi\left(\frac{Y-L}{L-M}\right)+1 \tag{4}$$

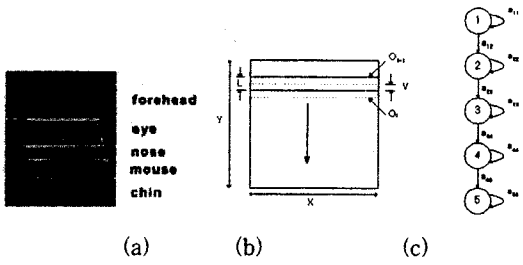


그림 2. (a) 5-state 얼굴모델, (b) 관측열 및 (c) top-bottom 모델

Fig. 2. (a) 5-state face model, (b) obersevation sequence and, (c) top-bottom model.

본 논문에서는 Samaria등이 제안한 5-state Top-Bottom, $H=(5,8,7)$의 HMM과는 달리 k-means 클러스터링 분류를 이용하여 학습하였다. k-means 클러스터링을 위한 mixture는 식 5의 가우스 분포를 가진다. k-means 클러스터링을 이용한 HMM을 학습하는 과정을 그림 3에서 보였다.

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2} \tag{5}$$

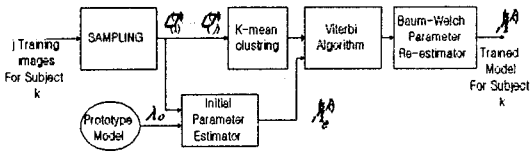


그림 3. HMM 학습 과정

Fig. 3. HMM learning process.

영상인식은 알려지지 않는 영상이 입력되었을때 관측샘플인 O_{test} 를 생성한 후 모델들의 천이행렬과 mixture의 확률로부터 가장 큰 확률을 구함으로써 이루어진다. 영상 입력시 영상인식과정을 그림 4에는 보여준다. 가장 잘 정합이 되는 모델을 구하는 확률은 식 6로 구하여 진다. 식 6에서 S는 학습된 모델의 수를 나타낸다.

$$P(O_{test}\,|\lambda^{(k)}),1\le k\le S \tag{6}$$

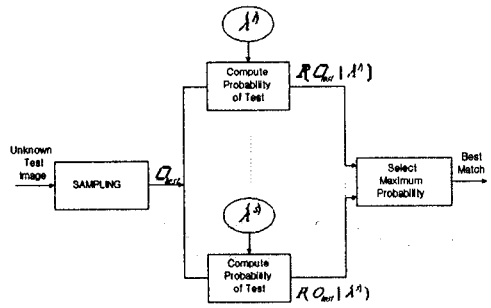


그림 4. 미지의 영상에 대한 인식 과정

Fig. 4. Recognition process for unknown image.

3. 패턴 탐색 신경망

추출된 패턴의 웨이트값들을 입력영상의 각 영상화소의 값에 곱하는 상관성의 연산과정을 수행하는 신경

회로망을 사용하여 상관성의 정도가 가장 클때의 패턴의 위치 정보를 추출한다. 이를 실현한 패턴 검출 회로망을 그림 5에서 보였으며, 입력영상의 각 화소가 독립적인 성질을 가지므로 각 화소에 대한 단일 회로망으로 구현될 수 있다. 이러한 단일회로망 구현은 FPGA를 통하여 이루어 질 수 있으며, 이 경우 NTSC 비디오 신호에서 전 프레임 의 실시간 신호처리가 가능할 것으로 예상된다. 본 논문에서는 PC에 의해 패턴 검출 회로망을 구현하였기 때문에 속도는 떨어지지만 이 경우에도 상당한 응용이 기대된다.

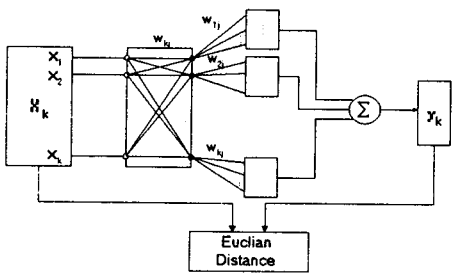


그림 5. 패턴 검출을 위한 신경회로망
Fig. 5. Pattern search network.

III. 실험 및 결과

1. 얼굴영역 검출

연산속도와 정합과정의 정확성을 고려하여 얼굴영역 검출 및 눈 검출을 위해 템플리트의 크기를 32×32의 크기로 정하였다. 8개의 32×32 얼굴영상을 SVD 알고리즘에 의해 구하여진 얼굴 템플리트를 그림 6에서 보였다. 이 템플리트는 동양인과 서양인을 적절히 배합함으로써 일반적인 얼굴특징을 포함하게 하였다.

(a) (b)

그림 6. (a) 얼굴 데이터베이스영상과 (b) SVD 알고리즘으로 구현된 고유얼굴영상
Fig. 6. (a) Face database and (b) eigenface implemented by batch SVD algorithm.

얼굴템플리트를 이용한 패턴 서치회로망으로 얼굴영역을 검출한 결과를 그림 7에서 보였다.

그림 7. 얼굴 영역 검출
Fig. 7. Face region detection.

2. HMM을 이용한 얼굴 학습 및 인식

본 논문에서 HMM 모델링에 적용할 얼굴영상은 이마에서부터 턱까지의 영역을 분류하는데 이용하므로, Cambridge 대학의 ORL (Olivetti Research Center)에서 제작한 40명의 얼굴과 각 사람에 대한 10개의 얼굴영상을 이용하여 HMM 모델링을 실시하였다. 3-mixture, 5-state $H=(5,8,7)$인 HMM으로 학습된 모델을 그림 8에서는 보였다.

그림 8. 학습된 5-state Top-Bottom HMM 모델
Fig. 8. Learned 5-state top-bottom model.

ORL데이터베이스중에서 S1-S9까지의 영상 90개에 대하여 9명의 사람얼굴영상 10개중에 5개씩을 학습하고 5개는 인식에 이용하였다

표 1. H = (5, 8, 7) 모델의 인식률
Table 1. Recognition rate of H=(5,8,7) model.

# of mixture	learning	recognition (match/total)
1	9 person, 5 image	(44/45)
3	9 person, 5 image	(45/45)

모델인식시에 mixture와 학습모델의 수를 변화시켜 감으로써 인식률변화를 표 1에서 보였다. 3-mixture, 5-state Top-bottom HMM의 모델인식률이 100%임을 알 수 있었다.

3. 눈 패턴 검출

동서양인 8명의 다른 눈영상의 고유눈영상과 인식된 사람의 고유눈영상을 그림 9에서 보였다. 동서양인의

눈은 눈썹의 간격 및 눈의 곡률정도가 크게 다르므로 고유눈영상도 차이가 있음을 알 수 있었다.

(a) (b) (c) (d)

그림 9. (a) 8명의 눈데이터베이스와 (b) 인식된 사람의 눈 데이터베이스와 (c) (a)에 대한 고유눈영상과 (d) (b)에 대한 고유눈영상

Fig. 9. (a) 8-person eye database, (b) recognized person eye database, (c) (a)'s eigeneye and (d) (b)'s eigeneye.

그림 10에서는 기존의 Kirby, Pentaland 등의 방법이 응용된 여러사람에 대한 고유눈영상을 이용한 패턴탐색경우에는 오른쪽 눈 윈도우가 오른쪽으로 벗어났고 눈썹은 찾지 못했으나, 제안한 알고리즘에 의한 패턴탐색 경우 양쪽 눈을 정확하게 찾음을 알 수 있다. 제안한 알고리즘을 PC (Pentium, 200Mhz)에 프레임 그레버를 탑재하여 눈 검출을 실시하였다. CCD 카메라로부터 나온 2차원 영상에서 눈 검출이 초당 2 프레임 정도의 실시간 처리가 가능하였다.

(a) (b)

그림 10. (a) 고유눈영상을 이용한 눈패턴 탐색과 (b) 제안한 방법에 의한 눈패턴 탐색

Fig. 10. Eye pattern search using eigeneye, (b) eye pattern search by proposed method.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 CCD 카메라에서 얻어진 2차원 영상으로부터 얼굴영역 및 눈 검출 알고리즘을 제안하였다. 얼굴영역을 검출을 위해 템플리트 정합방법인 일괄처리 SVD 알고리즘으로 얻어진 템플리트 패턴을 이용한 패턴탐색신경망을 이용하였고, 검출된 얼굴영역에 대해 통계적인 특징 모델을 이용하는 k-means 클러스터링 HMM 기법으로 얼굴을 인식하였다. 또한 인식된 얼굴의 데이터베이스로부터 눈 데이터베이스를 분류하고, 분류된 눈영상의 고유 눈영상을 이용한 패턴탐색신경망으로 눈을 검출하였다.

제안한 방법인 인식된 사람의 고유눈영상을 이용하는 정합방법이 Kirby, Pentaland 등의 방법이 응용된 여러사람에 대한 고유눈영상을 이용한 정합방법보다 우수함을 알 수 있었다. 일괄처리 SVD 알고리즘과 모델분류를 위한 HMM의 인식은 실시간 프로세싱이 가능하므로, 눈 패턴의 실시간 검출이 가능하다고 할 수 있다.

후 기

※ 본 연구는 경북대학교 센서기술연구소와 프랑스 국립응용과학원(INSA De Rouen)과의 국제공동과제(과제명: 운전자 주의력 감쇠와 관련한 종합정보 측정 시스템 개발, 과제번호: 95K5-0806-00-01-4) 연구비에 의해 수행되었음.

참고문헌

[1] L. Wiskott and C. von der Malsburg, "Face Recognition Dynamic Linking Matching", The UTCS Neural Research Group, Austin, TX, Electronic book, Chapter 11, 1996.

[2] L. Wiskott and C. von der Malsburg, "Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching", Institut fur Neuroinformatik, FRG, Internal report 96-08, 1996.

[3] Samaria, A. Harter,"Parameterisation of a stochastic model for human face identification", Proceedings of ths 2nd IEEE workshop on Appl. of computer vision, 1994.

[4] Samaria, "Face segmentation for identification using hidden markov model", British Machine Vision Conference, BMVA Press, 1993.

[5] Samaria and F. Fallside, "Face identification and feature extraction using hidden markov models", Image Processing : Theory and Application, 1993.

[6] M. Kirby and L. sirovich, "Application of the Karhunen-Leove Procedure for the characterization of human faces", IEEE Trans. on PAMI, vol 12, no. 1, pp. 103-108, 1990.

[7] A. P. Pentaland and M. A.Turk, "Face recognition usning eigenfaces", Proceeding Int. Conf. on Pattern Recognition, pp. 586-591, 1994.

[8] Oja E., "Neural networks, principal components, and sub-space", Int. JournalNeural Systems, no. 1, pp. 61-68, 1989.

[9] K-K. Sung, T. Poggio, "Example-based learning for view-based human face detection", A. I. Memo, no. 1521, 1994.

[10] R. Brunelli, T. Poggio, "Face recogniton: features versus templates", IEEE Trans. on PAMI, vol. 15, no. 10, pp. 1042-1052, 1993.

[11] S. Chandrasekaran, "An Eigenspace Update Algorithm for Image Analysis", CVGIP, 1997.

[12] D. Benoit and Lee S.G., "Localization of eyes in images by a neural network which learns the principal components of sets heads and eyes", Proceedings of the 1997 ICANN, pp. 59-62, 1997.

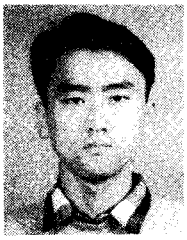
著 者 紹 介

진 경찬

센서학회지 제3권 제3호 논문94-3-3-05, p.35 참조.
현재 경북대학교 센서기술연구소 전임연구원.

Pierre MICHE

센서학회지 제7권 제2호 논문98-7-2-07, p.48 참조.
현재 프랑스 국립응용과학원 센서 및 전자기기연구소 소장, 프랑스 국립루앙대학교 공과대학 학장.



박 일룡

1976년생. 1998년 경북대학교 전자공학과 학사과정 졸업, 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사 재학중.
주관심분야 : 패턴 인식, 디지털하드웨어, 의용생체전자.

손 병기

센서학회지 제1권 제1호 논문92-08, p.101 참조.
현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수, 센서기술연구소 소장.

조 진호

센서학회지 제3권 제3호 논문94-3-3-05, p.35 참조.
현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수, 경북대학교 병원 의공학과장.